



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

PATLATMA VERİMİNİN TAYİNİ
İÇİN GÖRÜNTÜ İZLEME
SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

PROJE NO: YBAG - 117

1997-1275

Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve
Çevre Araştırma Grubu

Earth Marine Atmospheric Sciences and
Environmental Researches Grant Group

PATLATMA VERİMİNİN TAYİNİ
İÇİN GÖRÜNTÜ İZLEME
SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

PROJE NO: YBAG - 117

1997-1275

PROF. DR. CELAL KARPUZ
DR. TAYLAN BOZDAĞ
BÜLENT AÇIKGÖZ

ODTÜ Maddeden M. B1.

S - 80
R - 62

Tr, En

ŞUBAT 1996
ODTÜ - ANKARA

ÖNSÖZ

Patlatma Veriminin Tayini için Görüntü İzleme Sisteminin Geliştirilmesi konulu proje ODTÜ Araştırma Fonu Projeleri (AFP) ve Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK ile ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü arasında yapılan sözleşme ile araştırmmanın süresi 24 ay ve bütçesi 116,000,000.- TL (80,000,000.- TL TÜBİTAK, 36,000,000.- TL ODTÜ AFP) olarak belirlenerek YBAG-117 proje numarası ile 15 Ağustos 1993 tarihinde başlanmıştır. Projede bir öğretim üyesi, bir araştırma görevlisi ve bir uzman fizikçi görev almıştır. Proje yöneticisi ve araştırmacılar deney sisteminin geliştirilmesi, deneyler, yazılım, arazi çalışmaları ve analiz aşamalarında çalışmışlardır. Proje çalışması iki aşamada gerçekleştirılmıştır. Birinci aşama görüntü izleme sisteminin yapımını ve laboratuar koşullarında örnekler üzerinde denenmesini kapsamıştır. İkinci aşamada arazi koşullarında alınan verilerin analizi ve yorumu yapılmıştır. Arazi çalışmaları için Elmadağ yakınlarındaki BAŞTAŞ kireçtaşı ocağı kullanılmıştır. Bu çalışma ile değişik patlatmalardan elde edilen görüntüler kullanılarak parça-boyut dağılımı bulunmuş ve sistem pratikte kullanılabilir duruma getirilmiştir.

İçindekiler

	Sayfa
Önsöz	i
İçindekiler	ii
Şekiller listesi	iv
Tablolar listesi	vii
Öz	viii
Abstract	ix
1. Giriş	1
2. Parça boyut tayin yöntemleri	2
2.1. Giriş	2
2.2. Parça boyut dağılımını tayin yöntemleri	3
2.2.1. Direkt yöntemler	4
2.2.1.1. Elek analiz yöntemi	4
2.2.2. Dolaylı yöntemler	4
2.2.2.1. Gözlem yöntemleri	4
2.2.2.2. Empirik yöntemler	5
2.2.2.3. Sayısal yöntemler	8
2.3. Dolaylı yöntemlerde hata kaynakları	13
3. 2-D bilginin 3-D boyut dağılımına çevirilmesi	15
3.1. Giriş	15
3.2 Steorolojik yöntemler	16
3.2.1. Elek boyut dağılımının tayini	17
3.2.2. Moment yöntemleri	19
3.3. Empirik yöntemler	21
3.4. Morfolojik yöntemler	23
4. Sayısal görüntü işleme yöntemleri	23
4.1. Giriş	23
4.2. Görüntü işleme teknikleri	24
4.2.1. Filtreleme	25
4.2.2. Kuvvetlendirme	27

	Sayfa
4.2.3. Kenarın algılanması	28
4.2.4. Segmentasyon	34
5. Parça boyut tayini deney düzeneği ve yazılımının geliştirilmesi	36
5.1. Giriş	36
5.2. Parça boyut tayin düzeneği	37
5.3. Parça boyut tayini yazılımı	39
5.3.1. Görüntü işleme rutinleri	39
5.3.2. Parça boyut analiz rutinleri	63
5.4. ROCKSIZE algoritması	65
5.5. 2-D Ölçüm birimleri	66
6. Laboratuvar ve saha sonuçları	67
6.1. Laboratuvar örnekleri	68
6.2. Arazi uygulaması	73
7. Sonuçlar ve öneriler	74
Kaynaklar	76
Bibliyografya	81

Şekiller listesi

	Sayfa
Şekil 2.1. Patlatma tasarımını etkileyen faktörler	3
Şekil 2.2. Fotoğraf görüntü sırası	11
Şekil 2.3. Dördüncü nesil geometrisi	12
Şekil 2.4. Pasif sistem	12
Şekil 2.5. Aktif sistem	13
Şekil 2.6. Ölçülen kaya parçalarının 3-D olarak yeniden kurulması	13
Şekil 2.7. Görüntü işleme analizinde karşılaşılan hatalar	15
Şekil 3.1. a) Köşeli parçanın içinden geçebildiği minimum elek açığı b) Dairesel parçanın içinden geçebildiği minimum elek açığı c) Patlatılmış kaya için en yaygın durum	22
Şekil 4.1. Kapalı devre kamerada bulunan bir parçanın (kirintının) şematik görüntüsü	24
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan koordinat sistemi	25
Şekil 4.3. Düşük geçişli filtre maskeleri	26
Şekil 4.4. Yüksek geçişli filtre maskeleri	26
Şekil 4.5. Komşu ortalama filtreleme maskesi	26
Şekil 4.6. Medyan filtre maskesi	26
Şekil 4.7. Yüksek boost filtre maskesi	27
Şekil 4.8. Histogram eşitleme için ölçek dönüşümü	27
Şekil 4.9. Ortogonal eğim çıkarımı	29
Şekil 4.10. Laplace maskesi	32
Şekil 4.11. Robinson (1977) ve Kirsh (1971) yöntemlerinde kullanılan maske notasyonu	32
Şekil 4.12. Yatay kenar algılama maskeleri	33
Şekil 4.13. Dikey kenar algılama maskeleri	33
Şekil 4.14. Canny kenar algılamasının maske notasyonu	34
Şekil 5.1. Parça boyut tayin sistemi	37

	Sayfa
Şekil 5.2. Düzeneğin şematik diyagramı	38
Şekil 5.3. Düzeneğin genel görünümü	38
Şekil 5.4. ROCKSIZE'ın genel akım şeması	39
Şekil 5.5. Düşük ve yüksek geçişli filtre görüntüleri	41
Şekil 5.6. Ortanca ve komşu ortalama olarak filtre edilmiş görüntüler	42
Şekil 5.7. Yüksek boost filtre edilmiş görüntüler	43
Şekil 5.8. Orijinal görüntünün; histogram, olasılık ve kümülatif olasılık dağılımları	44
Şekil 5.9. Histogram modifiye edilmiş görüntüler	45
Şekil 5.10. Araziden alınmış orijinal görüntü	46
Şekil 5.11. Birleştirilmiş laboratuvar görüntü örneği	46
Şekil 5.12. Ayrık laboratuvar görüntü örneği	47
Şekil 5.13. Piksel farkı (a) ve ayrılmış piksel farkı (b) kenar algılama sonuçları ...	48
Şekil 5.14. Roberts (a) ve Prewitt (b) kenar algılama sonuçları	49
Şekil 5.15. Sobel (a) ve Frei-Chen (b) kenar algılama sonuçları	50
Şekil 5.16. Laplas (a) ve Prewitt pusula eğimi (b) kenar algılama sonuçları	51
Şekil 5.17. Kirsh (a) ve Robinson 3-seviye (b) pusula eğimleri kenar algılama sonuçları	52
Şekil 5.18. Robinson 5-seviye pusula eğimi (a) ve Wigeson (b) kenar algılama sonuçları	53
Şekil 5.19. Robinson (a) ve Kirsh (b) kenar algılama sonuçları	54
Şekil 5.20. Canny'nin kenar algılama sonuçları	55
Şekil 5.21. Birleştirilmiş laboratuvar örnekleri (a) ve arazi yiğini (b) için Canny'nin kenar algılama sonuçları	56
Şekil 5.22. Ayrık laboratuvar örnek görüntüsünün thresholding'i	58
Şekil 5.23. Birleştirilmiş laboratuvar örnek görüntüsünün thresholding'i	59
Şekil 5.24. Arazi görüntüsünün thresholding'i	60
Şekil 5.25. Hataların akıllı kodlama algoritmasından sonra düzeltilmesi	61
Şekil 5.26. İnceleştirmeden sonra kaya konturları	62
Şekil 5.27. İnceleştirmeye için kullanılan maske notasyonu	57
Şekil 5.28. İki boyutlu ölçüm birimlerinde kullanılan uzunluklar	67
Şekil 6.1. Örnek I ve II'nin orijinal, sayısallaştırılmış ve işlenmiş görüntüler	69
Şekil 6.2. Örnek I için King yöntemi uygulaması	71
Şekil 6.3. Örnek II için King yöntemi uygulaması	71
Şekil 6.4. Örnek I için laboratuvar elemesinden empirik yaklaşımdan elde edilen elek analizi	72

	Sayfa
Şekil 6.5. Örnek II için laboratuvar elemesinden empirik yaklaşımdan elde edilen elek analizi	72
Şekil 6.6. Arazi görüntüsü	73
Şekil 6.7. İşlenmiş arazi görüntüsü	73
Şekil 6.8. Arazi görüntüsü için empirik yaklaşılardan elde edilen elek analizi	74

Tablolar listesi

	Sayfa
Tablo 2.1. Arazide boyut sınıflandırması için veri toplama formu	5
Tablo 4.1. Histogram modifikasyonu dönüşüm fonksiyonları	29
Tablo 4.2. Ortogonal eğim işleme maskeleri	30
Tablo 4.3. Template eğim maskeleri	31
Tablo 6.1. Örnek I için istatistiksel sonuçlar	68
Tablo 6.2. Örnek II için istatistiksel sonuçlar	70
Tablo 6.3. Örnek I için moment yöntemi sonuçları	71
Tablo 6.4. Örnek II için moment yöntemi sonuçları	72
Tablo 6.5. Arazi örneği için istatistiksel sonuçlar	74

ÖZ

Maden Mühendisliğinde cevher ve/veya yantaşların ekonomik şekilde kazılabilmesinde en yaygın olarak başvurulan yol, patlatmadır. Madenciliğin işletme maliyeti genellikle delme, yükleme, taşıma, kırma/ögütme, cevher hazırlama giderlerine bağlıdır. Bütün bu maliyetler dolaylı ve dolaysız şekilde patlatmanın verimliliği ile ilişkilidir ve patlatma verimliliği parça-boyut dağılımına, yığının şekline, lokasyonuna, gevşekliğine ve yüklemeye karşı olan dirence bağlıdır. Bu parametreler içinde niteliksel olarak en kolay tayin edilebilecek olan parça boyut dağılımıdır ve kaya kütle özellikleri ile beraber patlatma tasarım değişkenlerine bağlıdır. Parça-boyut dağılımının tespitinde en yaygın yöntem basit görsel inceleme yöntemidir. Parça-boyut dağılımı tayininde bazı başka yöntemler mevcut ise de bunlar daha çok uygulaması olamayan laboratuvar çapındaki çalışmalarlardır. Son yıllarda fotoğraf tekniklerine ve sonrasında görüntü değerlendirme tekniklerine dayalı sistemler geliştirilmektedir. Bu amaçla ilk olarak hem laboratuvar hem de arazi koşullarında görüntü biriktirilebilecek bir sistem geliştirilmiştir. Toplanan iki boyutlu görüntülerden üç boyutlu parça-boyut dağılımını, görüntü işleme ve stereoloji tekniklerinden faydalılarak, hesaplayacak bir yazılım geliştirilmiştir. Sonuç olarak laboratuvar örnekleri ve Elmadağ yakınlarındaki BAŞTAŞ kireçtaşı ocağında yapılan değişik patlatma koşullarından elde edilen görüntülerin parça-boyut dağılımları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Patlatma verimliliği, Parça-boyut dağılımı, Görüntü işleme

ABSTRACT

In mining engineering, the economical excavation of either ore or host rock can be achieved by blasting. The operating cost of mining mainly depends on drilling, loading, hauling, crushing/grinding, mineral processing costs. All of these costs are directly or indirectly related with efficiency of the blasting which is determined by the particle size distribution, shape, location, tightness and resistance to loading of the blasted material. Among these parameters, the particle size distribution is the most quantitatively determinable that depends on the rock mass properties and blast design parameters. The visual examination is the most common method in the determination of particle size distribution. There are also some other methods which mainly depends on the laboratory studies and have no field application. In recent years, the photographic techniques and then image processing techniques are being popular. This research aims to develop the image processing technique in the determination of particle size distribution, and to utilise it for the determination of blasting efficiency. For this purpose, first of all, an image acquisition system is developed for both laboratory and field conditions to monitor blasted material. Then, a software is developed to convert these 2-D stored images into 3-D particle size distribution by using image processing and stereological techniques. Finally particle size distribution results obtained from images of laboratory samples and different blasted cases from BAŞTAŞ Limestone Quarry which is located near Elmadağ are presented.

Key Words: Blast efficiency, Fragmentation size distribution, Image processing

1. Giriş

Kaya parçalanması, maden mühendisliğinin hayatı aşamalarından birisidir. Parçalanma genellikle kaya kütlesi şartlarına ve ocağın büyüklüğüne bağlı olarak patlatma, riperleme veya doğrudan kazı şeklinde gerçekleştirilir. Hangi kazı yöntemi uygulanırsa uygulansın, ekipman seçiminde ve performans analizinde parça boyutu her zaman kritik bir faktördür. Örneğin, kazı ekipmanı, kepçe kapasitesi, kamyon kapasitesi, nakliye bandı ve kırıcı özellikleri gibi işlemler doğrudan malzemenin parça-boyutuna bağlıdır. Dolayısı ile parçalanma, madencilik işletme maliyetini kontrol eden önemli bir faktördür ve parça boyutu sayısal olarak tayin edilmelidir. Parça boyutunun sayısal tayini; eleme, gözlem, fotoğraf veya video sinyallerini sayısallaştırma gibi farklı yollardan yapılabilir. Bunların arasından en esnek olanı ve bütün mühendislik alanlarında en yaygın olarak kullanılanı görüntü sayısallaştırma işlemidir. Son on yılda, bilgisayar endüstrisindeki gelişmelere de paralel olarak, görüntü işleme tekniğinin yatırım maliyeti azalmış ve kolayca ulaşılabilir bir teknik haline gelmiştir. Madenciliğin çeşitli alanlarında, sayısallaştırılmış görüntü işleme tekniğinin pek çok uygulamaları vardır. Örneğin Ji ve Sanford (1993) görüntü işleme tekniğini parçalanmış kayanın makina gözlemi ile otomatik kazısında kullanmışlardır. Kamato ve ark. (1990) faylanmış bölgelerdeki malzeme özelliğinin değerlendirilmesi için bir görüntü işleme sistemi geliştirmiştir. Kamewada ve ark. (1990) sondaj deliğinin duvarı boyunca süreksızlıkların yarımını, doğrultusunu ve açığlığını sürekli kayıt edilebilen (360°) bir görüntü işlemi sistemi geliştirmiştirlerdir. Adel ve ark. (1993) ise, basamak üstü optik görüntü sistemi ile fosfat ocağında P_2O_5 içeriğini ve CaO/P_2O_5 oranını tayin etmişlerdir. Sayısal görüntü işlemi ile parça-boyut dağılımı tayininde de pek çok araştırma yapılmıştır. Bunların ayrıntıları ikinci bölümde verilmiştir.

Patlatma veriminin değerlendirilmesinde parça boyutunun sayısal olarak tayin edilmesi gereklidir. Bu tayinden sonra, patlatma parametrelerini (dilim kalınlığı, delik aralığı, sıkılık, delik çapı, patlayıcı yüklemesi gibi) değiştirmekle, homojenlik, en küçük, en büyük ve ortalama parça boyutu gibi yoğun karakterini elde etmek kolaydır. İlave olarak, patlatma mühendisi, yoğun içindeki parça-boyut dağılımı analiz sonuçlarına bakarak, uygulanan patlatmanın tasarlananın üstünde mi (over design) yoksa altında mı (under design) gerçekleştiğine karar verebilir. Bu tür bir karara varabilmek için patlatma mühendisi parça-boyut tayini için bir araca sahip olmalıdır. Bu araç hızlı, ekonomik ve güvenilir olduğu gibi madencilik faaliyetlerini de engellememelidir.

Bu çalışmada sayısal görüntü işleme tekniği ile laboratuvara ve arazideki yoğun içerisindeki parça-boyut dağılımı tayini yapabilecek bir yöntem ve sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen görüntü işleme tekniği 2-D'dir ve parça-boyut dağılımı King (1982) yöntemi ve empirik yaklaşım kullanılarak tayin edilmiştir. Daha sonra 2-D ölçümllerin momentini alarak parça-boyut dağılımı çıkartılmaya çalışılmıştır. Önerilen

sistem görüntü işleme sırasında madencilik aktivitelerine zarar vermeyecek şekilde tasarlanmıştır. İlave olarak kaya parçalarının konturlarının çıkartılmasındaki analiz aşaması en az uzman tecrübesine ihtiyaç gösterir.

Bir sonraki bölümde parça-boyut belirleme yöntemleri özetlenerek tartışılmıştır. Üçüncü bölümde, 2-D ölçümlerden parça-boyut dağılımı için, stereolojik, empirik ve morfolojik gibi tanımları olan belirleme teknikleri verilmiştir. Dördüncü bölüm; filtre kuvvetlendirme, kenar algılaması, segmentasyon ve kodlama gibi 2-D görüntü işleme tekniklerini özetlemektedir. Görüntü analizi için geliştirilen donanım ve yazılım, algoritması ile birlikte, beşinci bölümde açıklanmıştır. Geliştirilen sistemin laboratuvar ve arazi uygulamaları altıncı bölümde sunulmuştur. Sonuç ve öneriler de son bölümde verilmiştir.

2. Parça Boyut Tayin Yöntemleri

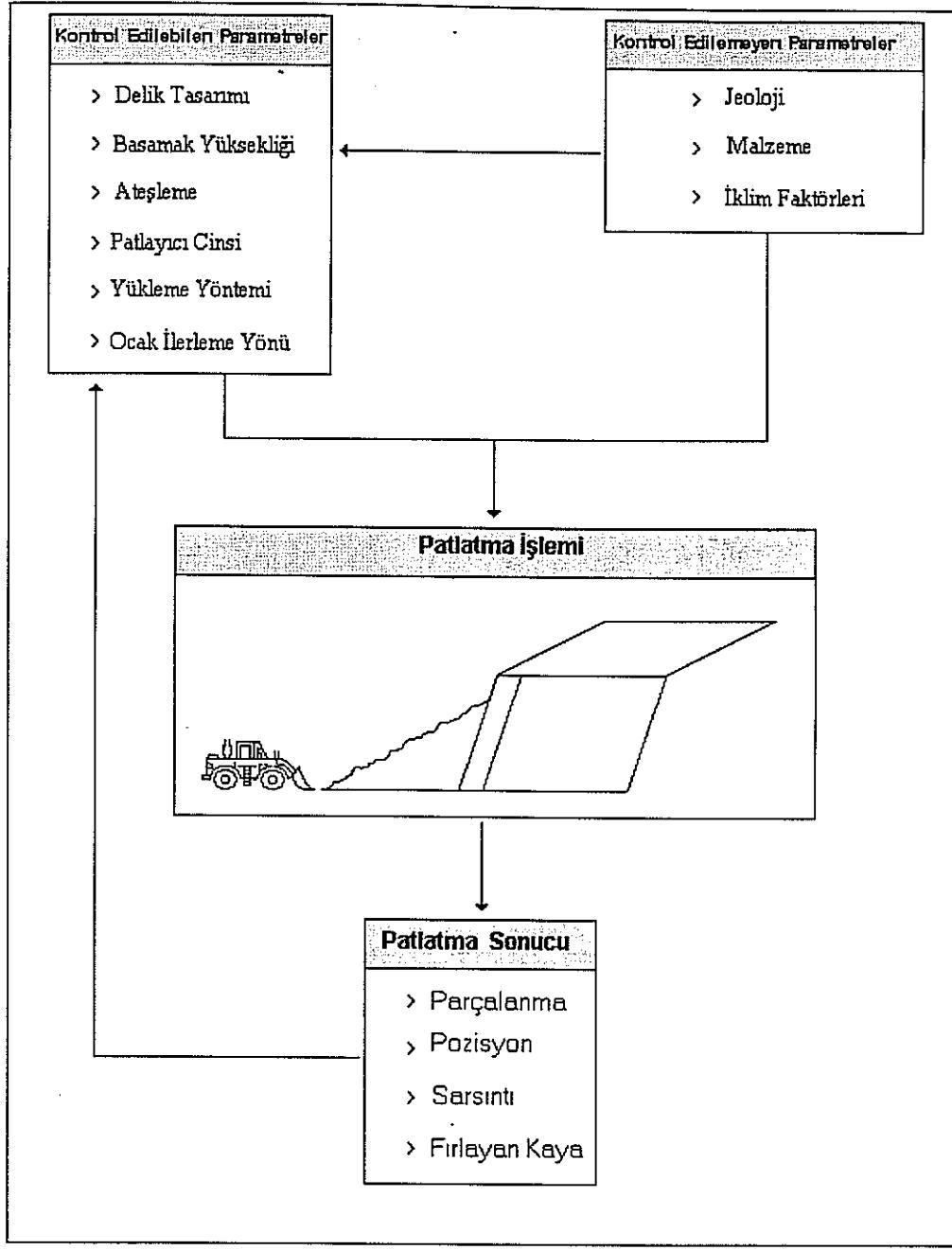
2.1. Giriş

Kayanın patlatma ile kırılması, madencilikte gevşetme yöntemlerinin ana parçalarından birisidir. Patlatma işlemini kontrol ve optimize edebilmek için, patlatma işleminde güvenilir ve sayısal tekniklerin yerleştirilmesi oldukça önemlidir. Bu teknikler, patlatma performansını etkileyen faktörleri göz önüne almalıdır. Bunlar, kontrol edilebilenler ve edilemeyenler olmak üzere iki kategoriye ayrırlırlar (Şekil 2.1). Kontrol edilebilen faktörler, esas olarak; patlatma deliği tasarımını, basamak yüksekliği, ateşleme, patlayıcı türü, şarj yöntemi ve işletme gibi öğelerden oluşur. Kontrol edilemeyen faktörler ise jeoloji, malzeme türü, ve iklim faktörleridir (Vogt ve Aßbrock, 1993).

Madencilik pratiğinde toplam üretim maliyeti, patlatılan kayanın ton başına toplam maliyetini en aza indirecek şartların tanımından oluşur. Bu şartlar; delme, patlatma, yükleme, taşıma ve kırma gibi herbir madencilik işleminin ayrıntılı analizini gerektirir (Hunter ve ark., 1990). Bütün bu işlemler, doğrudan ve dolaylı olarak, patlatma sonrası oluşan parça-boyut dağılımı demek olan parçalanma performansına bağlıdır. Parça-boyut dağılımını etkileyen ana faktörler şunlardır;

- Patlatma parametreleri
- Kaya kütlesi dayanımı
- Tabii süreksızlık aralığı ve yönü

Bu bölümde önce parça-boyut dağılımını değerlendiren yöntemler özetlenmiştir. İlave olarak, bu yöntemlerin uygulanabilirliği, güvenilirliği, avantaj ve dezavantajları da tartışılmıştır.



Şekil 2.1. Patlatma tasarımını etkileyen faktörler

2.2. Parça-Boyut Dağılımını Tayin Yöntemleri

Parça-boyut dağılımını değerlendiren yöntemler; test edilen malzeme ile ölçüm düzeneği arasındaki temasın varlığına bağlı olarak, doğrudan ve dolaylı yöntemler olarak ikiye ayrılır. Doğrudan yöntemlerin tek yolu parçaların elek analizidir. Bu yöntemde, parça-boyut dağılımına ulaşabilmek için test edilen malzeme önce dağıtılır (disturbance), sonra alınır. Dolaylı yöntemler ise, malzemede herhangi bir bozulma (disturbance) olmadan uygulanır. Dolaylı yöntemler üç ana gruba ayılır;

- Gözlem yöntemleri
- Empirik yöntemler
- Sayısal yöntemler

2.2.1. Direkt Yöntemler

2.2.1.1. Elek Analiz Yöntemi

Bütün yöntemler içerisinde en doğru olan yöntemdir. Elek analiz yönteminin uygulama ve prosedürü ile ilgili ayrıntılı çalışma Clark (1987) tarafından yapılmıştır. Geçmişte bu yöntem parça-boyut dağılımı tayininde yaygın olarak kullanılmışken, son yıllarda dolaylı yöntemlerin kalibrasyonunda kullanılmaktadır. Elek analizi için numune temini iki yoldan yapılır. Birinci yol, yerinden örnek alımı, diğeri ise taşıma elemanlarından (nakliye bandı, kamyon gibi) örnek teminidir. Taşıma araçlarından örnek alınırken özel bir aygit gerektiğinden bu yöntemin uygulanması daha zordur.

Bu yöntem ayrıntılı olarak Dick ve ark. (1973), Stagg (1987) ve Ouchterlony ve ark. (1990) tarafından kullanılmıştır. Dick ve ark. (1973), tüm yiğinin elenmesinden elde edilen elek üstü ağırlık yüzdesi ve boyut dağılımının analizine dayanan patlatma değişkenlerinin etkisini çalışmışlardır. Benzer şekilde, Stagg (1987), parça-boyut dağılımı araştırmaları için yaklaşık 424 ton eleme yapmışlardır. Ouchterlony ve ark. (1990), üretim patlatması parça-boyut kontrol işleminde 4.75-350 mm elek açıklığı için küçük boyutlu bir eleme yapmışlardır. Elek analizi, aşağıdaki nedenlerden dolayı tercih edilmeyen bir tekniktir:

- Madencilik işlerinin kesintiye uğraması
- Emek gereksinimi
- Yüksek maliyet
- Yetersiz örnek miktarı

Tonlarca patlatılmış malzemenin elenmesinin yüksek maliyeti, araştırcıları, parça-boyut dağılımını tahmin eden dolaylı yöntemlerin geliştirilmesine götürmüştür.

2.2.2. Dolaylı Yöntemler

2.2.2.1. Gözlem Yöntemleri

Bu yöntemler, esas olarak, uzmanların ortak kanısına dayanır. Burada, gözlemi yapan kişi, yerindeki yiğine bakarak ya tecrübesini kullanarak veya parçaları sayarak veya bilinen bir ölçüyü kullanarak kararını verir. Grant ve Dutton (1983) günde en az bir vardiyada gözlem yaparak parça-boyut dağılımını tayin etmişlerdir. Boyutlandırma farklı aralıkları logaritmik olarak kategorize edilerek yapılmıştır. Onlar aynı zamanda

alandaki patarları da saymışlardır. Tablo 2.1'de arazide parça-boyut dağılımı için hazırlanmış bir form verilmektedir. Oucterlony ve ark. (1990) ise 1 m³ 'den büyük parçaları sayarak, 35 cm'den küçük parçaları elle eleyerek boyutlandırmışlardır.

Tablo 2.1. Arazide boyut kodlaması için veri toplama formu

GÖZLEMLE BOYUT TAYİNİ	
Boyut Sıralaması	Boyut Aralığı
0	0.025 m
1	0.025 - 0.05 m
2	0.05 - 0.10 m
3	0.10 - 0.21 m
4	0.21 - 0.42 m
5	0.42 - 0.84 m
6	0.84 - 1.70 m
7	1.70 m

ÖLÇEK TABLOSU

OCAK:
TARİH:
KAZI SEVİYESİ:
ALIM YERİ:
ORTALAMA PARÇA BOYU:
AKIŞ DURUMU:
PATAR SAYISI:

Yukarıdaki çalışmaların performansı ve tekrar edilebilirliği temel olarak kişinin deneyimine bağlıdır. Çoğu durumlarda, yöntem kişiye bağlı olduğu için hep aynı sonuçlar bulunur. Ne kadar deneyimli olsanız da bir başka uzman, aynı yığında farklı boyut dağılımını bulabilir. Bu kişiye bağılık sorununu ortadan kaldırabilmek için, Aswegen ve Cunningham (1986) arazi verisini bilinen bir ölçü ile karşılaştırarak daha gerçekçi bir yöntem önerdiler. Bilinen ölçü, tek düzlelik indeksi 0.5-2.0 arasında değişen Rosin-Ramler (1993) malzeme dağılımında hazırlanan standart fotoğraflardır. Karar; ya arazide veya laboratuarda, araziden alınan patlatılmış yığın fotoğrafları ile standart fotoğrafın karşılaştırılması ile verilir. Bu teknik, yığının parça-boyut dağılımını hızlı bir şekilde bulmak için kullanılır.

Bu yöntemlerin ortak dezavantajları, subjektif olmalarıdır. Çünkü, parça-boyut dağılımı değerlendirmesi tamamen kişinin deneyimine bağlıdır. Ayrıca, standart fotoğrafların karşılaştırılmasında dar bir boyut bandı vardır. Bir diğer dezavantaj ise sonuçların kendi içlerinde birbirlerine bağlı olmasıdır. Bu demektir ki, parça-boyut dağılımını karşılaştırması aynı operatör ile aynı saha için yapılır. Özette, son parça-boyut dağılımı, göz önüne alınan duruma göre görecelidir. Bu yöntemlerin ana avantajı, düşük maliyetli ve çabuk sonuç alınabilir olmalarıdır.

2.2.2.2. Empirik Yöntemler

Empirik yöntemler, parça-boyut dağılımını patlatma parametrelerinden tayin etmeyi amaçlar. Empirik yöntemlerin derlenmesini Scott ve ark. (1993) ve Clark (1987) yapmışlardır. En yaygın olarak kullanılan parça-boyut dağılımı tahmin yöntemi

Kuznetsov (1973) modeli ile Cunningham (1983)'in Kuz-Ram modelidir. Kuznetsov'un modeli empirik yöntemin öncülerindendir. Bu model;

$$\bar{x} = A \left(\frac{V_0}{Q} \right)^{0.8} Q^{1/6} \quad 2.1$$

Burada,

\bar{x} = ortalama parça boyutu, cm

A = kaya faktörü $\begin{cases} 7 - \text{orta sert kaya için} \\ 10 - \text{sert, çok catlaklı kaya için} \\ 13 - \text{çok sert, az catlaklı kaya için} \end{cases}$

V_0 = bir patlatma deliği atımında (dilim kalınlığı * aralık * basamak yüksekliği, m^3)

Q = bir patlatma deliği atımında TNT eşdeğерinde patlayıcı miktarı, kg

Diğer patlayıcılar için 2.1. eşitliği genelleştirilirse;

$$Q = \frac{Q_c E}{115} \quad 2.2$$

Burada,

Q_c = bir delikte kullanılan patlayıcı miktarı, kg

E = patlayıcının TNT'ye göre ağırlıkça şiddeti.

2.2. eşitliği 2.1. eşitliğinde yerine konulursa;

$$\bar{x} = A \left(\frac{V_0}{Q_c} \right) Q_c^{1/6} \left(\frac{E}{115} \right)^{-19/30} \quad 2.3$$

Cunningham (1983); Kuznetsov'un modeli ile Rosin-Rammeler (1933) boyut dağılımını birleştirerek yeni bir model önerdi.

Rosin-Rammeler boyut dağılımı aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c} \right)^n} \quad 2.4$$

Burada,

R = elek üstü malzeme oranı

x = elek açıklığı (boyutu)

x_c = karakteristik boyut

n = tek düzlik indeksi

R'ı 0.5 (%50 geçen) olarak ve x'i 2.3. nolu eşitlige, daha sonra 2.4. nolu eşitlige yerleştirilirse;

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0.693)^{1/n}} \quad 2.5$$

Kuz-Ram modeli (n)'i aşağıdaki gibi tanımlar:

$$n = \left(2.2 - 14 \frac{B}{D} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left(1 + \frac{(A-1)}{2} \right) \frac{L}{H} \quad 2.6$$

Burada,

B = dilim kalınlığı, m

D = delik çapı, mm

W = delme hassasiyetinin standart sapması, m

A = delik aralığı/dilim kalınlığı oranı

L = cevher seviyesi üzerindeki sarj boyu, m

H = basamak yüksekliği, m

Cunningham (1983) Kuz-Ram modelinin uygulama örneklerini göstermekle birlikte, patlayıcı davranış parametreleri ile mekanik modeli göz önüne alarak, yöntemin geliştirilmesinin devam edeceğine sonucuna vardı. Diger taraftan, Kuz-Ram modelinin kısıtları şunlardır:

- i. Kaya özelliği ve onların değişimleri göz önüne alınmaz.
- ii. Modelin varsayımları çoğunlukla patlatma işlemini değişkenliğiyle ortadan kaldırılır.
- iii. Modelin etkili kullanımı; gerçekte vuku bulanla bir patlatmada vuku bulanın tayinindeki zorlukla sınırlıdır.

Yukarıdaki modellerle ilave olarak; Stagg ve ark. (1992), çatlak tokluğu ve kaya yoğunluğu gibi parametrelere dayanan parça-boyut dağılımı empirik yöntemlerini geliştirmiştir. Daha sonra, Hjelmberg (1983) Nitro Nobel'in (1971) formülünü modifiye etmiştir. Gama (1993) patlatma sonrası laboratuvar deneylerinden maksimum parça boyutlarını tayin eden bir model geliştirdi.

Empirik yöntemler patlatma ön tasarımları için oldukça iyi yöntemlerdir. Buna karşın empirik yöntemler, herbir atımdaki (dilim kalınlığı*aralık*basamak yüksekliği) kullanılan patlatma parametrelerinin tüm saha için de homojen bir model olduğunu varsayar. Buna karşın empirik yöntem; parça-boyut dağılımı, patlatma parametreleri, kaya kütle dayanımı, süreksizlik aralığı ve yönünü göz önüne alan tek yöntemdir.

2.2.2.3. Sayısal Yöntemler

Sayısal yöntemler üç kaynaktan bilgi alırlar. Bunlar, fotoğraf, VCR bandı ve video kamera sinyalidir. Sayısallaştırma tablosu, tarayıcı ve çevirici karttan alınan görüntüleri sayısallaştırmak için üç tür hardware kullanılır. Sayısallaştırıcı tabla, klasik CAD yazılımı ile görüntüyü sayısallaştırır. Benzer şekilde, tarayıcı (Scanner), sonuç matrisi verecek şekilde yeniden sayısallaştırır. Bunların yanında, çevirici kart; hem VCR hem de video kameradan gelen görüntüyü alır ve sonuç olarak matris çıktısı verir.

Sayısal yöntemlerin ortak özelliği, parça-boyut dağılımına ulaşmak için parçaların konturlarını çıkarmalarıdır. Hunter ve ark. (1990) ve Kemeny ve ark. (1992) sayısal yöntemleri parça boyut dağılımı belirleme teknikleri ile birlikte derlemiştir.

Fotoğraf Sayısallaştırması: Bu yöntem, klasik CAD yazılımı ile parça fotoğraflarından onların iki boyutlu konturlarının sayısallaştırılmasına dayanır. Bu yöntemin önemli yanı, filmin hızı ile kontrol edilen iyi kalitede fotoğraf elde etmektedir. Hunter ve ark. (1990) film hızını açık ocaklar için ASA/ISO 25 ve yeraltı ocakları için ASA/ISO 800 önermektedir. Nie ve Rustan (1987), Graiger ve Paine (1990) ve ayrıca MacLachlan ve Singh (1989) bu tekniği araştırmalarında kullanmışlardır. MacLachlan ve Singh (1989) hem laboratuvara hem arazide patlatılmış malzeme yığınlarından istenenden büyük parça boyutunu tayin etmede kullanmışlardır. İstenenden büyük parça boyutunun laboratuvara bulunmasında aşağıdaki şartlarda gerçek kazı durumunu simule etmişlerdir.

- i. Normal olarak çalışılan bir basamakta
 - patlatmadan hemen sonra
 - aynı basamağın kısmen kazısından sonra
- ii. Koni şeklinde yandaki yığından
- iii. Apron boşaltması durumunda

MacLachlan ve Singh (1989) araştırmaları sonucunda, alanın hacime oranının yüksek olduğu konik yığın durumunun en temsili durum olduğu sonuçuna varmışlardır. Nie ve Rustan (1987), parça boyut analizinde, hem tepeden hem de kesitten alınan fotoğrafları karşılaştırmıştır. Sonuçta yığınları fotoğraflardan temsil eden ve radyal doğrultu yöntemi adını verdikleri yeni bir numune alım yöntemi önermişlerdir. Fotoğraf sayısallaştırma yönteminin tercih nedenleri şunlardır (MacLachlan ve Singh, 1989, Hunter ve ark., 1990);

- i. Hızlı ve basit bir işlem (arazi uygulamasında madencilik faaliyetlerini en az durdur).
- ii. Doğru ve ayrıntılı kayıt alınarak her zaman inceleme olanağı verir.
- iii. Üretim işlemlerinde rutin kullanım için uygundur.
- iv. Maliyeti düşük ve gerekli ekipman oldukça basittir.

Bu yöntemin diğer sayısal yöntemlere göre ana avantajı, parça konturlarının uzman bilgisi ile doğru tayin edilmesidir. Parça teması ve üst üste bindirmeler de benzer şekilde ayırt edilir. Zaman gerektiren işlemler nedeniyle, daha çok, diğer sayısal yöntemlerin kalibrasyonunda kullanılır. 16*24 cm boyutunda bir fotoğrafın inceleme süresi 1-2 saat alabilir (Nie ve Rustan, 1987).

Görüntü (imaj) İşlemi: Bu yöntem analog sinyallerin sayısal şeke dönüştürülmesi esasına dayanır. Örneğin, Londra'dan Newyork'a bir görüntü (imaj) transferi öncelikle fotoğrafaktaki görüntünün sayısal çevrilmesi ile başlar. Her görüntü bir M*N matrisi ve ışık şiddeti değerleriyle temsil edilir. M*N matriksi bir görüntünün çözünürlüğünü (resolution) temsil eder. Matrisin her elemanına piksel denir. Hafif ışık şiddeti görüntünün gri tonunu verir. M*N matrisinin oluşturulmasına bağlı olarak görüntü işlem teknikleri 1-D, 2-D, 3-D olmak üzere üçer ayrılr.

1-D Görüntü İşlemi: 1-D görüntü işlemi ilkel doğrusal prob kullanır. İlk geliştirilen sistem, nakliye bandlarındaki 1-D görüntü işlemini kullanan AMCO AUTOMETRICS MSD-95 parça-boyut dağılım transmitteri'dir (Gallagher, 1976). Kayaların boyları (chord length), bandın hızını bilerek ve kritik (threshold) değerin üzerindeki zaman sinyallerini ölçerek tahmin edilir. Kord boylarının, parçaların oryantasyonu ve kaya ile fonun kontrastına oldukça bağlı olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle 1-D görüntü işleminin doğruluk derecesi fazla değildir. Bu dezavantajlar, Yacher ve ark. (1985) tarafından çoklu doğrusal problemler kullanılarak ortadan kaldırılmaya çalışıldı. Bu sistemde, iki boyutun eksikliğini, nakliye bandının eni boyunca on tarama doğrusu alarak ortadan kaldırılmaya çalışılmışlardır. Buna rağmen bu yöntem de problemin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Çünkü bandın eni boyunca problemler arasında boşluklar kalmaktadır.

2-D Görüntü İşlemi: 2-D görüntü işlemi, mühendisliğin her alanında en yaygın ve en popüler olarak kullanılan tekniktir. Çünkü 2-D görüntü işlemi, göreceli olarak ucuz, pratik ve dolayısıyla kolaylıkla uygulanan işlemidir. Dinamik depolama ünitesi ile donatılmış yüksek hızlı bir A/D çevirici kart ile analog görüntü alma (capture) esasına dayanır. Alınan görüntü, farklı parlaklıklardaki piksel değerleri ile temsil edilir. Bilgisayar dilinde değişen parlaklıklar, A/D çevirici çözümüne dayanan tonlama veya gri ton bölgesi olarak temsil edilir. Örneğin 8 bit bir A/D çevirici, 0 (siyah) ve 255 (beyaz) olmak üzere 256 farklı gri ton üretir. Dizin boyu, çevirici kartın çözünürlüğünü ve parlaklık seviyesine göre tayin edilir. Teknoloji gelişikçe yüksek çözünürlülükte çevirici kartların üretimi de mümkün olacaktır. Ancak çözünürlüğün artması yüksek kapasiteli bilgisayarları da gerektirmektedir. İmajı sayısallaştırdıktan sonra, amaca bağlı olarak, farklı görüntü işleme teknikleri kullanılabilir. Parça-boyut dağılımı tayininde, görüntüler patlatılmış malzemeden alınır. Alınan görüntü sayısallaştırdıktan sonra her bir parçacığı belirlemek gerekir. Alan, cord boyu (cord

length), çevre, eşdeğer çap, elips, maksimum ve minimum boyutlar gibi kaya parçacığı parametrelerinin hesap edilmesi; empirik veya stereolojik tekniklerinin kullanılmasıyla 3-D parça boyutu tayin edilmesinde kullanılır.

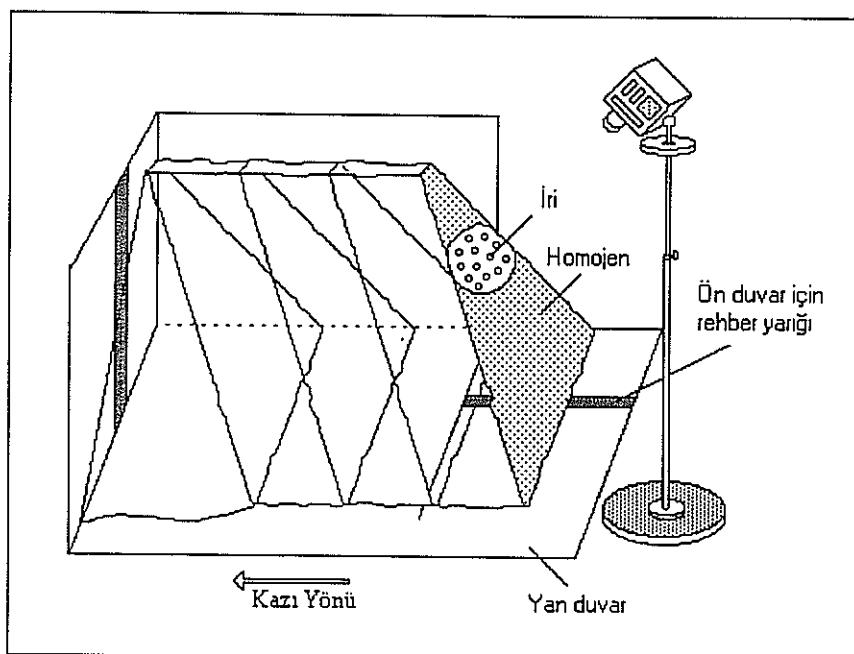
2-D parça-boyut dağılımı analiziyle ilgili çalışmaların birisi Berger (1985)'in çalışmasıdır. Bu çalışmada, segmentasyon (segmentation of fragment) analizi, beş-bant histogram modifikasyon tekniği ile yapıldı. Bölge kapatılması (merging) ve ayrılması işleminde kural-dürtülü (rule-driven) işlemi kullanıldı, ve sonuçta Berger (1985) parçacıkları, küçük, orta ve büyük gruplar olarak kodlamıştır. Wigeson (1987); kurala dayalı (rule based) kontrol edilen akıllı (intelligent) kodlama algoritmasını içeren hızlı bir parça belirleme algoritması geliştirmiştir. Parça-boyut tayini; empirik bir ilişki ile her parçacığın alan ölçümlerinin kütle ve elek açılığına çevrilmesiyle yapılmıştır.

Bir nakliye bandındaki kaya parçalarının parça-boyut dağılımını gerçek zaman içinde (real time) ölçü mü Lange (1990) tarafından gerçekleştirildi. Bu çalışmada, kaya sınırları; kenar tanımı, sınır değerler (threshold) ve morfolojik tekniklerin birleştirilmesi ile bulundu. Cord boyu dağılım yığılmasının, 3-D dağılımına çevrilmesi için, cord boyu dağılımı; moment ve morfolojik yöntemlerle istatistiksel işleme tabi tutuldu. Kemeny ve ark. (1993) parça-boyut dağılımı için bir rutinler kümesi tanımladı. Bu rutinde; farklı ölçeklerde alınan görüntülerin de birleştirilmesi ile örnek değişkenliği ve parçacıkların üst üste binmeleri (çakışması) de göz önüne alındı. 3-D parça-boyut dağılımı tayini için istatistiksel analizde, elipsin en iyi uyum parametreleri (büyük ve küçük eksenler) kullanıldı. Kemeny ve ark. (1993) tek parçacıklar ve elek açıklıklarından; en iyi uyum gösteren elipsin maksimum ve minimum eksenlerinin ilişkilerini buldular.

Carlsson ve Nyberg (1983), parçacıkların tipik çapından hacimsel parça-boyut dağılımını veren bir arazi sistemi geliştirmiştir. Tipik çap, kenar tanıma tekniği kullanılarak hesap edilmiştir. Sonuçta en büyük parça boyutunun en küçük boyutundan 20 kattan daha büyük olmamasına karar vermişlerdir. En küçük parça boyutu da çözünürlüğün (resolution) 3 katı olmalıdır. Vogt ve Aßbrock (1993)'un çalışmaları da patlatılan kayadan yüksek hızlı otomatik parça-boyut dağılımı belirleme sistemi geliştirmiştir. Bu sistemde bir taş ocağındaki yükleme işlemi simülle edilmiş ve her bir alanın parça boyut dağılımı hesap edilmiştir. Şekil 2.2, bu çalışma sırasında alınan fotoğraf görüntü sıralaması yöntemini göstermektedir. Bu çalışmadan, anlaşılmıştır ki, cepheden alınan bir fotoğraf tek başına bir yığının parça-boyut dağılımını temsil etmez.

Yukarıdaki çalışmalara ilave olarak Bedair ve ark. (1994), Montoro ve Gonzales (1993), Chiemanoff (1993), Paley ve ark. (1990), Smith ve Kemeny (1993)'de parça-boyut dağılımı analizi araştırmaları yapmışlardır. Genellikle onların hemen hepsi araştırmalarında, farklı yöntemler, farklı görüntü işleme teknikleri ve farklı hacimsel çevirim algoritmaları kullanmışlardır. Lin ve ark. (1993) nakliye bandında; kırma öğretme işlemlerini kontrol etmek için bir PC görüntü tabanlı on-line iri parça-boyut sistemi geliştirmiştir. Bu çalışmada, ışıklandırmanın etkisi, görüntü

bozulması ve bindirmeler (blurring ve interlaced) araştırıldı ve bu faktörlerle ilgili öneriler getirildi. Benzer şekilde, Wang (1995)'da, hareket halindeki bir nakliye bandındaki agrega görüntülerini otomatik seçen sistem üzerinde çalıştı. 2-D görüntü işlemi, hem yatay hem de düşey sayısallaştırma yapma avantajına sahiptir. Buna karşın görüntünün üçüncü boyutu eksiktir ve üçüncü boyut, empirik veya stereolojik (stereological) yöntemlerle tayin edilir. Bu çalışmada, 3-D parça-boyut dağılımı tayini için 2-D, görüntü işlemi kullanılmıştır.

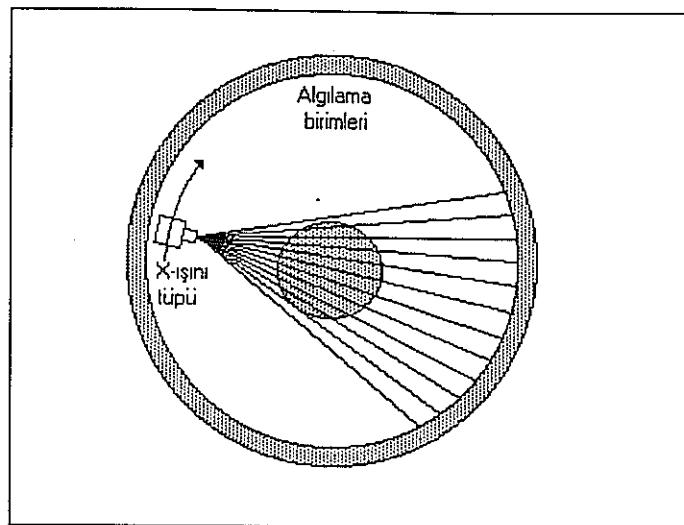


Şekil 2.2. Fotoğraf görüntü sırası (Vogt ve Abbrock, 1993)

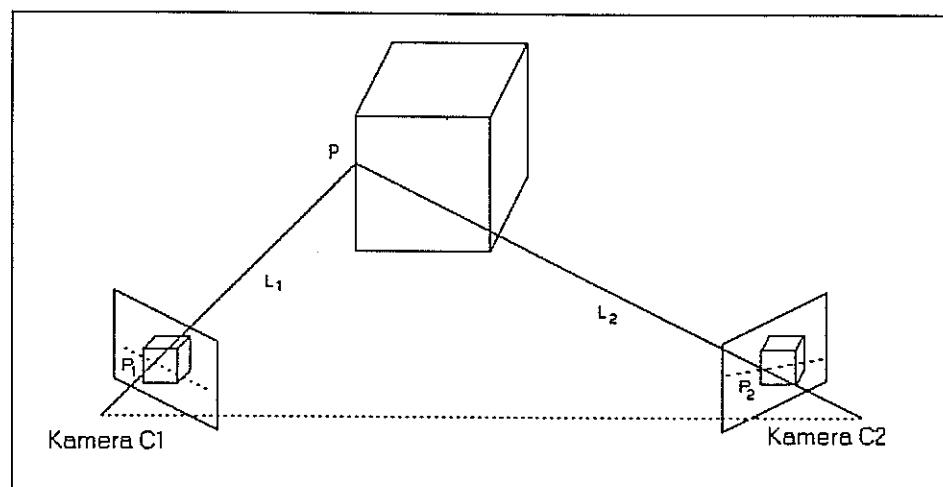
3-D Görüntü İşlemi: 3-D görüntü işlemi; tek bir görüntüden alınan stereo görüntünün, fotogrametrik tekniklerine dayanır. Sonra ki süreçte, ya tek kamera ve bir projektör (aktif sistem), iki kamera veya tıbbi tomografide olduğu gibi kesit görüntülerinden alınan 2-D görüntülerle yürütülür. Tıbbi tomografi; cisimlerden fiziksel bir kesit almaksızın, görüntü kesitleri oluşturmayı amaçlar. Bu metod, 3-D boyutlu görüntülerini üretmek üzere geliştirilir (Russ, 1995). Şekil 2.3'te sadece X-ışını kaynağının rotasyonuna ve içi boş bir silindirin üzerine yerleştirilmiş detektörlerin algılara dayanan dördüncü nesil geometrisi verilmiştir. Böylece, bu yöntem arazide örneklerin (kaya parçacıkları) X-ışını detektörleriyle donatılmış içi boş bir silindirden geçirme zorluğu nedeniyle arazide uygulanamaz. Laboratuvar deneyleri için de çok pahalıdır.

Aktif ve pasif sistemler, ışıklandırma şartlarının kullanımına bağlı olarak kodlarlar (Cheung ve Ord, 1990). Pasif teknikler, ışığın stereolojik paternine bağlı olmayan yapısız ışıklandırma durumu için veya ambient tekniklerin kullanılmasını yapar. Madencilikte kullanılan pasif teknikler, Chung ve DuPlessis (1993) tarafından derlenmiştir. Klasik olarak, pasif sistem iki kamera pozisyonundan alınan iki

görüntünün kullanılmasını içerir. Karşı gelen noktalar ise, elde edilen iki görüntü ve karşı gelen üçgenlemeden elde edilen her bir noktanın 3-D koordinatının bulunmasına dayanır (Şekil 2.4).



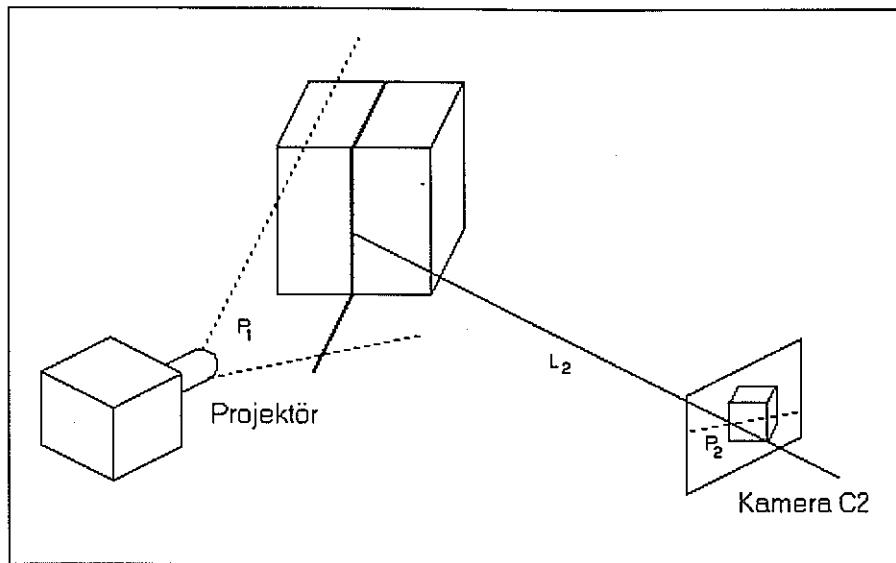
Şekil 2.3. Dördüncü nesil geometrisi (Russ, 1995)



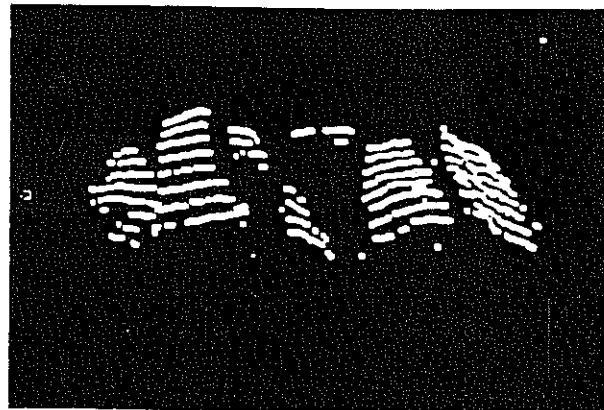
Şekil 2.4. Pasif sistem (Cheung ve Ord, 1990)

Bu tekniğin parça-boyut dağılımında uygulanması; iki görüntüde bulunan ortak noktaların çakışma olanaklarının zorluğu nedeniyle oldukça zordur. Yüksek hesaplama masrafları da ayrı bir dezavantajdır (Chung ve DuPlessis, 1993). Diğer yandan aktif sistem; ışık hüzmesi, noktalar (dots), özel kalıplar (patterns) ve lazer gibi paternli ışık ile aydınlatılmış sınır bulumuna dayanır. Bu sisteme, ışık hüzmesi cisimlerin üzerine gönderilir ve ışık altındaki cisim yüzeylerinin noktalarının koordinatları düzlemin kesimi ile bulunur (Şekil 2.5). Cheung ve Ord (1990), nakliye bandı üzerindeki parçaların 3-D profillerini bularak parça-boyut dağılımını tayin etmek için aktif sistemi

başarı ile uygulamışlardır. 3-D veri noktalarından kaya parçalarının tekrar kurulması (reconstruction) Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.5. Aktif sistem (Cheung ve Ord, 1990)



Şekil 2.6. Ölçülen kaya parçalarının 3-D olarak yeniden kurulması
(Cheung ve Ord, 1990)

2.3. Dolaylı Yöntemlerde Hata Kaynakları

Sayısal yöntemlerle parça-boyut dağılımı belirleme işleminde dört tip hata yapılabilir. Bunlar;

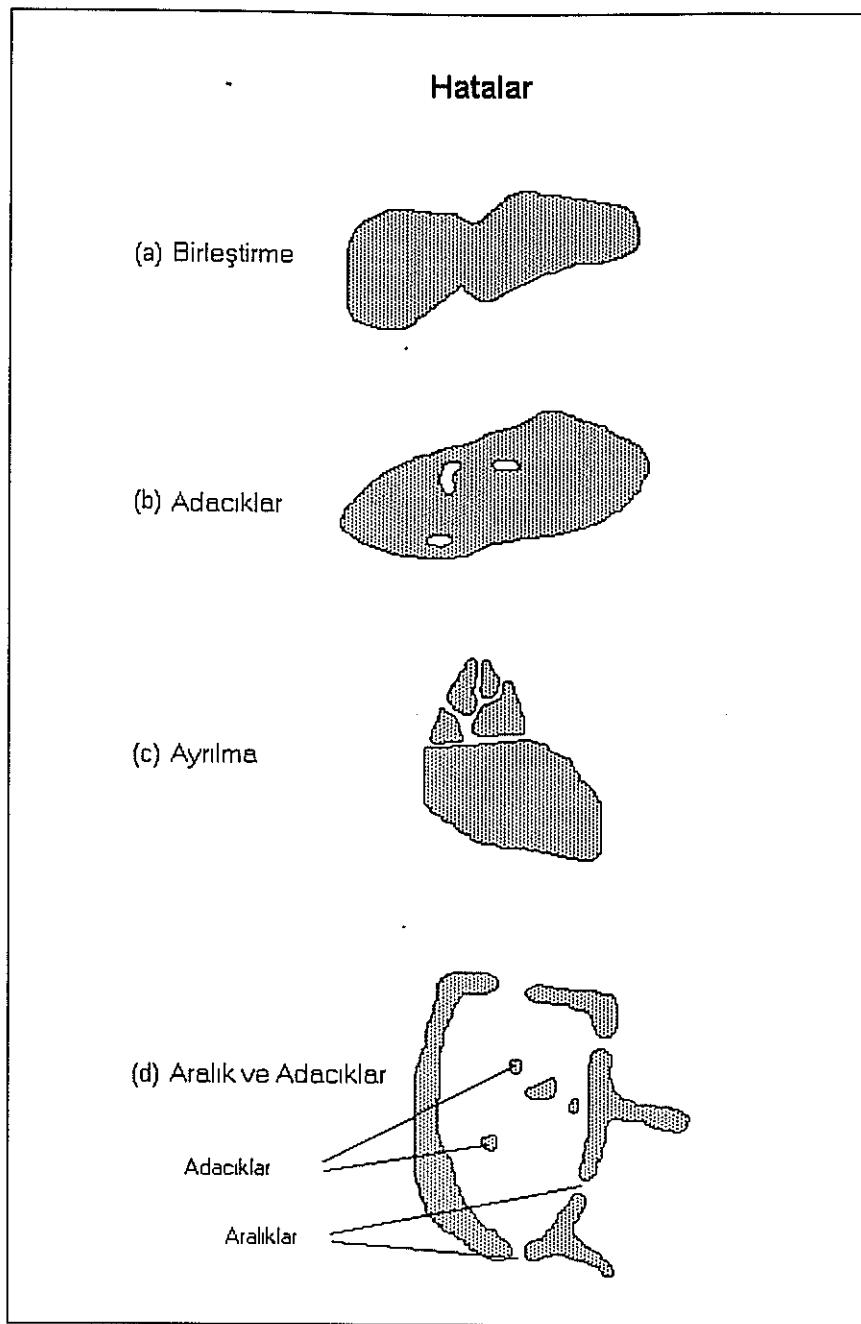
- i. arazi şartlarından kaynaklanan hatalar,
- ii. sayısallaştırma işleminden kaynaklanan hatalar,
- iii. görüntü alma işleminden kaynaklanan hatalar, ve
- iv. ölçümlerinin 3-D ye çevrilmesinden kaynaklanan hatalardır.

Arazi şartlarından kaynaklanan hatalar, genellikle kaya özelliğinden, arazi şartlarından veya örnekleme yönteminden oluşur. Kayanın yüzey yapısı alınan görüntünün kalitesini oldukça etkiler. Örneğin, düzlemsel bir yüzey parlak bir görüntü verirken, dalgalı ve gözenekli yüzeyler farklı kaya özelliği gibi görünebilir. Bakış açısı, çok kırıklı parçacıklar, aydınlanma ve çevre şartları da arazide rastlanan diğer hatalardır. Bakış açısı hatası kameralan pozisyonu, yüksekliği ve uzaklığa bağlıdır. Genellikle yakın mesafe ve yiğina 90° , önerilen en iyi durumdur. Yakın çekim, küçük parçacıkları almama sorununu ortadan kaldırır. Işığın şiddeti ve yansıtma açısı gölgeye neden olacağından kontrastın kaybolmasına ve hataya neden olur. Tabii ışıklandırma kaya yüzeylerine dik olmadığı durumlarda, oluşan gölge komşu kaya parçacıklarını saklayacağı için daha düşük alan verebilir. Yağlı havalarda ve nemli çevrede görüntü kalitesi çok etkilenir. Örnekleme yöntemi de gözönüne alınması gereklili ve önemli bir faktördür. Pasa yiğinlarından alınan görüntülerde sadece yüzeydeki kaya parçacıklarını içerir. İlave olarak, alınan görüntülerdeki kaya parçacıkları birbirinin üzerine binmeye ve böylece görüntülerin uçlarının kesilmesine neden olurlar. Yiğini temsil etmek üzere alınan görüntülerde de hatalar oluşur. Bu durum, patlatma sonrası, üretim sırasında ve farklı kazı durumlarında alınan çok sayıdaki görüntülerle ortadan kaldırılabilir.

Sayısallaştırma işleminden kaynaklanan hatalar, sayısallaştırıcı tabla ve çevirici kartı gibi kullanılan ekipmana bağlı olarak iki grupta toplanır. Sayısallaştırıcı tabla kullanıldığından kaya parçacığının konturlarının mükemmel olarak çıkartılması çok zor ve zaman alıcıdır. Bazı durumlarda, hatta fotoğrafın çözünürlüğünün iyi olduğu durumlarda da, bazı kaya parçalarını ayırt etmek zordur. Hata miktarı uygulayıcı kişinin eğitimi çok bağlıdır ve kişiden kişiye değişir. Eğer sayısallaştırma ekipmanı çeviri kartı ise, sistemin çözünürlüğü ve gri band tonlaması nedeniyle hatalar çoğalır. Örneğin, geniş bir gri bant tonlaması yüzey yapısını daha iyi temsil ederken, yüksek çözünürlüğü olan bir sistem, ince parçaları hassas bir şekilde ele alabilir. Böylece, dar gri bant tonlaması ve düşük çözünürlük hata miktarını artırır. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi, görüntü işleme analizinde hatalar; kapanmanın oluşumu, adacıkların oluşumu, kenarlar arasındaki aralıklar ve ayrılmalar şeklinde olur. Ayrıca, hatalar; kameralan uygunusuz konumundan kaynaklanan aynı görüntüdeki farklı ölçekler ve yanlış kenar algılamalarından da oluşabilir.

2-D ölçümlerinden 3-D boyut dağılımı tayininde, hatalar, kullanılan teknigin varsayımlarından da olabilir. Hatta, bu teknikler mükemmel bile olsalar, yanlış girdiler de hatalı boyut dağılımı verebilir.

Sayısallaştırma teknikleri ardışık özelliğinde olduklarından, her bir hata, işlemin her aşamasında çoğalabilir. Eğer onlar düzeltilemezse, hatalar, kümülatif olarak artabilir.



Şekil 2.7. Görüntü işleme analizinde karşılaşılan hatalar

3. 2-D Bilginin 3-D Boyut Dağılımına Çevrilmesi

3.1. Giriş

Madencilik sektöründe parça-boyut dağılımı, genellikle, parçaların elek analizi ile yapılır. Elek analizi dağılımı gerçekte parçaların üç boyutlu dağılım analizini verir. Bu nedenle kapsamlı bir parça-boyut dağılımı bilgisine ulaşabilmek için 2-D ölçümlerinin 3-D'ye aktarımı temel amaçtır. Bu bölüm, 2-D görüntüden alınan örnek alanı veya boyundan, parça-boyut dağılımı tahmin edebilmek için bazı metodolojileri içerir. Bunlar genellikle stereolojik, empirik veya morfolojik tabana dayanırlar.

3.2. Steorolojik Yöntemler

2-D bilgisinin, 3-D parça-boyut dağılımına çevrilme çalışmalarının ilk yılları, geometrik olarak bilinen şekiller üzerinde yapıldı. Özel olarak; kesitlerden küresel boyut dağılımının tahmin edilmesi steorolojinin problemlerinin en çok bilinenlerinden birisidir. Bu yöntem, düzlem kesiti veya düzlemsel steorolojik gibi kısmi bilgilere dayanan yersel geometrik yapının kestirimine ilişkindir. Daha sonra, bu yöntemler düzgün olmayan şekilli parçaların da parça-boyut dağılımı tahmininde kullanıldı. Steorolojik yöntemler; elek analizi dağılım tahmini tekniği ve boyut dağılımı momentini tahmin eden teknikler olmak üzere iki koda ayrırlar.

3.2.1. Elek Boyut Dağılımının Tayini

Bu yöntem explicit inversyon tekniği olarak da isimlendirilir. Bu yöntemde amaç, örnek boyu, alanı, eşdeğer çapı gibi ölçüm dağılımlarının çevrilmesidir. Bütün yöntemler, ana çalışma eşitliği de denilen aşağıdaki eşitliği kullanırlar,

$$p(M) = \bar{M} \int_{k_M}^{\infty} p(M \setminus D) \frac{f(D)}{M_D} dD \quad 3.1$$

Burada,

- M = örnek boyu, alanı, çevresi, eşdeğer çapı gibi ölçülebilen değişkenler
 $p(M)$ = ölçülebilen değişkenin yoğunluk fonksiyonu
 $p(M \setminus D)$ = elek çapı D olan ve ölçülebilen değişkenin dağılım fonksiyonu
 $f(D)$ = elek boyut dağılımı
 M_D = elek çapı D 'ye eşit olan ölçülebilen değişkenin ortalaması
 k_M = ölçülebilen değişkenin alt sınırı

$f(D)$ 'nin çevrilme (deconvolution) ile tahmini; ya analitik veya numerik şekilde ya da King (1982) tarafından önerilen özgün çözüm ile yapılır. Parça-boyut dağılımının tayininde, örnek boyunun analitik çözümü veya alan ölçüm dağılımının elek boyut dağılımı ilk ve en yaygın yöntemdir. Buna karşın, analitik çözümlerin devreye sokulması, güvenilir bir çözüm garantisini de vermediği halde çok zordur (Lange, 1990). Ana zorluk, geniş programlama ve geniş nümerik analiz gereksiniminden kaynaklanır.

Eşitlik 3.1.'in çevrilmesi (deconvolution), analitik çözümler geliştirme yerine, sayısal araçlarla değerlendirmeyi getirir. Buna karşın, sayısal çözümler; fiziksel olarak hiçbir anlamı olmayan negatif parça dağılımı verebilirler. Hatta, oldukça büyük sayıdaki mümkün çözümler kümesi, $f(D)$ için sayısal yöntemlerle bulunabilir. Böylece, sayısal çözümler, pratigue zor uygulanır.

King (1982), ana işlem eşitliği 3.1'e bir özgün çözüm türündü. King'in çözümü diğer yöntemlerde olduğu gibi iç bütkeylik, düzgün geometrik şekiller gibi varsayımlara

dayanmaz. King'in yaptığı tek varsayıım; parça şeklinin istatistiksel tanımının parça-boyut ile değişmez olduğunu. Eşitlik 3.1'deki $f(D)$ 'nin çözümü için aşağıdaki stokastik model gözönüne alınabilir. Bir prob'la bir profilen geri dönüşümündeki ölçümün M olduğunu kabul edelim. Burada M doğrusal kesişim, alan A , alanı içeren dairenin çapı olan uygun çap F 'dir. Bu ölçümllerin herbiri birer düzensiz değişkendir. Ölçüm M 'nin elde edildiği probabilite, aşağıdaki olaylarla ifade edilebilir;

- i. A olayı, $D, D+dD$ boyut aralığındaki parçada oluşur.
- ii. B olayı, parçaya çarpan doğru veya örnek düzlemi (Parça x 'i kesen gözlem probu T 'dir ve $T \uparrow X$ olarak belirtilir).
- iii. C olayı, $M, M+dM$ aralığındaki sonuç çözümüdür.

Gözlem parametresi M 'nin scoff boyutu D olan olasılık yoğunluğu ile ilgili temel eşitlik aşağıda verilmiştir;

$$p(M \setminus T \uparrow X) = \frac{\int_0^{\infty} p(M \setminus T \uparrow X, D) \Pr(T \uparrow X \setminus D) p(D) dD}{\int_0^{\infty} \Pr(T \uparrow X \setminus D) p(D) dD} \quad 3.2$$

Burada,

$p(M \setminus T \uparrow X)$ = X 'i kesen T 'nin verildiği M ölçümllerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu

$p(M \setminus T \uparrow X, D)$ = D boyutunda X 'i kesen T 'nin ölçümllerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu

$\Pr(T \uparrow X \setminus D)$ = D boyutunda parçacıklara sahip X 'i kesen T 'nin olasılığı

$p(D)$ = boyut yoğunluk fonksiyonu

Eşitlik 3.2, ana çalışma eşitliğidir ve amacı, sol tarafın deneysel elde edilmesini tahminden $p(D)$ 'nin çözümüdür (King, 1982). Eşitlik 3.2'deki $T \uparrow X$ 'i kuvvetlendirme amacıyla şartlandırma olayındaki (conditioning event), yoğunlukları ölçülen değişken M 'ye atıf yapar. M , prob'dan alınır. Yoğunlukların tayini için gözlem probu T 'nin ölçümle kesişmesinden sonra $T \uparrow X$ atılır. $\Pr(T \uparrow X \setminus D)$, uniform, izotropik, random (UIR) için hesap edilir.

$$\begin{aligned} \Pr(T \uparrow X \setminus D) &= \int_0^{\infty} \Pr(T \uparrow X \setminus S, D) p(S \setminus D) dS \\ &= \int_0^{\infty} S p(S \setminus D) dS \\ &= \bar{S}_D \end{aligned} \quad 3.3$$

Burada,

S = her bir parçanın birim yüzey alanı

$p(S \setminus D)$ = D boyutu için yüzey alanının parça dağılım fonksiyonu

\bar{S}_D = D boyutunda ortalama parça yüzey alanı.

Benzer şekilde, UIR için düzlem probu $\Pr(T \uparrow X/D) \bar{K}_D$ 'ye eşittir. Projeksiyonlu alan probu için $\Pr(T \uparrow X/D)=1$ (bütün parçaların gözlendiği durumda). Burada \bar{K}_D , D boyutundaki ortalama integral eğrisidir. Sonuç olarak, farklı durumlar için, ana çalışma eşitliği;

$$p(M) = \frac{\int_0^{\infty} p(M \setminus D) \bar{S}_D p(D) dD}{\int_0^{\infty} \bar{S}_D p(D) dD} \quad \text{UIR doğru probu için 3.4}$$

$$p(M) = \frac{\int_0^{\infty} p(M \setminus D) \bar{K}_D p(D) dD}{\int_0^{\infty} \bar{K}_D p(D) dD} \quad \text{UIR düzlem probu için 3.5}$$

$$p(M) = \int_0^{\infty} p(M \setminus D) p(D) dD \quad \text{projeksiyon alanı için 3.6}$$

Ölçülen M değişkeninin v'inci momenti;

$$\mu_v = \int_0^{\infty} M^v p(M) dM \quad 3.7$$

şeklinde tanımlanır ve bu eşitlik Eşitlik 3.6 ile birleştirildiğinde:

$$p(M) = \frac{\mu_v \int_0^{\infty} p(M \setminus D) p(D) dD}{\int_0^{\infty} \bar{M}_D^v p(D) dD} \quad 3.8$$

elde edilir.

Burada \bar{M}_D^v , rakamsal dağılımin aşağıdaki eşitlik kullanılarak hacimsel dağılıma dönüştürülmesidir ve $\bar{M}_D^v = \int_0^{\infty} M^v p(M \setminus D) p(D) dD$ olarak tanımlanır.

$$f(D) = \frac{\bar{V}_D p(D)}{\int_0^{\infty} \bar{V}_D p(D) dD} \quad 3.9$$

D boyutunun $\frac{\bar{M}_D^v}{\bar{V}_D}$ değişmezi varsayıarak, Eşitlikler 3.8 ve 3.9 birleştirilirse:

$$p(M) = M_v \int_0^{\infty} p(M \setminus D) \frac{f(D)}{\bar{M}_D^v} dD \quad 3.10$$

Eşitlik 3.9; elek boyut dağılımı $f(D)$ 'nin çözümü için gerekli olan temel çalışma eşitliğidir. Eşitlik 3.10'daki $p(M|D)$ μ_V ve M_D^V deneysel olarak ölçülebilir veya hesap edilebilir. Bu durumda, $f(D)$ boyut dağılım fonksiyonunu aşağıdaki eşitlikten elde edilir (King, 1982);

$$f(D) = \frac{p_v(M)}{\mu_v} - \frac{\mu^{v+1}}{\beta\mu_v} p(M) - C(\alpha, \beta) \quad 3.11$$

Burada,

$$v = \begin{cases} 1 & \text{UIR doğru prob} \\ 2 & \text{UIR düzlem probu} \\ 3 & \text{UIR projeksiyon alanı} \end{cases}$$

Eşitlik 3.11'deki $P_V(M)$ ve $P(M)$ ve μ_V , prob ve düzeltme teriminin değerlerinden alınan veriden kolayca hesap edilir. $C(\alpha, \beta)$ da yine King (1982) tarafından verilir. $C(\alpha, \beta)$ sayısal olarak çözülebildiği gibi farklı β ve boyut parametreleri için de King (1984), King'in (1982) yönteminin çok pratik olarak uygulandığı ve elek boyut dağılımını tahmin ettiği için, $C(\alpha, \beta)$ değerlerini tablo halinde vermiştir. King (1982) $C(\alpha, \beta)$ 'nin şekele bağlı fonksiyon $p(M|D)$ ve bilinmeyen boyut dağılımı $f(D)$ 'ye bağlı olduğunu söylemektedir.

3.2.2. Moment Yöntemleri

Moment yöntemleri; 2-D bilgiyi, 3-D'ye transfer etmenin bir başka yoludur. Bu yöntemde, parça-boyut dağılımı momenti, 2-D ölçümlerinden tahmin edilir. İlk aşamada, dağılım fonksiyonunun kendi tahminini terk etmekle, bilgi kaybedilmiş gibi görünür. Hilliard'in (1968) da söylediğ一样, temel olarak bu doğru değildir. Çünkü, momentler her düzgün dağılımı kesin olarak tanımlar. Hatta, ilk momentler bile mühendislik uygulamalarındaki parça-boyut bilgisi için yeterlidir. Parça-boyut bilgisinin daha popüler kullanımı, boyut dağılımı ile bazı özellikler arasında ilişki kurmayı gerektirir. Böylece merkezi eğilimi karakterize etmek için, ortalama (orijin etrafında ilk moment), dağılımı ölçmek için standart sapma (ortalama etrafında ikinci moment'in kare kökü) ve seyrek olarak kullanılan skewness, gibi ilk momentler, parça-boyut dağılımı hakkındaki gerekli bilgiyi temin ederler (Hilliard, 1968).

Cord boyusal dağılım $P(L)$ ve alan dağılımı $P(A)$ gibi 2-D ölçüm dağılımları, $f(D)$ arasındaki ilişki; Hilliard (1968), Missiaren ve Thomas (1989), King (1984) gibi pek çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bir dağılımin n 'inci momenti aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$\mu_M^n = \int_0^{\infty} M^n p(M) dM \quad 3.12$$

Burada,

μ_M^n = n'inci moment

M = ölçüm

p(M) = ölçümlerin dağılım fonksiyonu

Eşitlik 3.12'de parça-boyut dağılımının birinci ve ikinci momentleri aşağıdaki gibi tahmin edilir (Lange, 1990);

$$\mu_D = k_1 \frac{\mu_M^2}{\mu_M} \quad 3.13$$

$$\mu_D^2 = k_2 \frac{\mu_M^3}{\mu_M} \quad 3.14$$

Burada,

k_1 , k_2 = parçacığa bağlı faktörler

μ_M = ölçüm dağılımının ortalaması veya birinci momenti

μ_M^2 = ölçüm dağılımının varyansı veya ikinci momenti

μ_M^3 = ölçüm dağılımının skewness'inin üçüncü momenti

μ_D = parça-boyut dağılımının ortalaması

μ_D^2 = parça-boyut dağılımının varyansı

Cord boyu ölçümlerinden boyut dağılım momentlerini bulmak için, King (1984) k_1 ve k_2 değerlerini sırasıyla 1.479 ve 1.825 olarak önermiştir. Lange (1990), ölçülen cord boyu histogramlarından $g(L_i)$ boyut dağılımının momentlerinin bulunması için pratik bir yol tanımlamıştır. Bu yöntemde önce kaba cord boyu bir $g(L_i)$ histogramına çevrilmiş, daha sonra kümülatif yoğunluk dağılımı $P(L_i)$ ile birlikte cord boyu yoğunluk dağılımı $p(L_i)$ hesaplanmıştır. Lange (1990), yoğunluk dağılımlarının gürültülü davranışını ortadan kaldırabilmek için, cord boyu μ_L^n 'in n'inci momenti ile ilgili yükseltilmiş (amplified) yoğunluk dağılımı $p^*(L_i)$ üretmiştir.

$p(L_i)$, $P(L_i)$, $p^*(L_i)$ ve μ_L^n formülasyonları aşağıda verilmiştir:

$$\text{Kord boyu yoğunluk dağılımı, } p(L_i) = \frac{g(L_i)}{\sum_{i=0}^n g(L_i)} \quad 3.15$$

$$\text{Kümülatif yoğunluk fonksiyonu, } P(L_i) = \sum_{i=0}^n p(L_i) \quad 3.16$$

$$\text{Yükseltilmiş yoğunluk dağılımı, } p_a^*(L_i) = L_i^\alpha p(L_i) \quad 3.17$$

$$\text{n'inci moment, } \mu_L^n(L_i) = \sum_{i=0}^n p_a^*(L_i) \quad 3.18$$

Bu çalışmada, parça-boyut dağılımının momentlerini tahmin edebilmek için; King'in (1984) verdiği moment ilişkileriyle birlikte cord boyu ölçümünün n'inci momentinin hesaplamaları için Lange (1990) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

3.3. Empirik Yöntemler

2-D ölçümlerinden 3-D boyut dağılımını tahmin eden ilk yol; derinliğin, maksimum ve/veya minimum cord boyalarının veya ölçülen diğer bir değişkenin bir parçası olduğu varsayıma dayanır. Örneğin, Wigeson (1987), parçaçık kütle tahminini alan ölçümlerinden aşağıdaki eşitlikle buldu,

$$M = \frac{A^{3/2}}{2} \quad 3.19$$

Burada,

M = kayanın kütlesi

A = piksel alanı

Diğer taraftan, Nie ve Rustan (1987) fotoğraftan, elek parça-boyut tahmini için bir empirik ilişki geliştirdi. Kayanın maksimum çapının, gecebildiği elek açıklığına transferi için bir mesh katsayısı uyguladı.

$$\text{Elek boyu} = \text{Mesh katsayısı} * \text{Maksimum çap} \quad 3.20$$

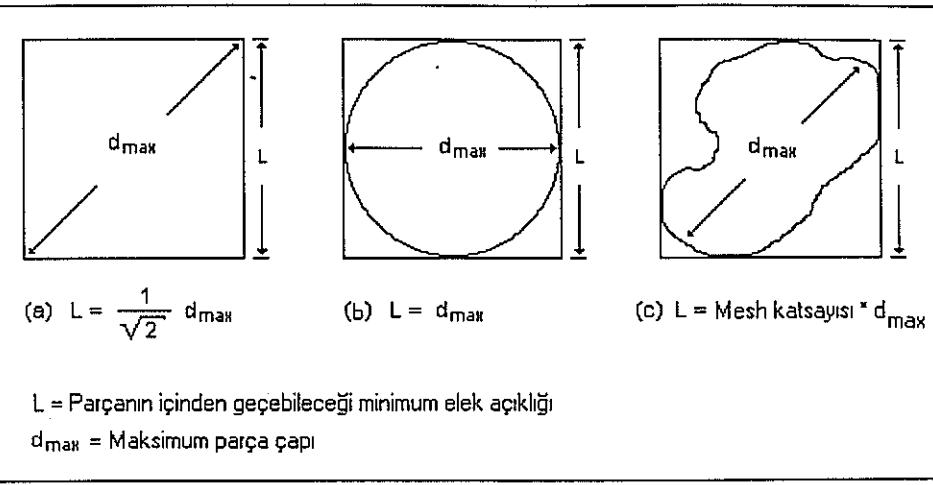
Mesh katsayısının tanımına göre, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi katsayısı, iki uç değerler için $1/\sqrt{2}$ ile 1 arasında değişir.

Kemeny ve ark. (1993), Bedair ve ark. (1994) her bir parçacığın en iyi temsil eden elips parametrelerini bularak boyut dağılımı tahminine çalışmışlardır. Bu amaçla, Kemeny ve ark. (1993) boyut dağılımı tayinini içeren bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmanın aşamaları aşağıda verilmektedir:

- i. Görüntüsü alınmış her bir parçanın alanını, büyük ve küçük eksenlerini hesapla. Daha sonra aşağıdaki formülle parça elek açıklığını, d, hesapla.

$$d = 0.45 * \text{Büyük eksen} + 0.73 * \text{Küçük eksen} \quad 3.21$$

- ii. Eşit aralıklarla boyut kategorisi yapılmış bir k kümesi seç ve kategorilerin orta noktalarını hesapla.



Şekil 3.1. a) Köşeli parçanın içinden geçebildiği minimum elek açılığı
 b) Dairesel parçanın içinden geçebildiği minimum elek açılığı
 c) Patlatılmış kaya için en yaygın durum

- iii. Her bir parça için, parçanın dahil olduğu her bir boyut kategorisinin olasılıklarını hesapla.
- iv. Olasılıkları normalize et.
- v. Toplam boyut dağılımını aşağıdaki eşitlikten hesapla.

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^N v_i P_{ij}}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N v_i P_{ij}} \quad 3.22$$

Burada,

- N = toplam parça sayısı
- k = toplam boyut kategorisi sayısı
- v_i = her bir parçanın, i, hacmi,
 $(v_i = \text{alan} * [0.45 * \text{büyük eksen} + 0.73 * \text{küçük eksen}])$.
- P_{ij} = bir parçanın, i, boyut kategorisine, j, dahil olma olasılığı
- V_i = toplam boyut dağılımı

Bedair ve ark. (1994), belli bir elek boyutundan geçen özel bir parçacığın, olasılığını tahmin etmek için, geometriye dayanan bir ölçme fonksiyonuna dayanan toplam boyut dağılımını tahmin ettiler ve herbir parçacığın hacmi ile karşılaştırdılar. Paley ve ark. (1990) ölçülen projected minimum cord boyalarını bir boyut dağılımına çevirebilmek için iki eşitlik önermişlerdir. Eşitlik 3.23, herbir boyut aralığının sınırlarını tanımlayan projected cord boyalarını hesap etmek için kullanılırken, eşitlik 3.24, her bir boyut aralığındaki ortalama parça hacminin tayini için kullanılır. Bu eşitliklere ek olarak da dağılımın sonucunu düzeltmek için bir yöntem önerilmiştir.

$$X_{\max_i} = RF * X_i$$

3.23

Burada,

X_{\max_i} = bir aralık için minimum projected cord boyu

RF = en küçük projected cord boyunu parçasının orta boyuna ilişkilendiren oran faktörüdür. Bu faktör parçasının orta boyutunun minimum boyutuna oranı ile değişir.

X_i = projected cord boyu

$$V_i = SF * \left(\frac{X_i^3 + X_{i-1}^3}{2} \right)$$

3.24

Burada,

V_i = her bir aralıktaki ortalama parçanın hacmi

SF = ortalama boyut ölçümlerinin küpünün, o ortalama boyutun parçaları için bir ortalama hacime çevrilmesinde kullanılan şekil faktörüdür

3.4. Morfolojik Yöntemler

Kayalardan alınan 2-D görüntü ölçümleri; kayaların şekillerinin ve boyutlarının fonksiyonu olan morfolojik transformasyonlar aracılığıyla kaya boyutuna çevirilirler. Morfolojik boyutlama Serra (1989) ve Serra (1992) tarafından ayrıntılı şekilde tanımlanmıştır. Morfolojik boyutlama ana olarak Matheron'un morfolojik açıklıkların birleşimi ve üç aksiyomuna dayanır. Diğer taraftan, bu morfolojik işlemler çok hesaplama gerektirir ve oldukça uzun zaman alırlar (Lange, 1990).

4. Sayısal Görüntü İşleme Teknikleri

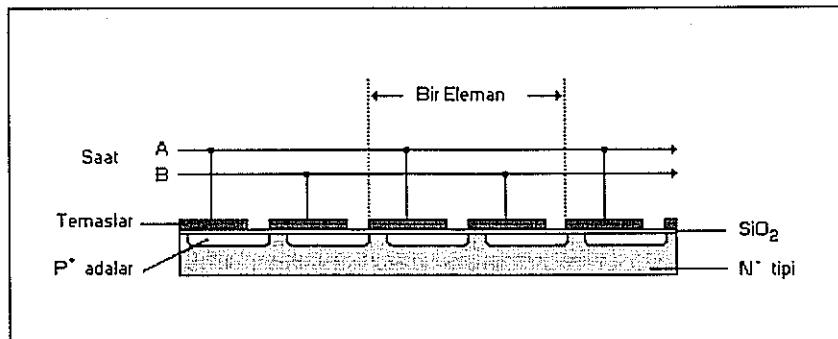
4.1. Giriş

Sayısal görüntü işleme yöntemlerine ilgi, resimsel bilgilerin yorumlanması ve özel izleme aygıtlarından alınan görüntülerin işlenmesi gibi iki esas alanda başlamıştır. Resimsel bilgilerin yorumlanması alanında yapılan görüntü işleme tekniklerinin ilk uygulamalarından biri Londra ve NewYork arasında su altı kablosu ile sayısallaştırılmış gazete resimlerinin gönderilmesi olmuştur. Otomatik karakter tanıma, ürün montajı ve muayenesi için endüstriyel makinalarda, parmak izlerinin otomatik olarak değerlendirilmesi, telsiz konuşmalarının makinalarla işlenmesi ve hava tahmini ve ürün tayin amaçlı uydu görüntülerini gibi uygulamalar ikinci grupta yer alan görüntü işleme tekniklerine verilebilecek örneklerdir (Gonzalez ve Woods, 1992). Yukarıda verilen uygulama örnekleri istenen amaca uygun çeşitli görüntü işleme tekniklerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu bölümde patlatma sonrası oluşan yığınların parça-boyut dağılımını tayin etmek için uygun görüntü işleme teknikleri

hakkında ön bilgi ve özet verilmektedir. Esas amaç her bir parçanın hatlarını çıkarmak ve onları kodlayarak kısımlara ayırmaktır.

4.2. Görüntü İşleme Teknikleri

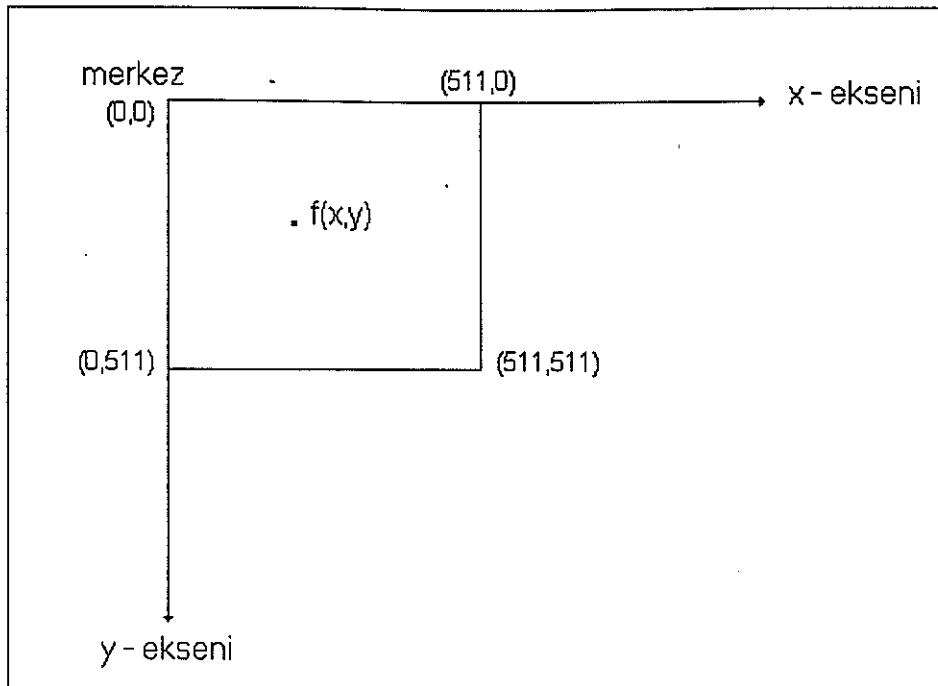
Görüntü işlemede ilk adım, sayısal bir görüntü kazanmak için kullanabilecek bir görüntü elde etmektir. Sayısal bir görüntü için görüntü algılayıcısı ve algılayıcıdan gelen bir sinyali sayısallaştıracak görüntü yakalayıcısına gerek vardır. Algılayıcıdaki her bir tarayıcı bir foton sayacı gibi işlev yapmaktadır ve analog voltaj üretmek için gereken sinyal tarayıcılarından okunmaktadır. Tarayıcının tamamını okumak için CCD (Birleşik Yüklü Cihaz), CID (Yük Enjeksiyon Cihazı) vb. gibi birçok farklı devreler kullanılmaktadır (Russ, 1995). Kapalı devre kamerada bulunan bir parçanın (kırıntıının) şematik görüntüsü Şekil 4.1'de verilmektedir. Görüntü algılayıcısı olarak genellikle CCD kamera veya video kamera kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Kapalı devre kamerada bulunan bir parçanın (kırıntıının) şematik görüntüsü

Alınan veya sayısallaştırılan görüntü, büyülüğü görüntü alıcısının çözümlemesine bağlı olarak iki boyutlu bir dizin şeklinde sunulmaktadır. Aslında iki boyutlu dizi, görüntü koordinatlarını tanımlayan x ve y ' ye bağlı bir ışık yoğunluklu fonksiyondur, $f(x,y)$. Herhangi bir noktadaki (x,y) fonksiyon değeri o noktadaki görüntünün parlaklığı ile doğrusal orantılıdır. Bu çalışmanın tamamında kullanılan koordinat sistemi Şekil 4.2'de verilmektedir.

Bilgisayar terminolojisinde 2 boyutlu dizinin elemanları piksel olarak adlandırılmaktadır. Siyah-beyaz bir görüntüdeki her bir piksel'in fonksiyon değerleri gri ton olarak tanımlanmaktadır. Sonuç olarak, sayısallaştırılmış bir görüntü, satır ve kolon numaraları görüntüdeki bir noktayı ve buna karşılık gelen matris eleman değeri de o noktadaki gri ton seviyesini tanımlayan bir matris olarak düşünülebilir.



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan koordinat sistemi

Görüntü işlemede bir sonraki adım özel filtreler ile gürültünün ayırtılmasıdır. Bu işleminden sonra daha iyi bir görüntü elde etmek için netleştirme teknikleri uygulanabilir. Bundan sonraki aşama kenar taraması ve kodlama işlemleri ile alınan bütün bir görüntüyü oluşturan nesnelere ve parçalara ayırmaktır. Bu çalışmada kullanılan görüntüdeki nesnelerin her biri ayrı bir kaya parçasıdır. Her bir tekniğin ayrıntıları bundan sonraki alt başlıklarda verilmektedir.

4.2.1. Filtreleme

Filtrelemenin amacı görüntü alınması esnasında oluşan gürültülerini ayırmaktır. Kullanılan filtre türüne göre görüntünün ince detayları ya kaybolmakta ya da keskinleşmektektir. Filtreleme doğada ya uzaysal ya da frekans kaynaklı olabilir. Bu çalışmada ağırlık düşük ve yüksek geçişli uzaysal filtrelere verilmiştir. Fourier dönüşümlü frekans kaynaklı filtreler bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Düşük geçişli filtreler yüksek çizgi elemanlarını çıkarmak ve düşük çizgi elemanlarının geçmesine müsade etmek için uygulanır. Bunun tersine, yüksek geçişli filtreler düşük çizgi elemanlarını çıkarmak ve yüksek çizgi elemanlarının geçmesine müsade etmek için uygulanmaktadır. Bu çalışmada, üç adet düşük geçişli ve üç adet yüksek geçişli uzaysal filtre maskeleri (Lindley, 1990), medyan ve komşu ortalama filtreleri (Pratt, 1991) ve yüksek artış filtresi (Gonzalez ve Woods, 1992) kullanılmıştır. Lindley (1990) tarafından geliştirilen düşük ve yüksek geçişli filtreler sırasıyla Şekil 4.3 ve 4.4'te verilmektedir.

1/9	1/9	1/9	1/10	1/10	1/10	1/16	1/8	1/16
1/9	1/9	1/9	1/10	1/5	1/10	1/8	1/4	1/8
1/9	1/9	1/9	1/10	1/10	1/10	1/16	1/8	1/16
LP1			LP2			LP3		

Şekil 4.3. Düşük geçişli filtre maskeleri

-1	-1	-1	0	-1	0	1	-2	1
-1	9	-1	-1	5	-1	-2	5	-2
-1	-1	-1	0	-1	0	1	-2	1
HP1			HP2			HP3		

Şekil 4.4. Yüksek geçişli filtre maskeleri

Komşu ortalama filtre yönteminde her bir piksel ona komşu 8 değerin ortalaması ile karşılaştırılmaktadır. Eğer fark başlangıç değerinden büyük ise piksel'in gürültülü olduğuna karar verilmekte ve değeri komşu ortalaması ile değiştirilmektedir. Bu yöntemde kullanılan maske Şekil 4.5'te görülmektedir.

1/8	1	1	1
1	0	1	
1	1	1	

Şekil 4.5. Komşu ortalama filtreleme maskesi

Medyan filtre görüntünün her bir elemanını çevreleyen hareketli bir pencereden oluşmaktadır. Pencerenin ortasındaki değer, pencerenin içindeki piksel'lerin medyan değeri ile değiştirilmektedir. 3*3 boyutunda örnek bir pencere Şekil 4.6'da verilmektedir. Orta değer a_c 3*3 boyutundaki pencere elemanlarının işlenmesi ile bulunmakta ve orta değer medyan değerini vermektedir.

a_1	a_2	a_3
a_8	a_c	a_4
a_7	a_6	a_5

$$a_c = \text{Medyan}\{a_1, a_2, \dots, a_8\}$$

Şekil 4.6. Medyan filtre maskesi

Yüksek geçişli filtreli bir görüntü esas görüntü ile görüntünün düşük geçişli filtre ile elde edilecek yeni görüntü arasındaki fark biçiminde hesaplanabilir. Esas görüntünün A diye tanımlanan bir büyütme katsayı ile çarpılması yöntemi yüksek artış filtresini tanımlamaktadır (Gonzalez ve Woods, 1992). Yüksek boostfiltresinde kullanılan tipik bir maske Şekil 4.7'de görülmektedir.

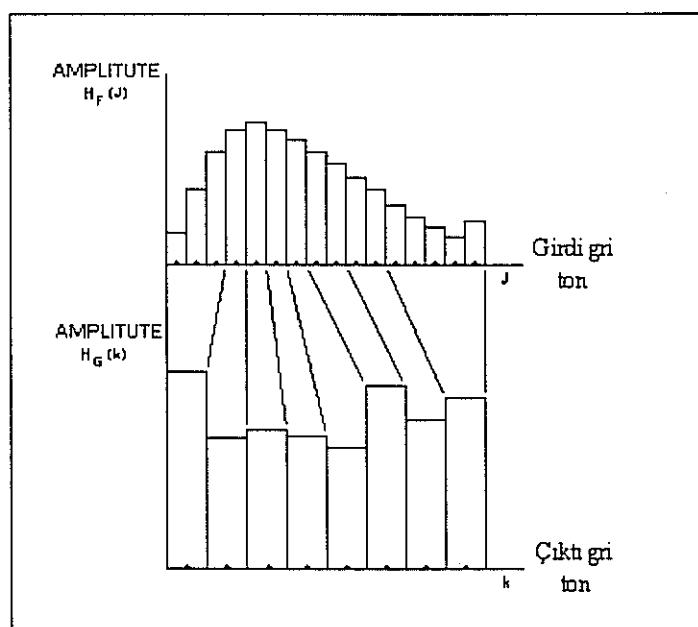
	-1	-1	-1
1/9	-1	w	-1
	-1	-1	-1

$w = 9A - 1$

Şekil 4.7. Yüksek boost filtre maskesi

4.2.2. Kuvvetlendirme

Kuvvetlendirmenin esas amacı bir görüntüden, özel amaca yönelik olarak daha uygun bir görüntü elde etmektir. Bu çalışmada, kaya parçalarının köşelerinin ve detaylarının daha iyi görülebilmesi için kuvvetlendirme işlemi uygulanmıştır. Bazı detayları koyu bölgelerde gizlenmiş olan görüntüler histogram işleme tekniği ile kuvvetlendirilmekte ve esas görüntü yeniden ölçeklendirilerek istenen tarzda bir kuvvetlendirilmiş görüntü histogramı elde edilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Histogram eşitleme için ölçek dönüşümü

Farklı histogram eşitleme algoritması aşağıda verilmektedir:

- i. Her bir gri ton seviyesinin frekansını, f_i , hesapla.
- ii. Her bir gri ton seviye frekans değerlerini ihtimal dağılım fonksiyonlarına, p_i , çevir ve toplam dağılım fonksiyonunu, P_i , eşitlikler 4.1 ve 4.2'yi kullanarak bul. Bu eşitliklerdeki n değeri gri ton seviyelerinin toplam sayısıdır.

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad 4.1$$

$$P_i = \sum_{i=1}^n p_i \quad 4.2$$

- iii. Toplam dağılım frekansları bir aralık katsayısı, R , ile çarpılarak boyutu aralık katsayısı değerine eşit bir dönüşüm dizini elde edilir (Eşitlik 4.3).

$$T_i = P_i * R \quad 4.3$$

- iv. Esas görüntünün gri ton seviye değerlerini elde edilen dönüşüm değerleri ile değiştir (Şekil 4.8).

Histogram modifikasyonunun diğer bir uygulaması da histogram hiperbolizasyonudur. Bu yöntemle görüntü histogram verisi, görüntü ihtimal yoğunluk çıktısı hiperbolik formda olacak şekilde dönüşüm fonksiyonuyla modifiye edilir. Böylece, farzolunan logaritmik veya küp kök karşılığı gri fonlu olası yoğunluk olarak verilir (Pratt, 1991). Histogram modifikasyon dönüşüm fonksiyonları, g_i , Tablo 4.1'de görülmektedir. Bu tablodaki g_{\max} ve g_{\min} , sırasıyla maksimum ve minimum görüntü değerlerini; α ise dağılım parametresini sembolize etmektedir. α 'nın en iyi tahmini, görüntünün ortalaması bulunarak yapılır.

4.2.3. Kenarın Algılanması

Kenar; kesin gri tonlu özellikler taşıyan 2 alanın arasındaki sınır olarak tanımlanabilir. Genelde, kenarın algılanması için 2 ana yöntem vardır; birinci dereceden türev ile kenar algılaması ve ikinci dereceden türev ile kenar algılaması. Bunların yanında, kenar algılaması için analistik ve heuristik yöntemler de kullanılır.

Birinci dereceden türev ile kenar algılama yöntemi; 2 ortogonal yönde (x ve y) eğim oluşturarak ya da yönel türevlerden yararlanılarak kullanılır. (x, y) noktasındaki görüntünün ortogonal eğimi, vektör, ∇f , olarak tanımlanır. Bu eğim vektörünün büyüklüğü, $|\nabla f|$, ve yönü, $\alpha(x, y)$, sırasıyla Eşitlik 4.5 ve Eşitlik 4.6 kullanılarak bulunur. Ortogonal eğimi oluşturma işlemi Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

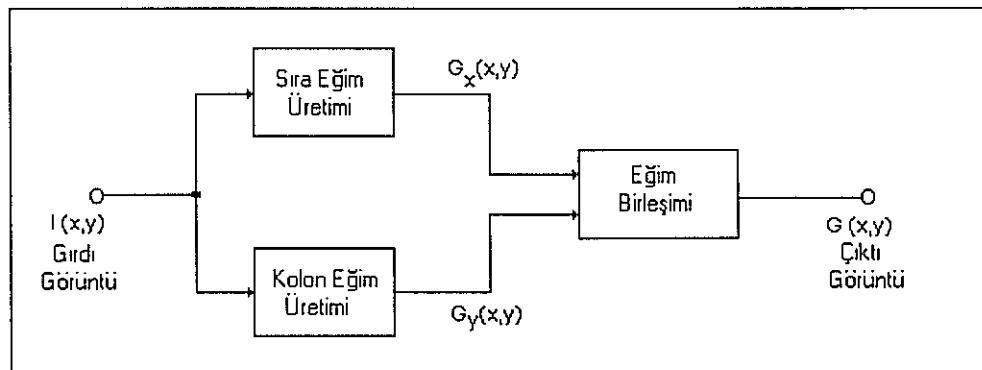
Tablo 4.1. Histogram modifikasyonu dönüşüm fonksiyonları

Çıktı Olasılık Yoğunluk Modeli	Transfer Fonksiyonu
Uniform	$g_i = [g_{\max} - g_{\min}]P_i + g_{\min}$
Exponansiyel	$g_i = g_{\min} - \frac{1}{\alpha} \ln(1 - P_i)$
Rayleigh	$g_i = g_{\min} + \left[2\alpha^2 \ln\left(\frac{1}{1-P_i}\right) \right]^{1/2}$
Hiperbolik (Küp Kök)	$g_i = \left[(g_{\max}^{1/3} - g_{\min}^{1/3})P_i + g_{\min}^{1/3} \right]^3$
Hiperbolik (Logaritmik)	$g_i = g_{\min} \left(\frac{g_{\max}}{g_{\min}} \right)^{P_i}$

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} \quad 4.4$$

$$\nabla F = \sqrt{|G_x^2 + G_y^2|} \quad 4.5$$

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_x}{G_y}\right) \quad 4.6$$



Şekil 4.9. Ortogonal eğim çıkarımı

Sıra ve kolon eğimleri, G_x ve G_y , 4.7 ve 4.8 eşitliklerindeki convolution ilişkisinden bulunabilir.

$$G_x(x, y) = I(x, y) \otimes M_x(x, y) \quad 4.7$$

$$G_y(x, y) = I(x, y) \otimes M_y(x, y) \quad 4.8$$

Bu eşitliklerdeki $I(x,y)$ görüntü matris girdisini; $M_X(x,y)$ ve $M_Y(x,y)$ ise 3×3 ortogonal eğim kenar operatör maskelerini ifade etmektedir. Kullanılan eğim operatör maskeleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Yukarıda bahsedilen ortogonal türevle kenar algılama tekniğinde kullanılan sıra ve kolon (x ve y) yönleri ve büyüklükleri, eğimlerin vektör toplamıyla bulunmuştur. Başka bir yaklaşım ise eğimlerin çok sayıda yönde, görüntünün convolution'u ile bulunmasıdır. Kenar template eğimi, $T(x,y)$ ise değişik yönlerde hesaplanan eğim büyüklüklerinin maksimumunun alınması ile bulunur (Eşitlikler 4.9 ve 4.10).

Tablo 4.2. Ortogonal eğim işleme maskeleri

Operatör	Sıra Eğimi	Kolon Eğimi
Piksel Farkı	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Aynılmış Piksel Farkı	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Roberts	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Prewitt	$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
Sobel	$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$
Frei-Chen	$\frac{1}{2+\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2+\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$

$$T(x,y) = \text{MAX}[|G_1(x,y)|, \dots, |G_8(x,y)|] \quad 4.9$$

$$G_m(x,y) = I(x,y) \otimes H_m(x,y)^* \quad \text{Ölçek} \quad 4.10$$

Burada G_m görüntü matris verisinin, $I(x,y)$, Tablo 4.3'te verilen 3×3 maskeler, $H_m(x,y)$, ile convolut edilerek hesaplanır.

İkinci dereceden türev ile kenar algılama tekniği, Eşitlik 4.1'den elde edilen ve Şekil 4.10'da verilen, görüntü matrisinin Laplace'nin hesaplanması ile uygulanır.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad 4.11$$

Tablo 4.3. Template eğim maskesi

Eğim Yönü	Prewitt Pusula Eğimi	Kirsch	Robinson 3-Seviye	Robinson 5-Seviye
Doğu (H_1)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
Kuzeydoğu (H_2)	$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Kuzey (H_3)	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$
Kuzeybatı (H_4)	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$
Batı (H_5)	$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Güneybatı (H_6)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$
Güney (H_7)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$
Güneydoğu (H_8)	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}$
Ölçek Katsayısı	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

Şekil 4.10. Laplace maskesi

Bunlara ek olarak, Robinson (1977) ve Wigeson (1987) kenar bulunması için değişik yöntemler önermişlerdir. Robinson (1977) ve Kirsh'in (1971) yöntemleri Şekil 4.11'deki maske notasyonlarını kullanır ve kenar büyülü Eşitlik 4.12 ve Eşitlik 4.13 kullanılarak bulunur.

$$A_c = \max_{i=0}^3 |S_i - T_i| \quad 4.12$$

$$S_i = A_{0+i} + 2A_{1+i} + A_{2+i}$$

$$T_i = Mod_8(A_{4+i} + 2A_{5+i} + A_{6+i})$$

$$A_c = \max\left(1, \max_{i=0}^7 |5S_i - 3T_i|\right) \quad 4.13$$

$$S_i = Mod_8(A_i + A_{i+1} + A_{i+2})$$

$$T_i = Mod_8(A_{i+3} + A_{i+4} + A_{i+5} + A_{i+6} + A_{i+7})$$

A ₀	A ₁	A ₂
A ₇	A _c	A ₃
A ₆	A ₅	A ₄

Şekil 4.11. Robinson (1977) ve Kirsh (1971) yöntemlerinde kullanılan maske notasyonu

Wigeson (1987), sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilen yatay ve dikey yönler için 3*2 kenar algılama maskelerini tanımlar. Bu şeillerde artı işarete denk gelen matris elemanları bir tarafta, eksi işarete denk gelenler ise diğer tarafta toplanmışlardır. Bu iki tarafın mutlak farkı, kenarın kuvvetini saptar. Maksimum farklar kenar olarak ele alınır.

<table border="1"><tr><td>—</td><td>—</td><td>+</td></tr><tr><td>—</td><td>+</td><td>+</td></tr></table>	—	—	+	—	+	+	<table border="1"><tr><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr><tr><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr></table>	—	—	—	+	+	+	<table border="1"><tr><td>+</td><td>—</td><td>—</td></tr><tr><td>+</td><td>+</td><td>—</td></tr></table>	+	—	—	+	+	—
—	—	+																		
—	+	+																		
—	—	—																		
+	+	+																		
+	—	—																		
+	+	—																		
H1	H2	H3																		

Şekil 4.12. Yatay kenar algılama maskeleri

<table border="1"><tr><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>+</td><td>—</td></tr><tr><td>—</td><td>—</td></tr></table>	+	+	+	—	—	—	<table border="1"><tr><td>+</td><td>—</td></tr><tr><td>+</td><td>—</td></tr><tr><td>+</td><td>—</td></tr></table>	+	—	+	—	+	—	<table border="1"><tr><td>—</td><td>—</td></tr><tr><td>+</td><td>—</td></tr><tr><td>+</td><td>+</td></tr></table>	—	—	+	—	+	+
+	+																			
+	—																			
—	—																			
+	—																			
+	—																			
+	—																			
—	—																			
+	—																			
+	+																			
V1	V2	V3																		

Şekil 4.13. Dikey kenar algılama maskeleri

Canny (1986) kenar algılaması için analitik bir yöntem önerdi. Canny'nın kenar algılama operatörü aşağıdaki algoritma ile yürürlüğe kondu:

- Eşitlik 4.14'de formüle edilmiş Gauss çekirdeği (kernel) ile görüntüyü düzgünleştir ve düzgünleştirme (smoothing) faktörü, girdi görüntünün standart sapması olarak alınabilir.

$$G(x,y) = \frac{1}{(\sigma \sqrt{2\pi})} e^{-\left(\frac{f(x,y)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad 4.14$$

Burada,

$G(x,y)$ = sonuç Gauss çekirdek görüntüsü

$f(x,y)$ = gri tonlama değeri

σ = düzgünleştirme faktörü

- Eşitlik 4.15'ten (x) ve (y) yönlerindeki G_x ve G_y 'nin ikinci türevini ve Eşitlik 4.16'dan Canny fonksyonunu, $C(x, y)$, değerlendirerek, düzgünleştirilmiş görüntünün gradient büyüklüğünü, G , hesapla (Şekil 4.14'te verilen maske notasyonu eşitlikler 4.15 ve 4.16'nın hesaplamalarında kullanılır).

$$\nabla^2 G_x = (A_5 - A_3)^2 \quad 4.15$$

$$\nabla^2 G_y = (A_1 - A_7)^2 \quad 4.15$$

$$G = \sqrt{\nabla^2 G_x + \nabla^2 G_y}$$

$$C(x,y) = (A_3 + A_5 - 2A_4)\nabla^2 G_x + (A_1 + A_7 - 2A_4)\nabla^2 G_y \quad 4.16$$

$$+ (A_2 + A_6 - A_0 - A_8) \frac{\nabla^2 G_x \nabla^2 G_y}{2}$$

A_0	A_3	A_6
A_1	A_4	A_7
A_2	A_5	A_8

Şekil 4.14. Canny kenar algılamasının maske notasyonu

- iii. $C(x,y) > 0$ olduğu yerde; piksel'leri bir'e kurarak veya bölge sınırları kenar pozisyonuna karşı gelen bir threshold değerinden iki değer görüntüyü alarak, bir bitmap görüntüsü yapınız.
- iv. (iii)de algılanan her kenar için, aynı noktada iki threshold'a (yüksek ve düşük) karşı gelen gradient büyüklüğünü kontrol et ve bir yüksek-threshold kenar haritası ve bir de düşük-threshold kenar haritası üret. Yüksek-threshold haritası büyük eksene sahip olurken, düşük-threshold haritası, onlarla birlikte, daha ayrıntı ve istenmeyen kenarlara da sahiptir.

4.2.4. Segmentasyon

Segmentasyon, girdi görüntüyü bileşenlerine veya nesnelerine ayırmak olarak tanımlanır. Bir başka deyişle, kuralsal yapısına veya kritik (threshold) değere göre piksel gri tonlamaların gruplanmasıdır. Thresholding, bölge taraması, derecelendirme ve histogram eşitlemesi, segmentasyon yöntemlerinden bazlarıdır.

Thresholding, görüntü segmentasyonunun en önemli yaklaşımlarından birisidir. Binary (ikili) thresholding, piksellerin fondan ayrıldığı yerlerdeki gri görüntü tonlaması $f(x, y)$ ın ikili görüntüye $g(x, y)$ transformasyonudur (Eşitlik 4.17). Eğer, seçilen threshold değeri, görüntünün gri tonlanma değerinden büyükse, o zaman pikselin karanlık zonda olduğuna karar verilir. Aksi halde, fonda olduğuna (background) karar verilir.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad 4.17$$

Burada,

T = threshold değeri

Literatürde T'nin otomatik seçimiyle ilgili pek çok teknik vardır. Genellikle, T'nin seçimi, görüntünün histogram dizinindeki en yüksek değerlere dayanır.

İmaj segmentasyonunun bir diğer yolu da, Wigeson (1987) tarafından önerilen ve intelligent kodlama algoritması adı verilen yöntemdir. Bu algoritma, dört birleştirilmiş komşu elemanın karşılaştırılmasına dayanan kural bazlı yapıdır. Bu yöntemde, piksel'ler; görüntünün bir tarafından başlayarak, sırayla her kolondan aşağıya doğru olmak üzere kolon kolon taranır. Her bir piksel'e ulaştıkça, o piksel, dört bağlantılı karşılaşmaya ulaşmak için, bir üstündeki ile solundakine göre karşılaştırılır. Algoritmanın aşamaları aşağıda verilmiştir:

- i. Piksel'i üst komşusu ile karşılaştır. Eğer kural tabanı, çakışmayı kabul ederse, üst piksel'in aynı kodunu (label) ver.
- ii. Piksel'i sol komşusu ile karşılaştır. Eğer kural tabanı, çakışmayı kabul ederse, sol piksel'in aynı kodunu (label) ver.
- iii. Eğer (i) ve (ii) aşamaları başarısız olursa, o piksel'e yeni bir kod (label) ver.
- iv. Eğer (i) ve (ii) aşamaları çakisırsa, o piksel'e üstteki piksel'in kodunu ver ve bütün piksel'leri yeniden kodla (relabel).
- v. Her label'e ait piksel'leri say. Eğer sayılan değerler, bir threshold değerinden büyük ise, o zaman kaya parçası olduğuna karar verir. Değilse fon'dur (background).

Intelligent kodlama algoritmasında kullanılan kural tabanı aşağıdaki gibidir.

- Kural 1 : Eğer piksel'lerin gri tonlaması, gölge threshold'u tarafından belirlenen gölge bölgESİne düşerse, kabul etme ve çıkış.
- Kural 2 : Eğer mutlak fark, çok küçük threshold'dan az ise, kuralı kabul et ve çıkış.
- Kural 3,4,5 : Şekiller 4.10 ve 4.11'de tanımlanan üç adet kenar algılama maskeleri, sırasıyla, bir kenarı üstünde ve sol yanındaki ile test etmede kullanılır. Eğer maske sonucundaki mutlak fark, kenar threshold'undan büyükse bir kenarın varlığına karar verilir. Testler ardaşık olarak yürütülür, eğer maskenin biri başarısız olursa, bir sonrakine geçilmez, kabul edilmez ve çıkarılır.
- Kural 6,7 : Bu kuralların testi sonucunda, eğer gri tonlama farkı, spesifiye edilmiş gri tonlama threshold'undan büyükse kuralı kabul etme ve çıkış.
- Kural 8 : Eğer önceki testlerin hiçbirisi şartları sağlamazsa, kuralı kabul et.

Bölge gruplaması; piksel'leri veya alt bölgeleri daha büyük bölgeler şeklinde gruplama işlemidir. Bu yaklaşımın en basit şekli, çekirdek nokta kümeleri ile başlar

ve benzer özellikteki komşu piksel'lerin toplanmasına dayanır. Segmentasyon, Bütün R görüntü bölgesindeki görüntüleri R_1, R_2, \dots, R_n alt bölgelerine ayırma işlemidir.

$$\text{i. } R = \bigcup_{i=1}^n R_i$$

ii. R_i bir birleştirilmiş bölgedir, $i=1, 2, 3, \dots, n$

iii. $R_i \cap R_j = \emptyset$, bütün i ve j 'ler için, $i \neq j$

iv. $P(R_i) = \text{DOĞRU}$, $i=1, 2, 3, \dots, n$ için, ve

v. $P(R_i \cup R_j) = \text{YANLIŞ}$, $i \neq j$ için.

Burada $P(R_i)$ R_i kümesindeki noktaların mantıksal sıralamasıdır, \emptyset ise boş kümedir. Şart (i) her piksel'in bölgede olduğu segmentasyonun tamamlandığını gösterir. Şart (iv) segmented bölgedeki piksel'lerle tatmin edilen (satisfied) özelliklerle ilgilidir. Örneğin, eğer, R_i 'deki bütün piksel'ler aynı tona sahipse $P(R_i)=\text{DOĞRU}$ 'dur. Son olarak şart (v), ilan edilen P'deki R_i ve R_j 'nin farklı olduğunu gösterir.

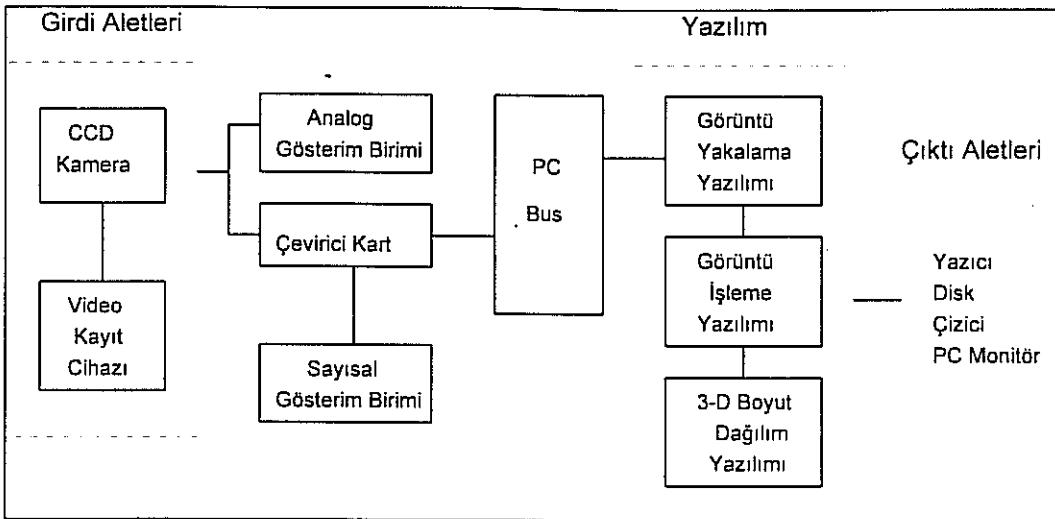
Histogram tabanlı segmentasyon; kümülatif dağılım fonksiyonu parçalarına göre, görüntüyü parçalara ayırma tekniğidir. Bir sonraki aşama ise, kümülatif dağılım fonksiyonundaki bölge sayılarının veya band sayılarının tayin edilmesidir. Her bir band sınırları, her bir bandın, aynı sayıda piksel içerecek şekilde tayin edilir. İşin önemli yönü fon bandına karar vermektedir.

5. Parça Boyut Tayini Deney Düzeneği ve Yazılımının Geliştirilmesi

5.1. Giriş

Önceki bölümlerde özetlenen, parça boyut tayini 2-D ölçümlerden 3-D boyut tayini ve sayısal görüntü işleme teknikleri çalışmalarının ışığı altında, parça boyut dağılımı tayini için bir deney düzeneği ve yazılımı geliştirilmiştir.

İmajlar; üç boyutlu yiğinin üzerinde tabii veya projektör ışık kaynağı ile aydınlatılmasından üretilen gri tonlamalar olarak tanımlanır. Bir ölçüm sistemi; uygun bir ışık kaynağı (laboratuvar için), yiğinin görüntüsünün alınması için bir kamera, bu görüntüleri sayısallaştırmak için çeviri kartı, 2-D ölçümleri analiz etmek ve görüntüleri proses etmek için bir bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 5.1).

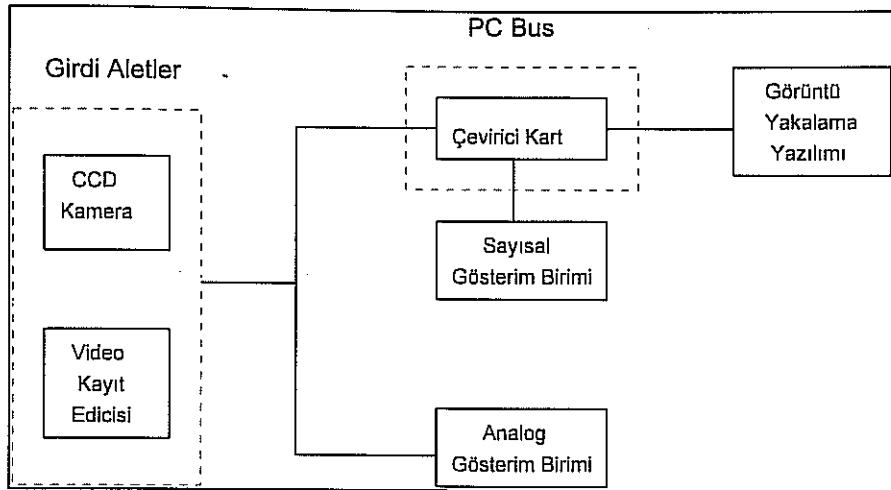


Şekil 5.1. Parça boyut tayin sistemi

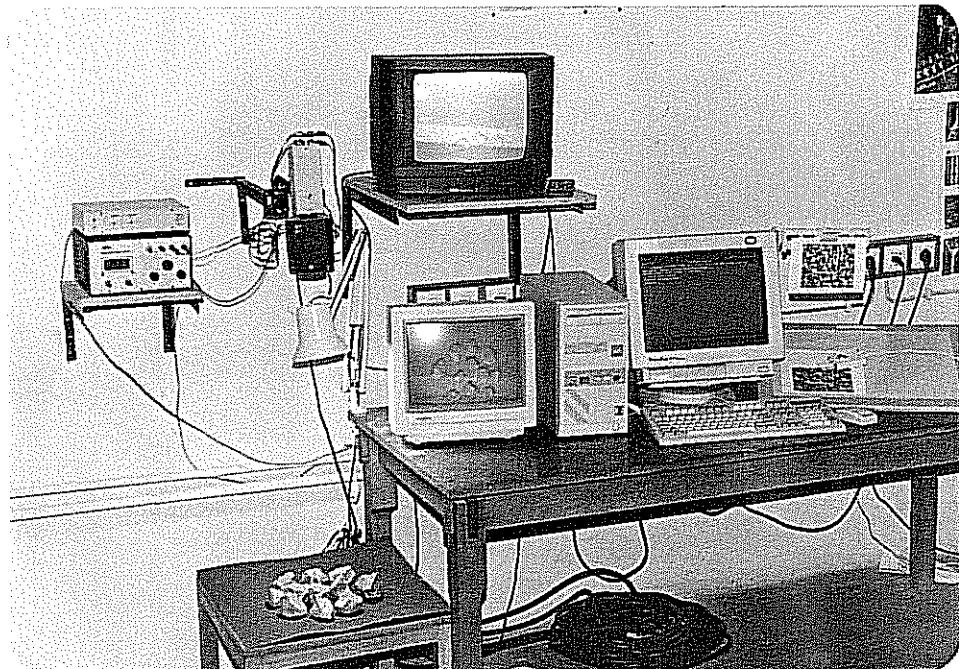
5.2. Parça Boyut Tayin Düzeneği

Düzenek geliştirilmesinin ilk aşaması, veri toplama yönteminin (acquisition methodology) belirlenmesidir. Yöntem, ana olarak, sürekli veya kesikli olmak üzere örnek tipine dayanır. Hatta, sürekli örneklemeye de çok küçük aralıklarla alınan kesikli örneklemelerin bileşimidir. Örneğin, nakliye bandı örneklemesi, örneklem hızı milisaniye düzeyinde bir sürekli örneklemeye tipidir. Bizim çalışmamızda, yiğinin farklı derinliklerdeki durumunu gösteren kazının farklı aşamalarındaki örneklemesi önemli olduğundan, kesikli örneklemeye kullanılmıştır. Örneğin, sıfır derinlik, patlatmanın hemen sonrasına karşılık gelir. Bu nedenle, düzeneğin aletleri, kesikli örneklemeye yönteminin kısıtlarına göre seçilirler. Ayrıca, alet seçimi, ekonomi ve çözünürlüğü de gözönüne almaktır. Bilindiği gibi, sistemin çözünürlüğünü arttıkça alet fiyatları da artar. Sonuçta, iyi bir mühendislik çalışması için fiyatla çözünürlüğün optimize edilmesi gereklidir.

Parça boyut dağılımı tayin düzeneği; ana olarak, bir analog girdi birimi, bir çevirici kart, sayısal ve analog gösterim birimleri ve görüntü alma yazılımından oluşur. Düzeneğin şematik diyagramı ve genel görünümü Şekiller 5.2 ve 5.3'te verilmiştir. Bu düzenek, hem laboratuvara hem de arazide kullanılır. Bu çalışmada, analog girdi birimi olarak laboratuvara CCD kamera, arazide ise video kayıt cihazı kullanılmıştır. Laboratuvar uygulamalarında, görüntüler, yatay ve dikey çözünürlükleri sırasıyla 752 ve 582 olan monokrom CCD kamera ile alınmaktadır (Anonim, 1990). Arazi uygulamalarında, görüntüler VHS kasetler ya CCD kamera yada video ile kayıt edilmiştir.



Şekil 5.2. Düzeneğin şematik diyagramı



Şekil 5.3. Düzeneğin genel görünümü

Laboratuvara veya arazide analog sinyallerin alınmasında ve sayısallaştırılmasında, IBM/AT uyumlu bir çeviriçi kart kullanılır. Bu kart, PC'nin AT'sine soketlenir ve IRIS adlı bir yazılımla kontrol edilir (Anonim, 1992b). Çeviriçi kart görüntüyü gri tonlama görüntü şeklinde RAM'ında depolar. Depolanan görüntünün boyutu ise 512*512 pikseldir.

Analog ve sayısal gösterim birimleri; sırasıyla, analog girdi birimiyle çeviriçi kartın çıktılarını kontrol etmek amacıyla kullanılırlar. Analog girdi biriminden, görüntü, bir TV monitörü olan analog gösterim birimine doğrudan bağlanır (Anonim,

1994). Sayısal gösterim birimi de, benzer şekilde, çevirici kartla sayısal forma çevirilen sayısallaştırılmış analog sinyalleri gösterir (Anonim, 1991).

5.3. Parça Boyut Tayini Yazılımı

Geliştirilen yazılım, ROCKSIZE, parça boyut dağılımı tayini için, dördüncü bölümde bahsedilen görüntü işlemlerine göre, kaya konturlarının çıkartılarak alan, kord boyu gibi 2-D ölçümlerinin değerlendirilmesini amaçlar. Ana olarak iki parçadan oluşan yazılımin tipik akım şeması Şekil 5.4'te verilmiştir. Birinci parça, sayısal görüntü işleme tekniklerinin devreye sokulmasını sağlarken, ikinci parça patlatılmış kaya malzemesinin 3-D parça boyut dağılımı tayini için kullanılır. Bundan sonraki bölümlerde, ROCKSIZE'in algoritması ve uygulanan görüntü tekniklerinin çıktıları verilmektedir.



Şekil 5.4. ROCKSIZE'in genel akım şeması

5.3.1. Görüntü İşleme Rutinleri

Laboratuvar veya araziden alınan ham görüntüler; 4'üncü bölümde verilen, filtre, kuvvetlendirme, kenar algılaması ve segmentasyon gibi değişik görüntü işleme teknikleriyle proses edilir. Bu amaçla, bu bölümde de 4'üncü bölümde bahsedilen teknikler cord boyu ve alan ölçümlerine uygun yöntemi bulmak için yeniden gözden geçirildi.

Kaya görüntülerine uygun filtre algoritmasını tayin etmek için, 9 filtre maskesi uygulandı ve filtreden sonraki görüntüler Şekiller 5.5-5.7'de verilmiştir. Filtre algoritmalarının sonuçlarına göre; düşük geçişli filtrenin düşük tonları ortadan kaldırdığı ve orijinal görüntü yüksek ton içermemişinden, düşük tonlu filtrenin sonuçlarda önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Yüksek geçişli filtrelerden, HP2'nin, kaya görüntülerini için en uygunu olduğu görülmektedir. Şekil 5.5'ten, HP1'in görüntüdeki bozulma ve gürültüyü arttırmasıyla görüntünün bozulmasına neden olduğu açıklır. Diğer taraftan, HP3 daha iyi ayrıntı bilgiler vermesine karşın HP2 kadar başarılı değildir. Orta (median) filtre, kenar algılamalarında, yanlış gösterimlere neden olan kaya yapısındaki ondülasyonları kuvvetlendirdiği gibi kenarlar arasında en iyi kontrastı verirken yakın (komşu) ortalamafiltresi parçaları düzleştirir (Şekil 5.6). Yüksek boostfiltresi, boost faktörleri 1.5, 2, 2.5 ve 3 olarak uygular (Şekil 5.7). Şekilden görüldüğü gibi, boost faktörlerin artması, daha iyi parlaklık verir. Bu, daha iyi görüntü verdiğiinden, sadece basım için kullanılır. Sonuçta, kaya yığınlarından görüntü alırken, en iyi filtre tekniğinin, ikinci yüksek ton filtre (HP2) olduğu açıkça görülmektedir.

İmaj kuvvetlendirmesi için ortaya konan histogram modifikasyon teknikleri, histogram eşitlemesi ve hiperbolizasyonunca değerlendirilir. Girdi görüntünün histogram, olasılık dağılımı ve kümülatif olasılık dağılımı Şekil 5.8'de sunulmuştur. Şekilden görüldüğü gibi, gri tonlamalar 0 ile 148 arasında dağılmaktadır. Sıfır gri tonlamada görülen maksimum seviyenin varlığı, büyük miktarda gölgenin olduğunu gösterir. Gri tonlamanın merkezi dağılımı, 55-65'dir. Bu demektir ki, görüntüde gri tonlama değerlerinin çoğu karanlık bölgelere karşılık gelir. Ortaya konulan histogram modifikasyon çıktıları Şekil 5.9'da verilmiştir. Şekilde, uniform, küp kök hiperbolik ve logaritmik hiperbolik dağılımlar gibi türleri olan histogram hiperbolizasyon örnekleri ile histogram eşitlemesi görülmektedir. Hiperbolizasyon örneklerinden görüleceği üzere, histogram hiperbolizasyonu karanlık zonları genişleterek ayrıntıları saklamaktadır. Böylece, histogram hiperbolizasyonunun parlak görüntülerde kullanılması önerilir. Bizim çalışmamız için, ayrıntıları daha iyi açıklayabilmek için, histogram eşitliği tekniğinin uygulanması daha uygundur.

Bu çalışmada görüntü işleme algoritmaları 3 değişik girdi görüntülere uygulanmıştır. Bunlardan ikisi laboratuvara hazırlanmış olup üçüncüsü direkt olarak araziden alınmıştır (Şekil 5.10). Laboratuvar örneklerinden biri birleşik kaya parçacıkları formundayken (Şekil 5.11) diğer ayrik formdadır (Şekil 5.12).



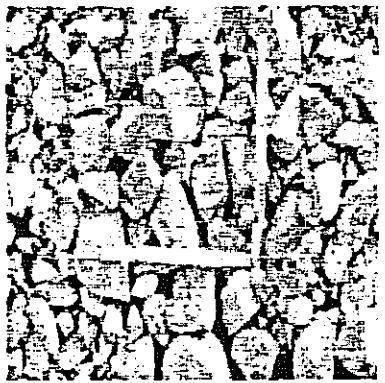
HP1



LP1



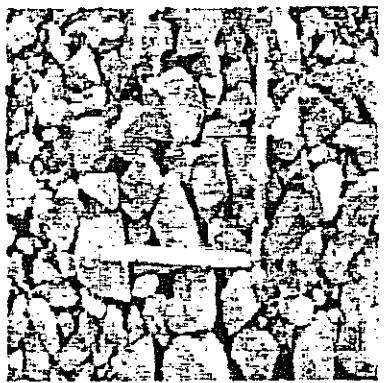
HP2



LP2



HP3



LP3

Şekil 5.5. Düşük ve yüksek geçişli filtre görüntüleri



Orijinal Görüntü



Medyan

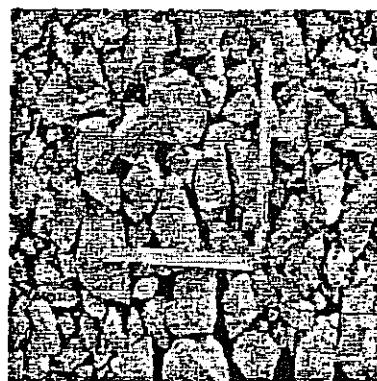


Komşu Ortalaması

Şekil 5.6. Ortanca ve komşu ortalama olarak filtre edilmiş görüntüler



Orijinal Görüntü



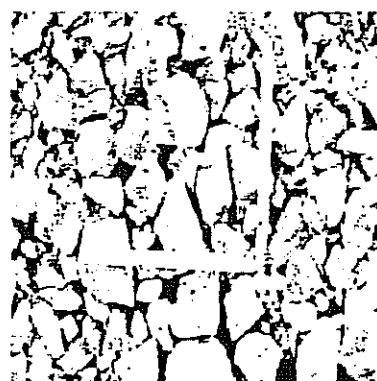
Boost Faktör = 1.5



Boost Faktör = 2.5

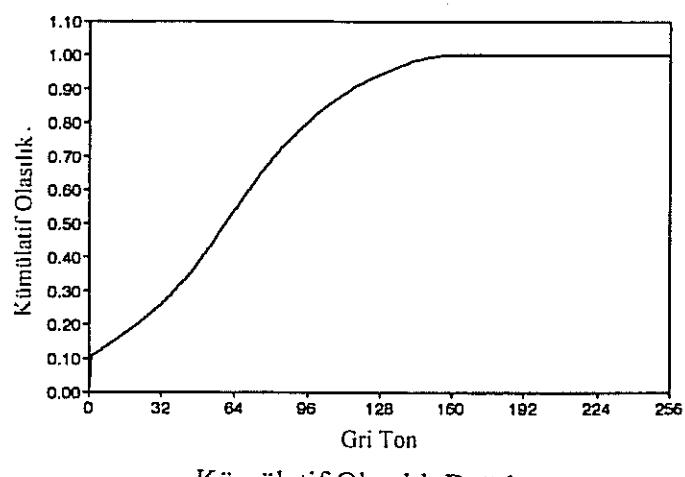
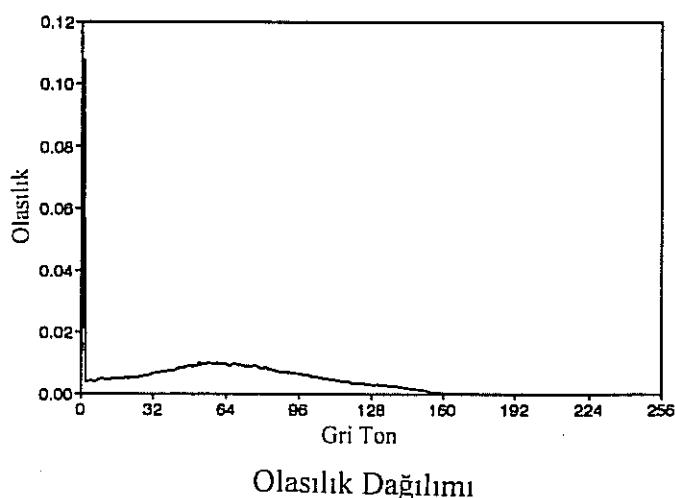
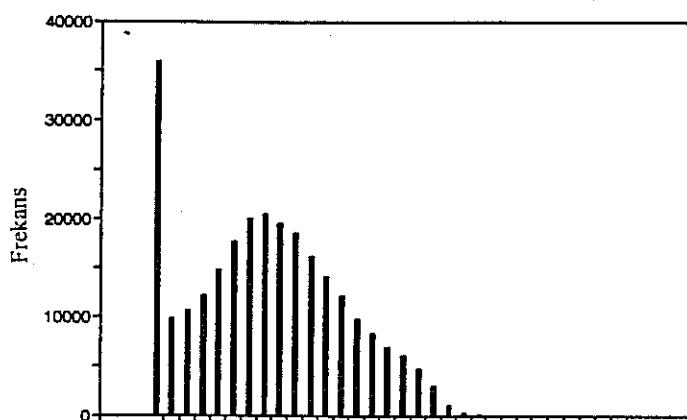


Boost Faktör = 2.0



Boost Faktör = 3.0

Şekil 5.7. Yüksek boost filtre edilmiş görüntüler



Şekil 5.8. Orijinal görüntünün; histogram, olasılık ve kümülatif olasılık dağılımları



Orijinal Görüntü



Histogram Eşitlenmiş



Uniform Dağılım

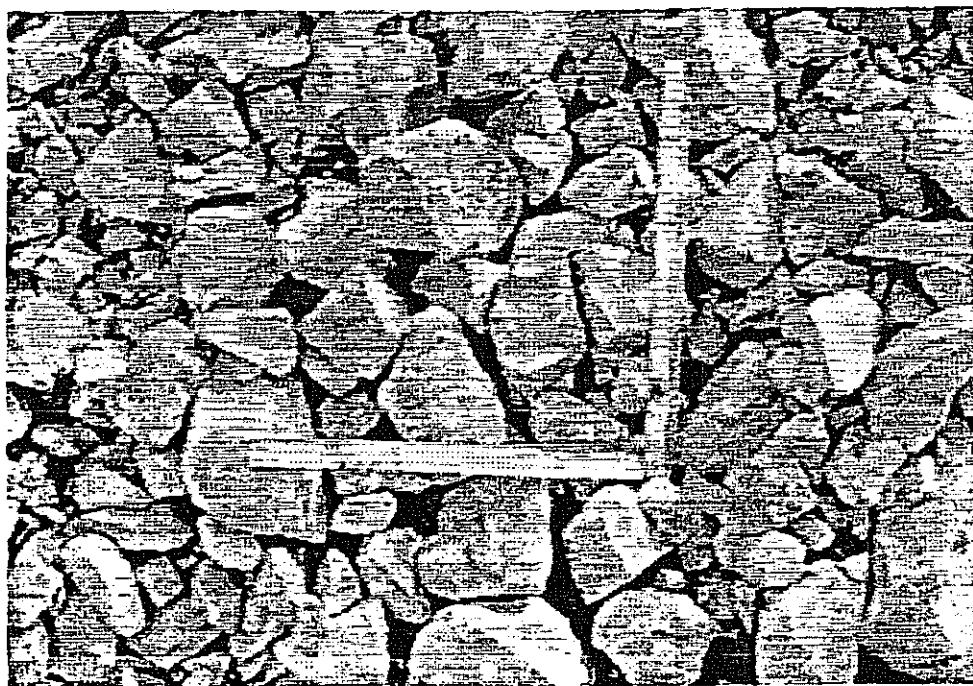


Hiperbolik Küp Kök Dağılımı

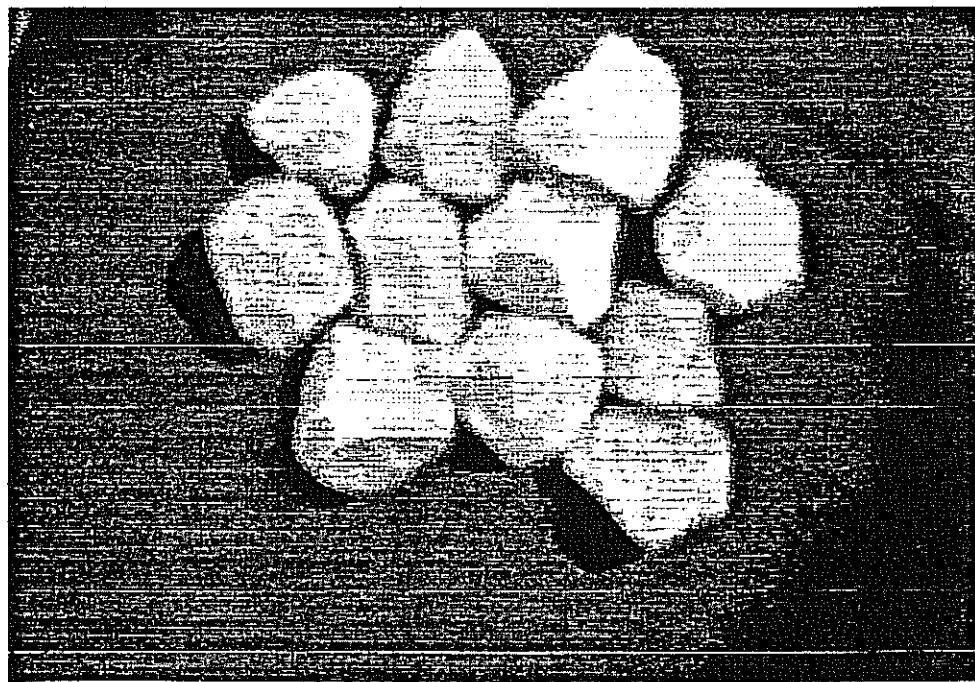


Hiperbolik Logaritmik Dağılım

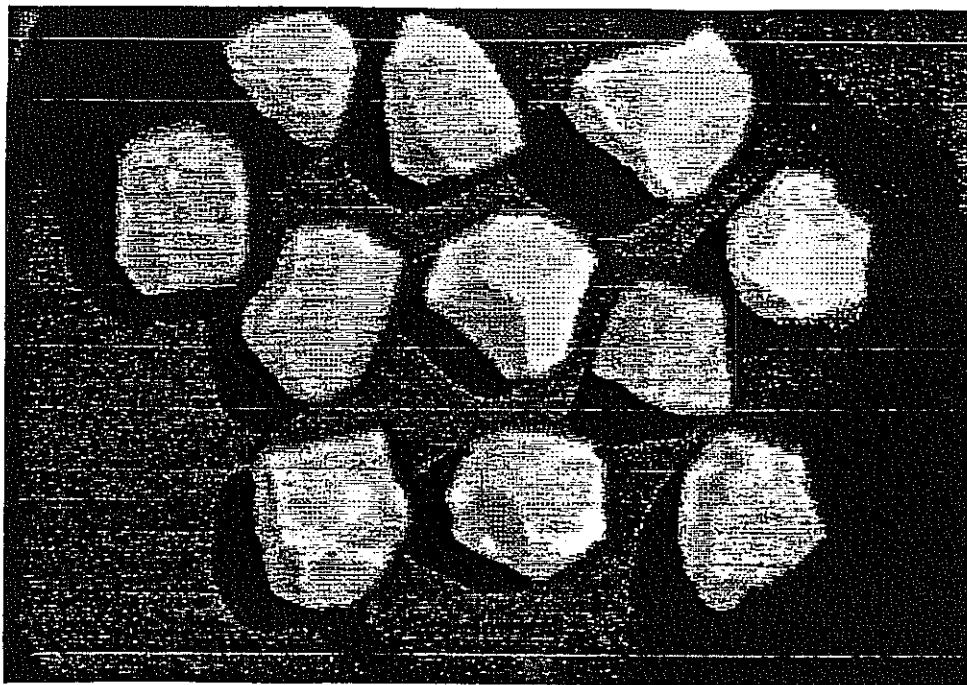
Şekil 5.9. Histogram modifiye edilmiş görüntüler



Şekil 5.10. Araziden alınmış orijinal görüntü



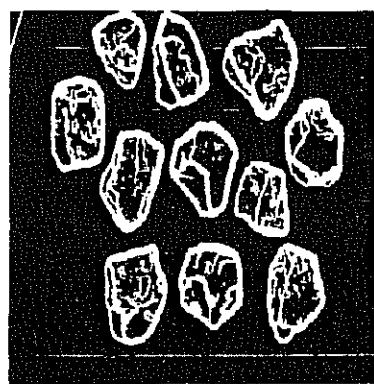
Şekil 5.11. Birleştirilmiş laboratuvar görüntü örneği



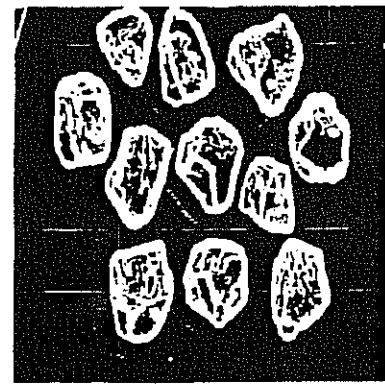
Şekil 5.12. Ayrık laboratuvar görüntü örneği

Kaya konturunun çıkarılması için en önemli bilgi kenar belirleme sonuçlarından elde edilir. Bölüm 4'te verilen 15 adet kenar belirleme yöntemi farklı laboratuvar örnekleri için uygulanmaktadır. Bu yöntemler 5, 10 ve 20 eşik (threshold) değerleri için uygulanır (Şekiller 5.13-5.20). Şekil 5.19'da görülen eşik değerleri, Kirsh ve Robinson yöntemlerinde görülen yüksek kenar boyu üretiminin dolayı, genelde 10, 20 ve 30 olanlardan farklıdır. Canny'nın kenar belirleme yönteminin iyi kenar belirleyici olduğu açıkça görülmektedir. Bunun nedeni Canny'nın yönteminde kabul edildiği üzere, bütün kenar belirleme yöntemleri kayanın yapı karakteristiklerine duyarlıdır ve böylece yanlış kenarların belirlenmesiyle sonuçlanır. Ayrıca bu yöntem birleşik laboratuvar örnekleri ve arazideki yığın için de uygulanmaktadır (Şekil 5.21).

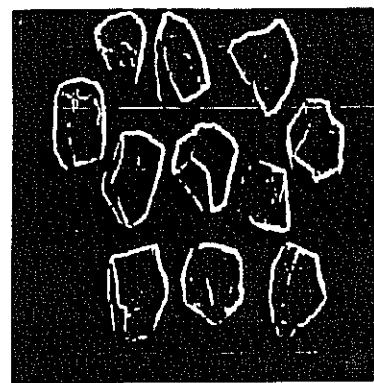
Görüntü işleminde son aşama segmentasyondur. Segmentasyon yöntemi olarak eşikleme (thresholding) ve modifiye edilmiş akıllı kodlama (intelligent labeling) yöntemleri uygulanmıştır. Bu üç tip örnekte threshod değerleri, T , threshold değeri seçiminin etkilerini gözlemlemek için 20, 40, 60, 90, 120 ve 150 olarak seçilmiştir. Şekiller 5.11 ve 5.12'den de görüleceği gibi, tek yönlü aydınlatma gölgelere neden olmaktadır. Ayrık kaya parçaları durumunda bunun diğer parçalar üzerinde belirli bir etkisi yoktur. Fakat birleşik durumda, gölge oluşumu yakın kaya parçalarını kapatmaktadır.



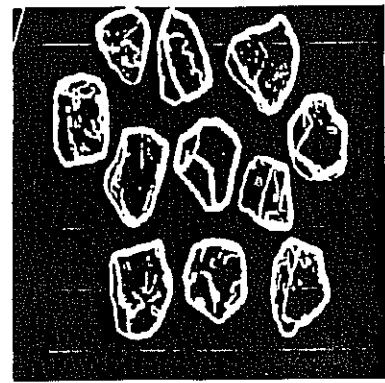
T = 5



T = 5



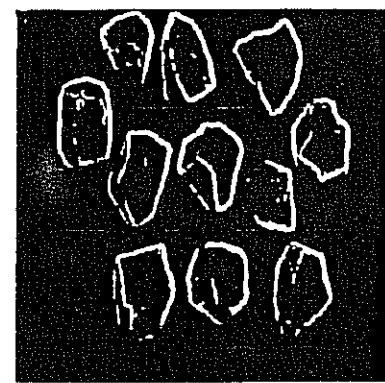
T = 10



T = 10



T = 15

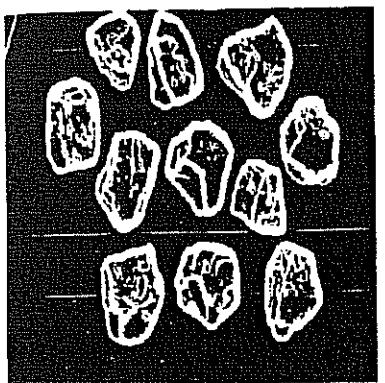


T = 20

(a)

(b)

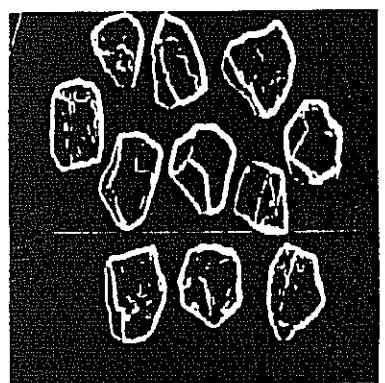
Şekil 5.13. Piksel farkı (a) ve ayrılmış piksel farkı (b) kenar algılama sonuçları



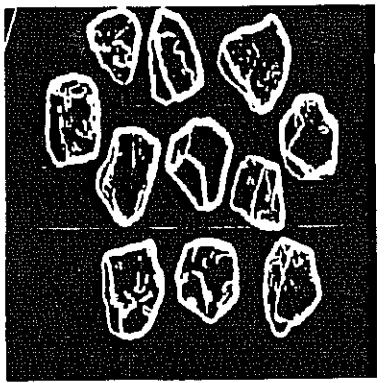
T = 5



T = 5



T = 10

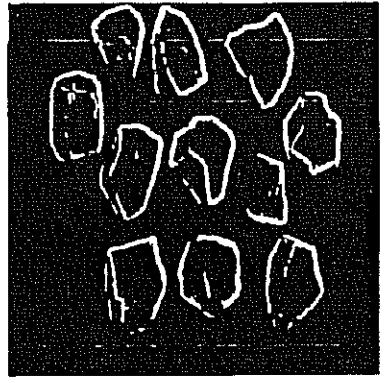


T = 10



T = 20

(a)



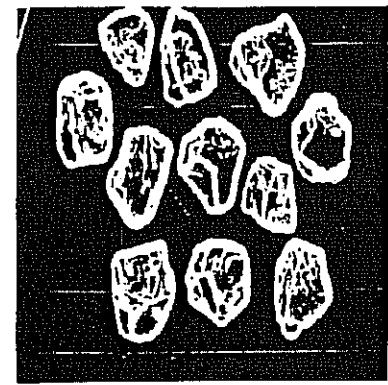
T = 20

(b)

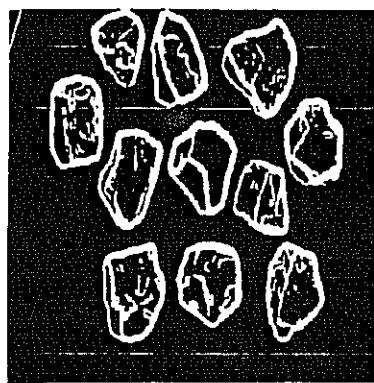
Şekil 5.14. Roberts (a) ve Prewitt (b) kenar algılama sonuçları



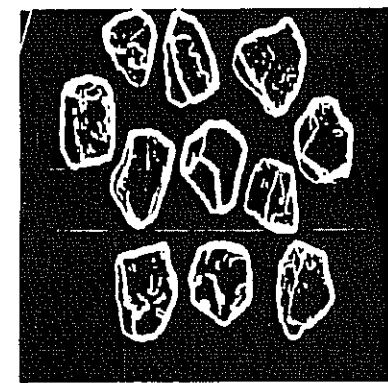
T = 5



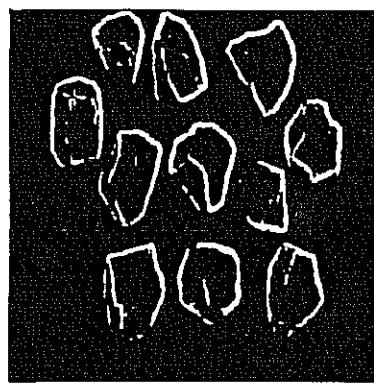
T = 5



T = 10

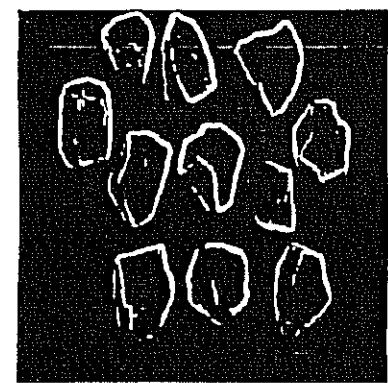


T = 10



T = 20

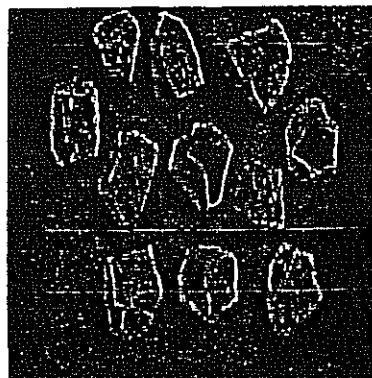
(a)



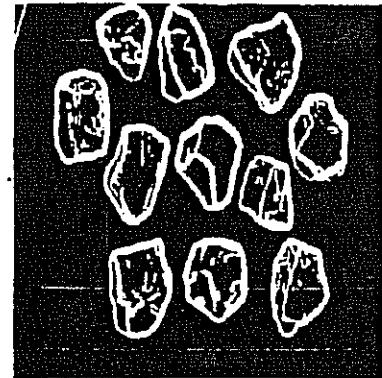
T = 20

(b)

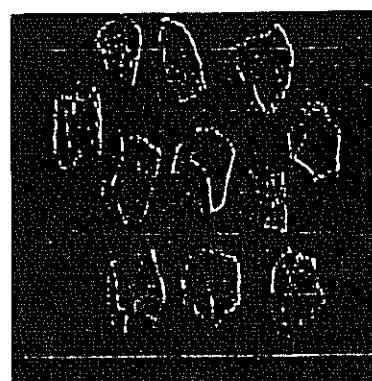
Şekil 5.15. Sobel (a) ve Frei-Chen (b) kenar algılama sonuçları



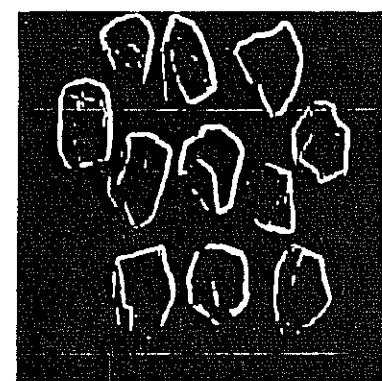
$T = 5$



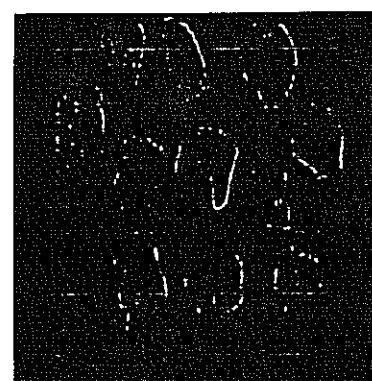
$T = 5$



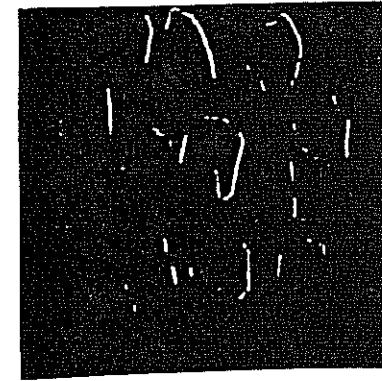
$T = 7$



$T = 10$



$T = 10$

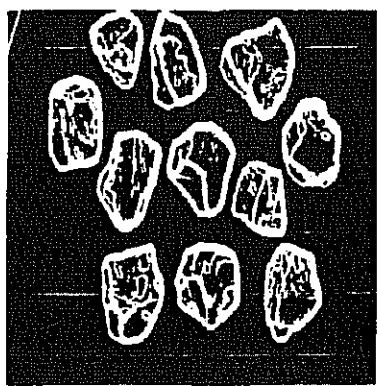


$T = 20$

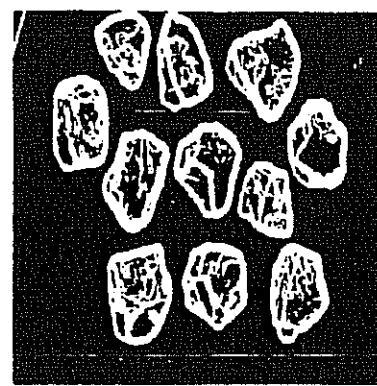
(a)

(b)

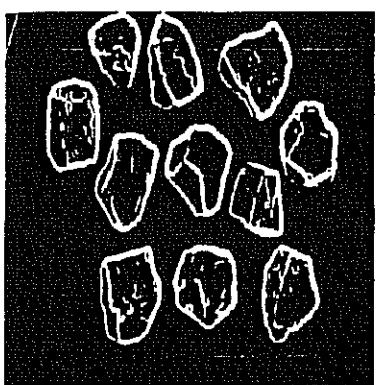
Şekil 5.16. Laplas (a) ve Prewitt pusula eğimi (b) kenar algılama sonuçları



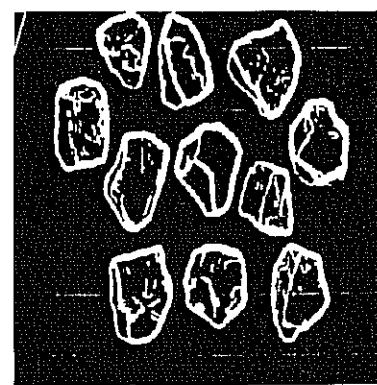
T = 5



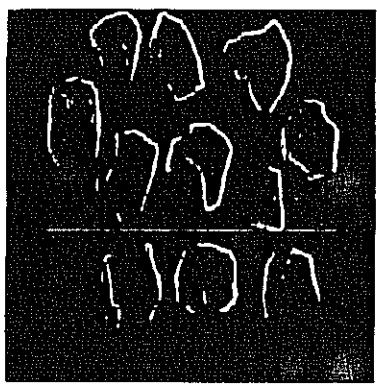
T = 5



T = 10

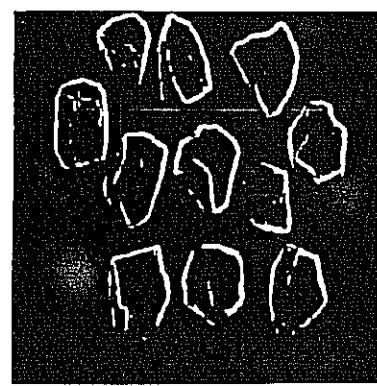


T = 10



T = 20

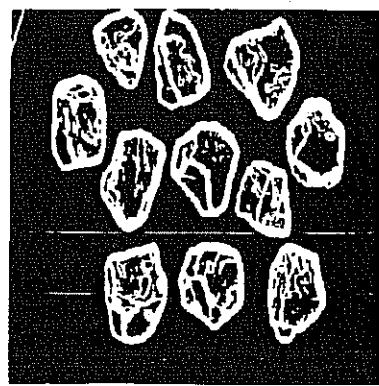
(a)



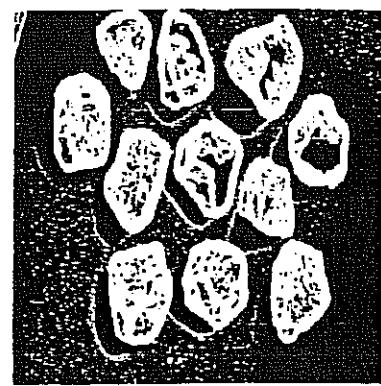
T = 20

(b)

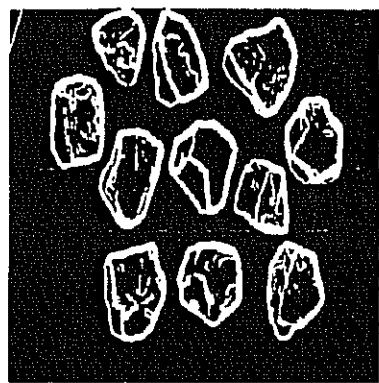
Şekil 5.17. Kirsh (a) ve Robinson 3-seviye (b) pusula eğimleri kenar algılama sonuçları



T = 5



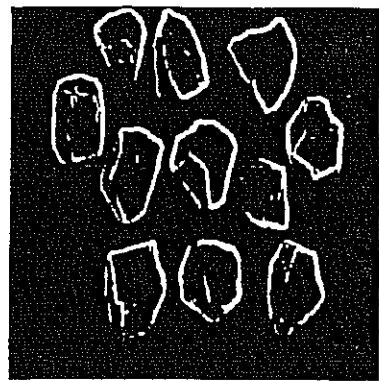
T = 5



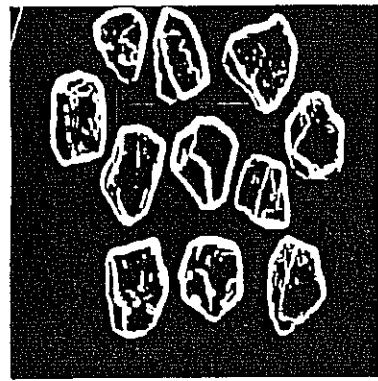
T = 10



T = 10



T = 20

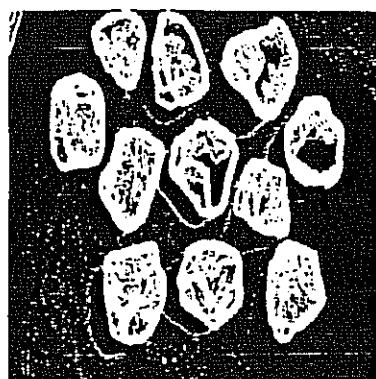


T = 20

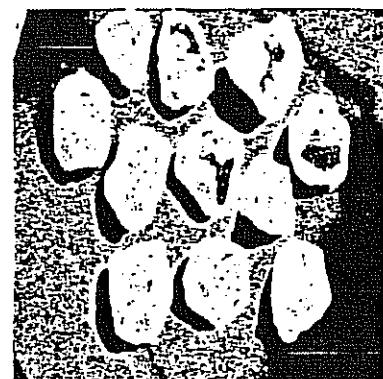
(a)

(b)

Şekil 5.18. Robinson 5-seviye pusula eğimi (a) ve Wigeson (b) kenar algılama sonuçları



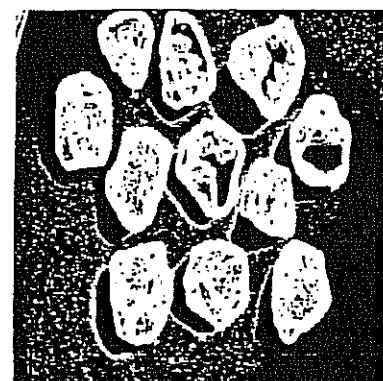
T = 10



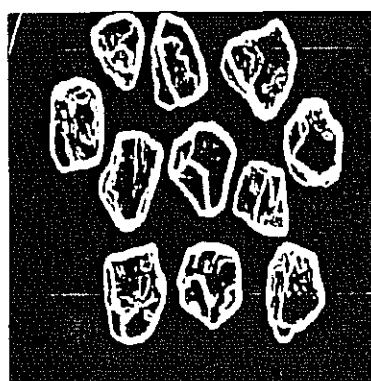
T = 10



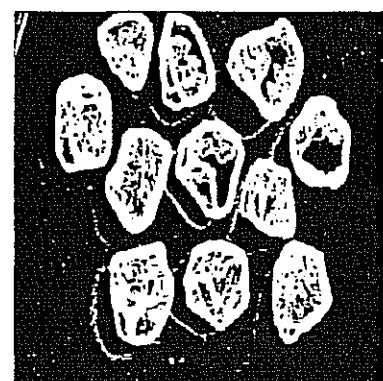
T = 20



T = 20



T = 30

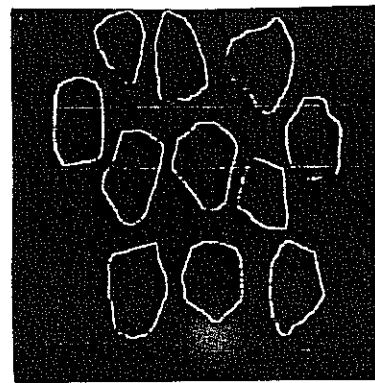


T = 30

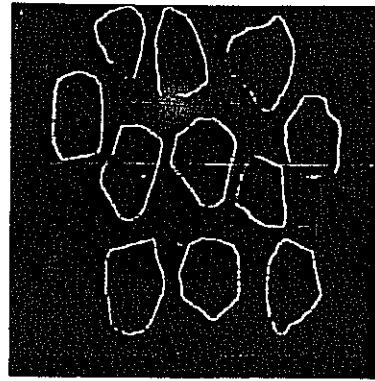
(a)

(b)

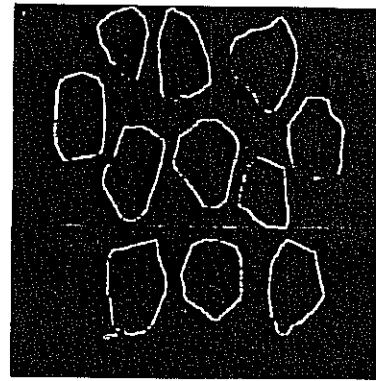
Şekil 5.19. Robinson (a) ve Kirsh (b) kenar algılama sonuçları



Canny Fonksiyonu

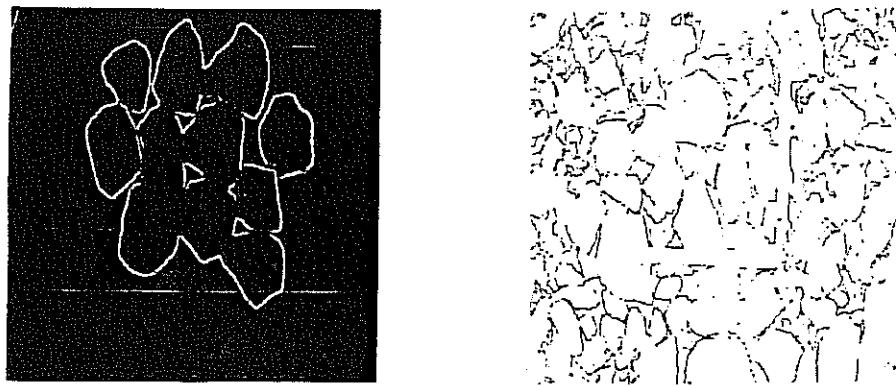


Yüksek Threshold Haritası

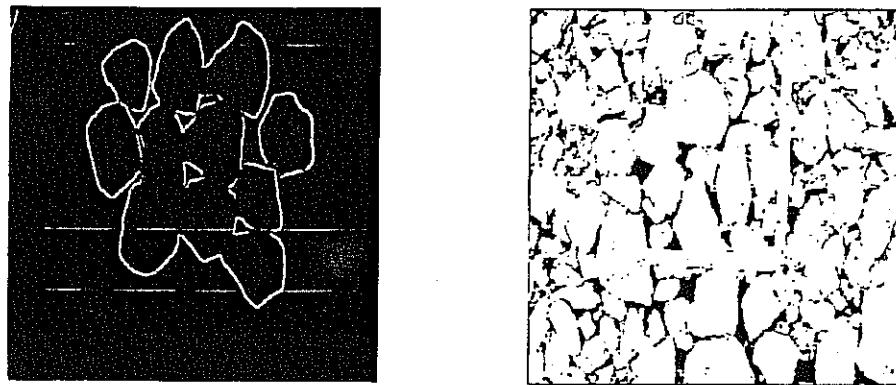


Düşük Threshold Haritası

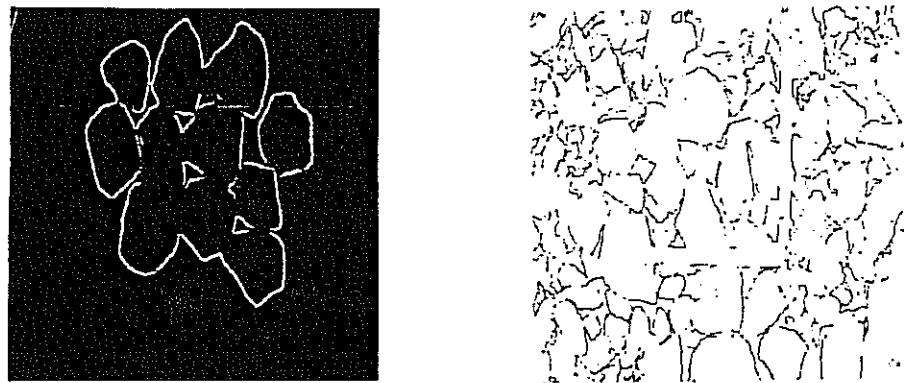
Şekil 5.20. Canny'nin kenar algılama sonuçları



Canny Fonksiyonu



Yüksek Threshold Haritası



Düşük Threshold Haritası

(a)

(b)

Şekil 5.21. Birleştirilmiş laboratuvar örnekleri (a) ve arazi yığını (b) için Canny'nin kenar algılama sonuçları

Ayrik ve birleşik laboratuvar örneklerinden ve arazideki parçalanmış yığından elde edilen görüntülerin eşik (threshold) değerleri sırasıyla Şekiller 5.22, 5.23 ve 5.24'te verilmiştir. Bütün bu görüntülerdeki genel eğilim, az parçalanma oluşumunun artan threshold değerleri ile olması yönündedir. Sonuç olarak, uygun threshold değeri, görüntü içinde elde edilen maksimum parça sayısına bağlıdır. Buna karşılık, thresholding başlıca iki tip hata oluşturmaktadır:

- i. Kaya parçacıkları arasında köprülerin oluşması, örneğin; bir kaya alanının diğeri ile birleşmesi
- ii. Kaya yüzeyinde boşlukların ve çukurların oluşması.

Thresholding'den farklı olarak, akıllı kodlama algoritması tüm görüntü boyunca aynı eşik değerini kullanmak yerine değişik eşik değerlerini görüntünün farklı parçalarına uygular. Bu algoritmada, görüntü, gölgeli bölge, kenar bölge ve kaya bölgesi (koyu kısım ve açık kısım) olmak üzere bir çok parçaaya ayrılır. Koyu kısımdaki kaya bölgesi gölgdedeki kaya parçacıklarına karşılık gelir. Bölüm 4'te verilen Wigeson (1987) algoritması Wigeson'un 3*2 maskeleri yerine Canny'nin ve diğerlerinin kenar yöntemleri kullanılarak modifiye edilmiştir. Bu akıllı kodlama algoritması sonucunda hatalar sırasıyla, birleşme, adacık oluşumu, yarılma ve boşluklar olarak belirlenmiştir. Şekil 5.25'te görülen bu hatalar uygun algoritmaların geliştirilmesiyle elenebilir.

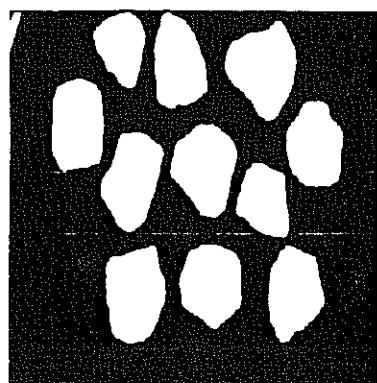
Bütün kenar belirleme yöntemleri ve değişmiş akıllı kodlama algoritması (intelligent labeling algorithm) sonunda, kalın konturları olan kaya parçalarına sahip 2-D görüntülerde hatalı ölçümlere (alan ve Cord uzunluğu) sebep olacaktır. Örnek bir inceleştirme sonucu Şekil 5.26'da verilmiştir. Aşağıdaki Zhang ve Suen'nin (1984) inceltme algoritması kaya konturlarının inceltilmesi için kullanılmıştır:

- i. 8 komşu değerden en az biri 0 olan bir kontur noktası tanımla
- ii. Eşitlik 5.1'i kullanarak, sıfır olamayan komşu değerlerin sayısını, $N(p_1)$ ve Şekil 5.27'de verilen maske notasyonunu kullanarak 0-1 değişimlerinin sayısını, $S(p_1)$ hesapla

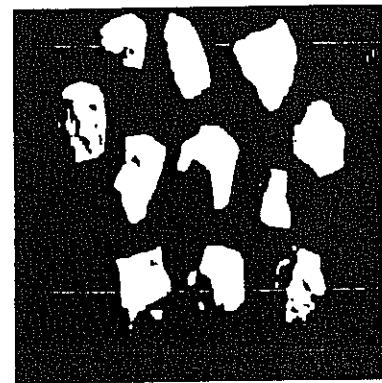
$$N(p_1) = \sum_{i=2}^9 p_i \quad 5.1$$

P_9	P_2	P_3
P_8	P_1	P_4
P_7	P_6	P_5

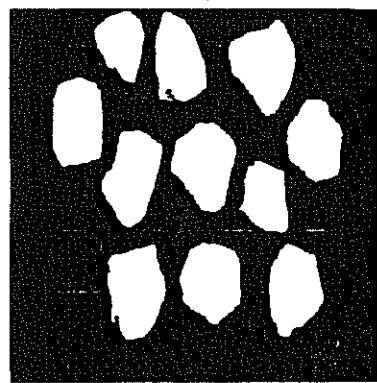
Şekil 5.27. İnceleştirmeye kullanılan maske notasyonu



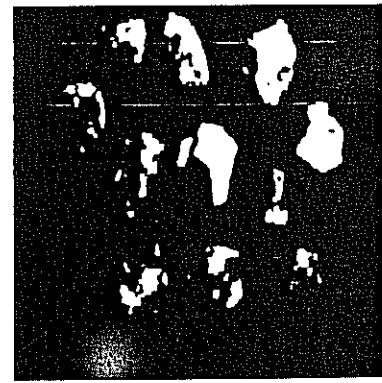
T = 20



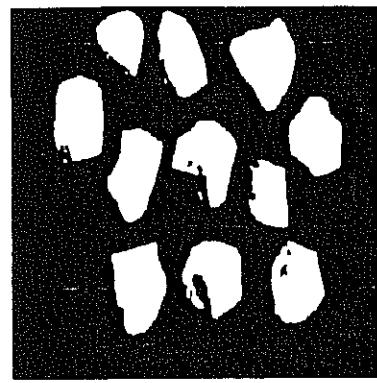
T = 90



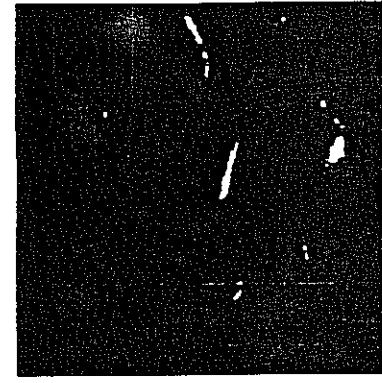
T = 40



T = 120

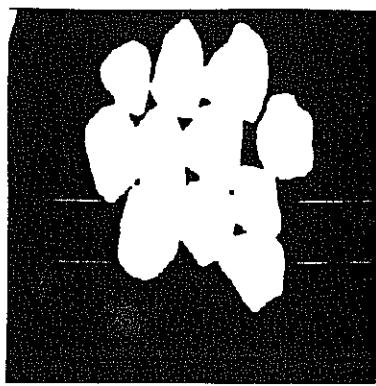


T = 60



T = 150

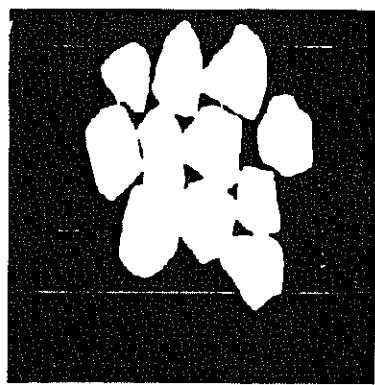
Şekil 5.22. Aynık laboratuvar örnek görüntüsünün thresholding'i



T = 20



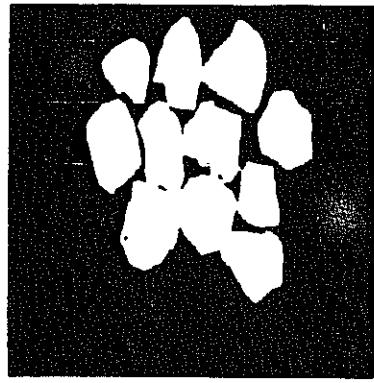
T = 90



T = 40



T = 120

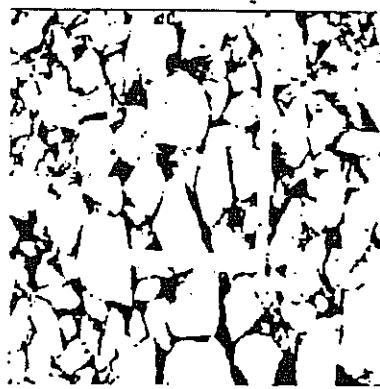


T = 60



T = 150

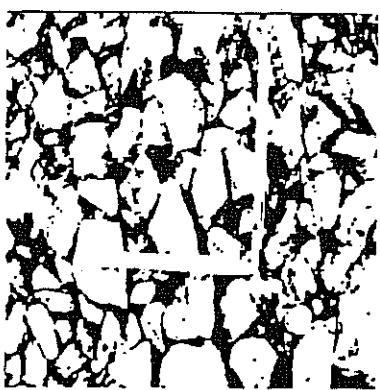
Şekil 5.23. Birleştirilmiş laboratuvar örnek görüntüsünün thresholding'i



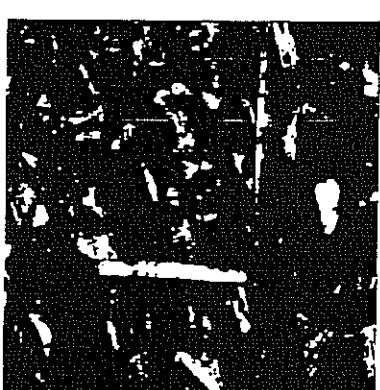
$T = 20$



$T = 90$



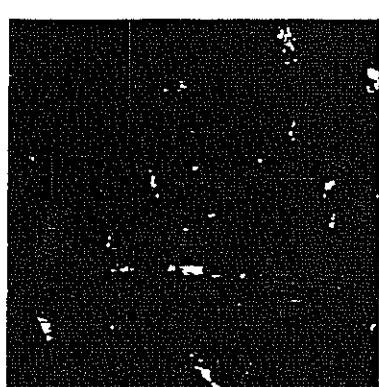
$T = 40$



$T = 120$

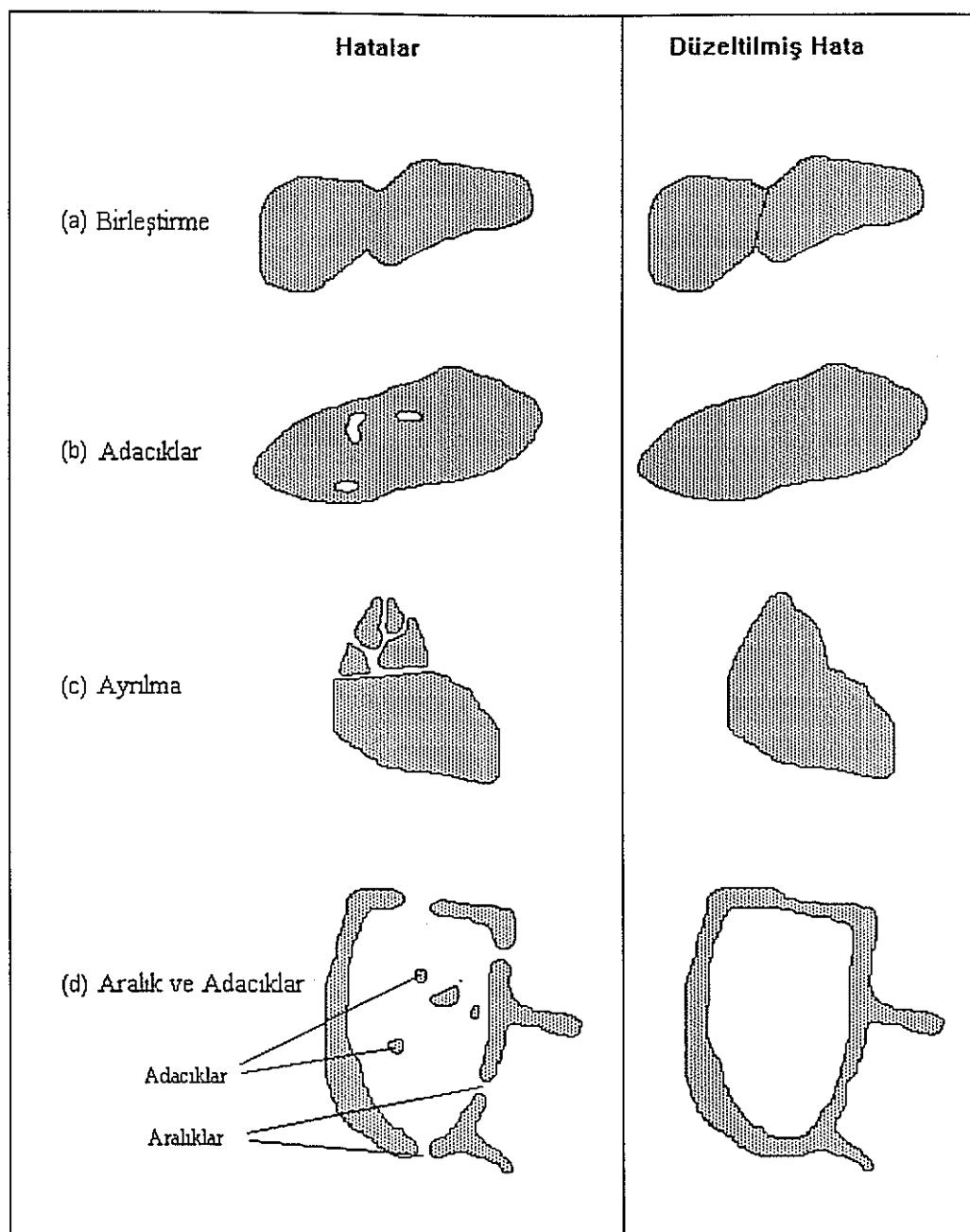


$T = 60$

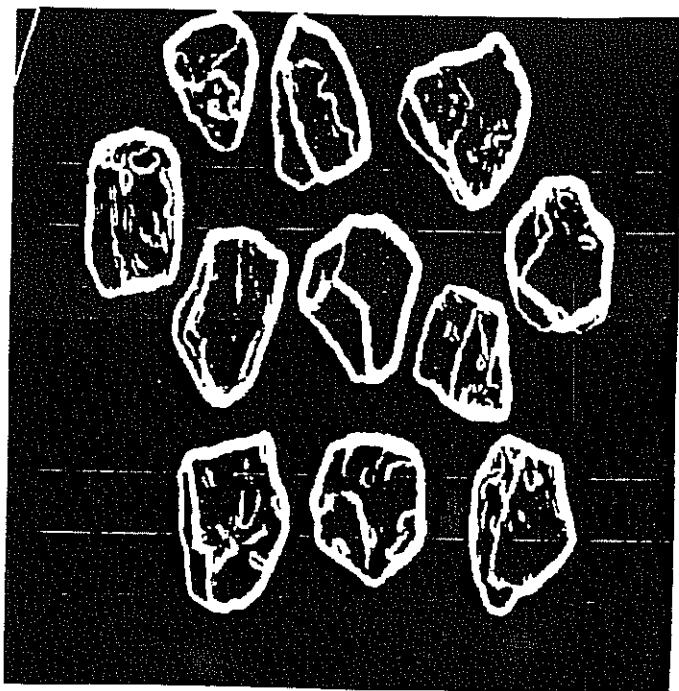


$T = 150$

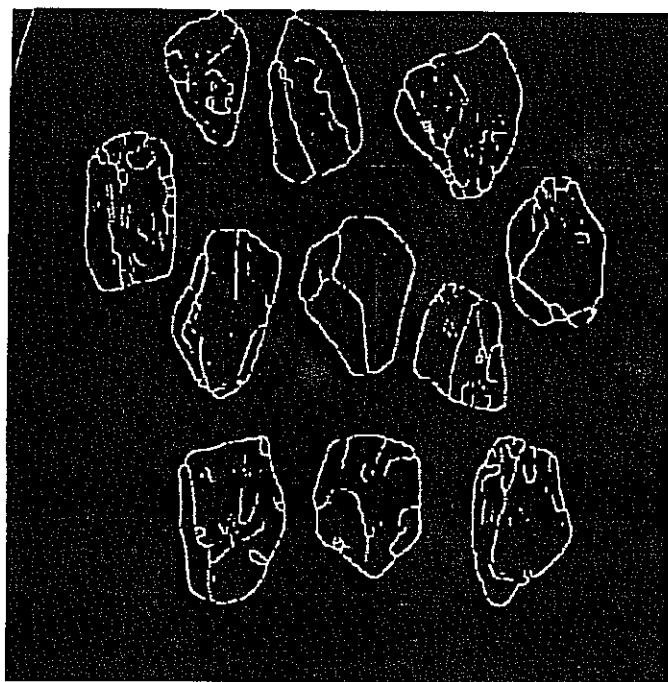
Şekil 5.24. Arazi görüntüsünün thresholding'i



Şekil 5.25. Hataların akıllı kodlama algoritmasından sonra düzeltilmesi



Orijinal Görüntü



İnceltilmiş Görüntü

Şekil 5.26. İnceleştirmeden sonra kaya konturları

iii. Aşağıdaki kuralları uygula

$$2 \leq N(p_1) \leq 6$$

$$S(p_1) = 1$$

$$\text{Geç iş 1} \quad \text{Geç iş 2}$$

$$\begin{array}{ll} p_2 \cdot p_4 \cdot p_6 = 0 & p_2 \cdot p_4 \cdot p_8 = 0 \\ p_4 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0 & p_2 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0 \end{array}$$

iv. (iii)'ü bütün kenar noktaları için uygula ve eğer bütün kurallar sağlanır ise piksel'i zayıflat.

v. Geçiş 1'den sonra zayıflatılmış piksel'leri çıkart.

vi. Geçiş 2 için (iv) ve (v)'i uygula.

vii. Çıkarılacak nokta kalmayınca kadar geçiş 1 ve geçiş 2'yi uygula.

5.3.2. Parça Boyut Analiz Rutinleri

Bu aşamada 3-D kaya parçalarının boyut dağılımı, 2-D ölçümelerden hesaplanmıştır. Örneğin, cord boyu ve alan hesaplarında, King'in (1982) öne sunduğu yöntem ve moment yöntemi uygulanmıştır. Kuramsal gelişimi Bölüm 3'te verilen King yöntemi 2-D ölçümeler kullanarak kaya parçalarının elek boyut dağılımını direkt olarak bulmaktadır. Aşağıdaki algoritma, cord boyu ölçümeleri için patlatılmış malzemenin parça boyut dağılımı için kullanılan King yöntemini açıklar:

- i. Cord boyu ölçümeleri için boyut aralıkları, SCL_i , belirle.
- ii. Belirlenmiş boyut aralıklarına göre cord boyu ölçümelerini, CL , grupperdir.
- iii. Toplam ölçüm sayısı, N , için cord boyunun göreceli frekansını, $g(CL_i)$, hesapla.

$$g(CL_i) = \frac{CL_i}{N} \quad 5.2$$

- iv. Cord boyunun göreceli frekansını 3'lük kaydırımlı ortalamaları eşitlik 5.3'ü kullanarak filtrele.

$$g_f(CL_i) = \frac{g(CL_{i-1}) + g(CL_i) + g(CL_{i+1})}{3} \quad 5.3$$

- v. Cord boyu ölçümelerinin olasılık dağılım yoğunluğunu, $p(CL_i)$, eşitlik 5.4'ü kullanarak hesapla.

$$p(CL_i) = \frac{g_f(CL_i)}{\sum g_f(CL_i)} \quad 5.4$$

- vi. Eşitlik 5.5'i kullanarak $P_1(CL_i)$ değerini hesapla.

$$P_i(CL_i) = \sum_{j=0}^i SCL_j p(CL_j) \quad 5.5$$

- vii. Cord boyu ölçümlerinin ortalamasını, μ_1 , hesapla.
- viii. β 'nın düzeltme terimi $C(\alpha, \beta)$ 'nin parametresi olduğunu düşünerek $\frac{CL_i^2 p(CL_i)}{\beta \mu_1}$ değerini hesapla. Bu çalışmada β ve α değerleri King'in (1982) önerileri dikkate alınarak sırasıyla 1.28 ve 1 olarak alınmıştır.
- ix. Bölüm 3'te verilen temel çalışma eşitliğinin dekonvolüsyonu olan Eşitlik + 5.6'yi kullanarak boyut dağılımını, $F(D)$, hesapla.

$$F(D) = \frac{P_i(CL_i)}{\mu_1} - \frac{CL_i^2 p(CL_i)}{\beta \mu_1} - C(\alpha, \beta) \quad 5.6$$

Kaya parçalarının boyut dağılımının hesaplanmasıın başka bir yolu da, boyut dağılımının bütününe belirlenmesinde, parça boyutlarının tahmini momentlerinin kullanılmasıyla olur. Bu çalışmada, parça boyut dağılım momentlerini hesaplamak için, cord boyu ölçümlerinin n 'inci momentlerinin hesabı için Lange (1990) tarafından önerilen yöntem ile birlikte King (1984) tarafından verilen moment ilişkileri kullanılmıştır. Boyut dağılımını moment bulma algoritması -özellikle ilk moment, mean yada ortalama, varyans- aşağıdaki gibidir:

- İşlenmemiş cord boyu verilerini, $g(L_i)$, histogramlara çevir.
- Eşitlik 5.7'dan cord boyu verilerinden yoğunluk dağılımını, $p(L_i)$, hesapla.

$$p(L_i) = \frac{g(L_i)}{\sum_{i=0}^n g(L_i)} \quad 5.7$$

- Eşitlik 5.8'i kullanarak toplam yoğunluk dağılımını, $P(L_i)$, hesapla.

$$P(L_i) = \sum_{i=0}^n p(L_i) \quad 5.8$$

- Eşitlik 5.9 ile genişletilmiş yoğunluk dağılımını, $P^*(L_i)$, hesapla.

$$P_a(L_i) = L_i^\alpha p(L_i) \quad 5.9$$

- Cord boyunun birinci, ikinci ve üçüncü momentlerini (μ_1, μ_2, μ_3) dağıtık yoğunluk davranışlarını elemek amacıyla hesapla (Eşitlik 5.10).

$$\mu_1(L_i) = \sum_{i=0}^n P_a(L_i) \quad \mu_2(L_i) = \sum_{i=0}^n P_a(L_i)^2 \quad \mu_3(L_i) = \sum_{i=0}^n P_a(L_i)^3 \quad 5.10$$

- Eşitlik 5.11'i kullanarak boyut dağılım momentlerini, μ_D^1 ve μ_D^2 , hesapla.

$$\mu_D^1 = 1.479 \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad \mu_D^2 = 1.825 \frac{\mu_3}{\mu_1} \quad 5.11$$

Yığın (pasa) özelliklerini daha iyi belirlemek amacıyla, cord boyu ve alan gibi ölçümler bütün yığını temsil edecek şekilde değişik derinliklerden alınmıştır. Diğer bir ifadeyle, King's yöntemi ve moment yöntemi, yığının bir kesitinden alınan görüntünün boyut dağılımını belirler. Bu ancak yığının diğer kesitlerinde de aynı özellikleri gösterirse geçerli olur. Çünkü bu yöntemler homojen kesitler veren ögütme devreleri için geliştirilmiştir. Bizim çalışmamızda bu sınırlama, yığının farklı kesitlerinden alınan ölçüm sayısını artırarak aşılmaya çalışılmıştır.

5.4 ROCKSIZE Algoritması

Wigeson (1987) algoritması Canny (1986)'nin kenar tespit yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Burada, pikseller kolon boyunca taranmakta ve daha sonra diğer kolonlar için işlem tekrarlanmaktadır. Bu işlemler ROCKSIZE programında aşağıdaki algoritmaya göre yapılmıştır.

- i. Görüntü histogramını kullanarak gölgeli, açık ve koyu bölgeleri ve karşılık gelen alt ve üst threshold değerlerini belirle.
- ii. Canny'nin alt ve üst threshold değer haritalarını hesapla.
- iii. Seçilen pikseli üst piksel ile kıyasla. Eğer kıyaslama kural tabanı tarafından kabul edilirse seçilen piksele üstteki piksel ile aynı kodu ver.
- iv. Seçilen pikseli solundaki piksel ile kıyasla. Eğer kıyaslama kural tabanı tarafından kabul edilirse seçilen piksele soldaki piksel ile aynı kodu ver.
- v. Seçilen piksel üst ve sol pikseller ile kıyaslandığında (iii ve iv) kural tabanı tarafından kabul edilmezse yeni bir kod numarası ver.
- vi. Seçilen piksel üst ve sol pikseller ile kıyaslandığında (iii ve iv) kural tabanı tarafından kabul edilirse seçilen piksele üst pikselin kod numarasını ver. Soldaki pikselin kodunu ve soldaki ile aynı kod numarasına sahip görüntüdeki diğer işlenmiş piksellerin kod numaralarını üst pikselin kod numarası ile değiştir.
- vii. Görüntüdeki bütün pikseller için iii-vi'da yapılan işlemleri tekrarla.
- viii. Her bir kod numarasına karşılık gelen piksel sayılarını bul. Eğer bulunan rakam belli bir değerden büyük ise kaya parçası, değilse boşluk olarak kabul et.
- ix. Kodlanmış kaya parçalarındaki birleşme, adacık ve boşluk hatalarını düzelt.
- x. Uçları açık olan kaya parça konturlarını birleştir.

ROCKSIZE algoritmasında kullanılan kural tabanı:

- Kural 1: Eğer seçilen pikselin gri tonlama değeri gölge threshold değerinden büyük ise kuralı reddet ve kural tabanından çıkış.
- Kural 2: Eğer karşılaştırılan piksellerin gri tonlama farkları sabit bir threshold değerinden küçük ise kuralı kabul et ve kural tabanından çıkış.

- Kural 3,4: Eğer Canny'nin alt ve üst threshold değer haritalarında bir köşe tespit edilmişse kuralı reddet ve kural tabanından çıkar.
- Kural 5,6: Bu kurallar görüntünün parlak ve koyu bölgelerindeki gri tonlama farklarını test eder. Eğer gri tonlama farkı koyu ve parlak threshold değerinden büyük ise kuralı reddet ve kural tabanından çıkar.
- Kural 7: Eğer hiçbir kural kabul gerçekleşmezse kuralı kabul et ve kural tabanından çıkar.

5.5 2-D Ölçüm Birimleri

Kaya parçasının alanı, x ve y yönünde görünen uzunluklar, maksimum ve minimum cord boyları ve eşdeğer çapı parça dağılımını tespit etmek için hesaplanır. Görüntü sayısallaştırma kartı görüntüyü kare formatta ($512*512$) sayısallaştırmasına rağmen yatay ve düşey ölçekler farklıdır. Bu nedenle, 2-D ölçüm birimleri hesaplanırken gerçek boyutlara dönüştürmek için yatay ve düşey yönlerdeki ölçek katsayıları, sırasıyla SF_x ve SF_y , ile çarpılır.

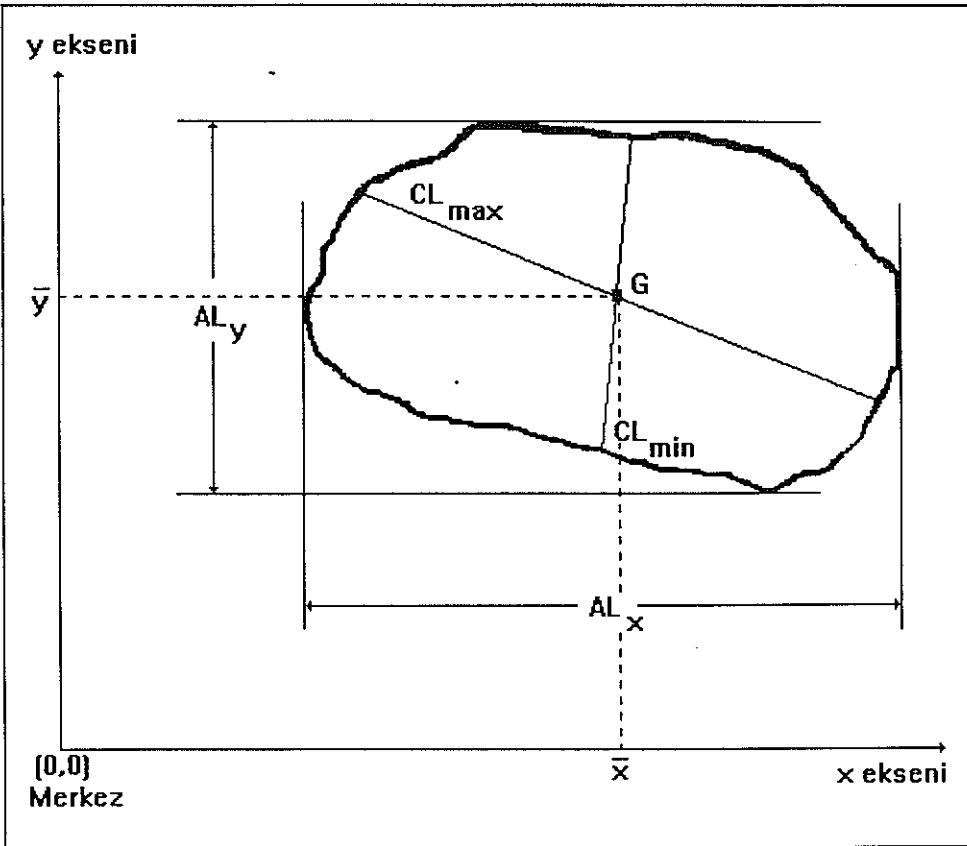
Kodlanmış görüntüdeki parça alanları Simpson kuralına dayalı geliştirilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$Alan = \frac{(S_1 + 2S_2 + 2S_3 + \dots + 2S_{n-1} + S_n)SF_x}{2} T * SF_y \quad 5.12$$

Burada,

- Alan : kaya parçası alanı
- n : dilim sayısı
- S_i : yatay yöndeki piksellerin toplamı
- SF_x : x yönünde ölçek katsayısı
- SF_y : y yönünde ölçek katsayısı
- T : dilimler arasındaki birim kalınlık

Herhangi bir kaya parçasının görünür uzunluğu x ve y yönlerinde olan maksimum uzunluklar, sırasıyla AL_x ve AL_y , olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 İki boyutlu ölçüm birimlerinde kullanılan uzunluklar

Maksimum ve minimum cord boyları, sırasıyla CL_{\max} ve CL_{\min} , kaya parçasının ağırlık merkezinden, G, geçen maksimum ve minimum hatların uzunlukları olarak tanımlanmıştır. Ağırlık merkezinin x ve y yönlerindeki koordinatları, sırasıyla \bar{x} ve \bar{y} , aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_c}{\sum p} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_c}{\sum p} \quad 5.13$$

Burada,

\bar{x} : ağırlık merkezinin x yönündeki koordinatı

\bar{y} : ağırlık merkezinin y yönündeki koordinatı

x_c : bir pikselin x koordinatı

y_c : bir pikselin y koordinatı

p : piksel

6. Laboratuvar ve Saha Sonuçları

Tasarlanan sistem iki laboratuvar örneklemede uygulanmış ve sistem kalibre edilmiştir. Her iki örneklemede de her bir kaya parçasının ağırlığı, hacmi ve alanı klasik yöntemlerle bulunmuştur. Bir kaya parçasının hacmi, kaya ölçekli silindir kabın

icine atildiginda su seviyesinde hacimce olan artis ölçülerek, alanı ise CAD yazılımı yardımıyla sayısallaştırılarak tespit edilmiştir. Her iki örneklemde de ROCKSIZE yazılımı kullanılarak 2-D ölçüm birimleri; alan, eşdeğer çap, görünen maksimum ve minimum uzunluklar ve maksimum ve minimum cord boyları hesaplanmıştır. Sonuç olarak herbir ölçümün parça boyut dağılımları empirik, moment ve King yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

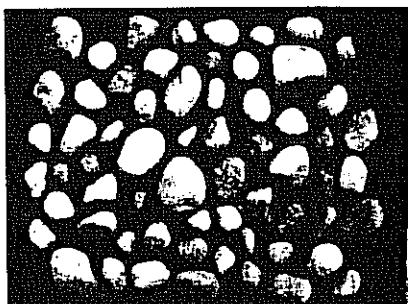
6.1 Laboratuvar Örnekleri

Bir nehir yatağından alınan çakıl taşları Örnek I'de doğal şekilleri korunarak, Örnek II'de ise kırıcıdan geçirilerek kullanılmışlardır. Kullanılan çakıl taşının doğal birim ağırlığı 2.861 gr/cm^3 'tür. Örnek I 63 adet, Örnek II ise 51 adet çakıl taşından oluşturulmuştur.

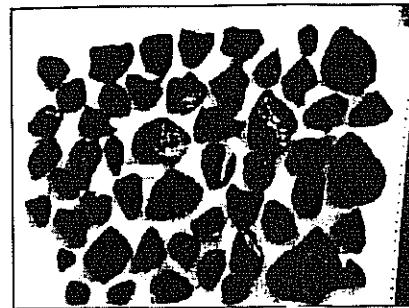
Parçacıkların 2-D ölçüm birimleri alınmadan önce orijinal görüntü CAD yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Herbir kaya parçası, konturlarını çıkarmak için ROCKSIZE tarafından kodlanmıştır. Bundan sonra herbirinin ağırlık merkezi bulunmuştur. Örnek I ve II için bu işlemler sırasıyla yapılmış ve sonuçları Şekil 6.1'de verilmiştir. Klasik yöntem ve ROCKSIZE tarafından bulunan 2-D ölçüm birimleri Örnek I ve II için sırasıyla Tablo 6.1 ve 6.2'de sunulmuştur.

Tablo 6.1 Örnek I için istatistiksel sonuçlar

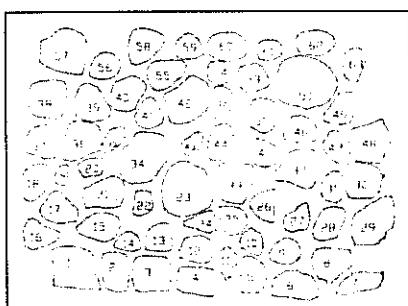
	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Varyans
Ağırlık	gr	17.71	444.26	98.14	70.88	87.48	7653
Hacim	cm^3	6.19	155.30	34.31	24.78	30.58	935
Ölçülen Alan	cm^2	4.30	51.20	18.53	16.45	9.64	93
Hesaplanan Alan	cm^2	6.19	53.52	17.56	15.01	9.19	84
Eşdeğer Çap	cm	2.81	8.25	4.60	4.37	1.11	1.2
Minimum Görünür Uzunluk	cm	2.43	7.64	4.28	4.47	1.11	1.2
Maksimum Görünür Uzunluk	cm	2.96	8.68	5.02	4.75	1.21	1.5
Minimum Cord Boyu	cm	2.03	8.42	3.88	3.78	1.09	1.2
Maksimum Cord Boyu	cm	2.91	8.72	5.20	4.94	1.29	1.7



Orijinal



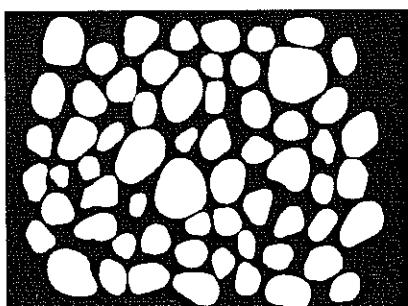
Orijinal



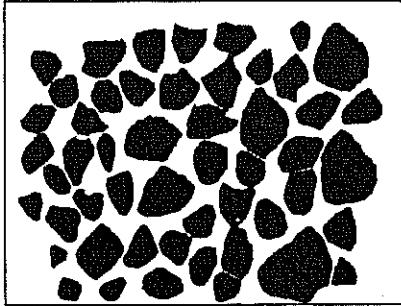
Sayısallaştırılmış



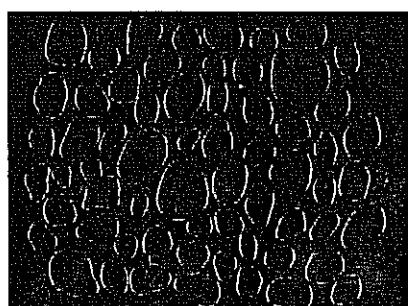
Sayısallaştırılmış



Kodlanmış



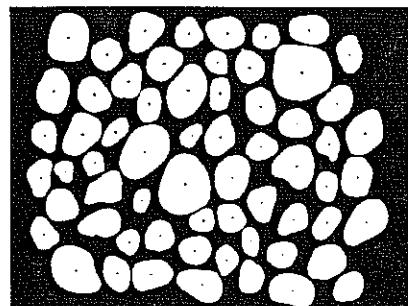
Kodlanmış



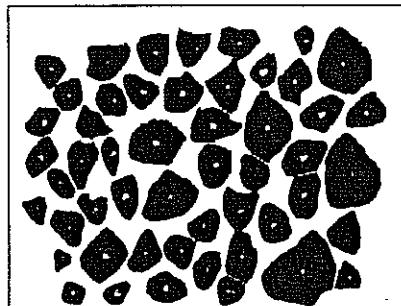
Kaya konturları



Kaya konturları



Ağırlık merkezi



Ağırlık merkezi

Örnek I

Örnek II

Şekil 6.1 Örnek I ve II'nin orijinal, sayısallaştırılmış ve işlenmiş görüntüleri

Tablo 6.2 Örnek II için istatistiksel sonuçlar

	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Varyans
Ağırlık	gr	12.37	492.56	127.37	97.55	112.17	12581
Hacim	cm ³	4.34	172.83	44.69	34.23	39.36	1549
Ölçülen Alan	cm ²	4.05	76.28	20.50	17.43	13.76	189
Hesaplanan Alan	cm ²	5.59	74.70	21.93	19.05	13.37	179
Eşdeğer Çap	cm	2.67	9.75	5.10	4.93	1.39	1.9
Minimum Görünür Uzunluk	cm	2.55	10.13	4.90	4.67	1.40	2.0
Maksimum Görünür Uzunluk	cm	3.04	11.11	5.89	5.69	1.69	2.9
Minimum Cord Boyu	cm	2.32	8.13	4.22	3.78	1.26	1.6
Maksimum Cord Boyu	cm	2.91	11.04	5.87	5.52	1.69	2.9

Kaya parçalarının 2-D ölçümelerden hacmini, V, hesaplamak için doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizleri yapılmıştır. Bunu sonucunda en yüksek regresyon katsayısına, R², sahip olan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$V = A(0.379AL_{\min} + 0.019AL_{\max}) \quad R^2 = 0.92 \quad 6.1$$

kırılmamış örnekler için

$$V = A(0.236CL_{\min} + 0.151CL_{\max}) \quad R^2 = 0.92 \quad 6.2$$

$$V = A(-0.326AL_{\min} + 0.545AL_{\max}) \quad R^2 = 0.87 \quad 6.3$$

kırılmış örnekler için

$$V = A(0.040CL_{\min} + 0.240CL_{\max}) \quad R^2 = 0.85 \quad 6.4$$

Burada,

A : alan

AL_{min} : minimum görünür uzunluk

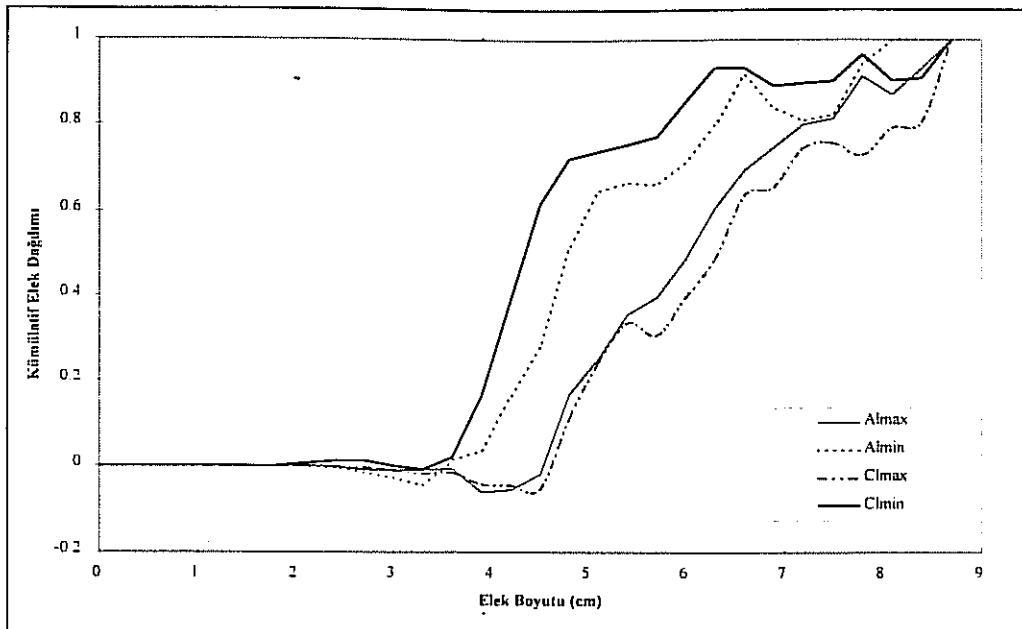
AL_{max} : maksimum görünür uzunluk

CL_{min} : minimum cord boyu

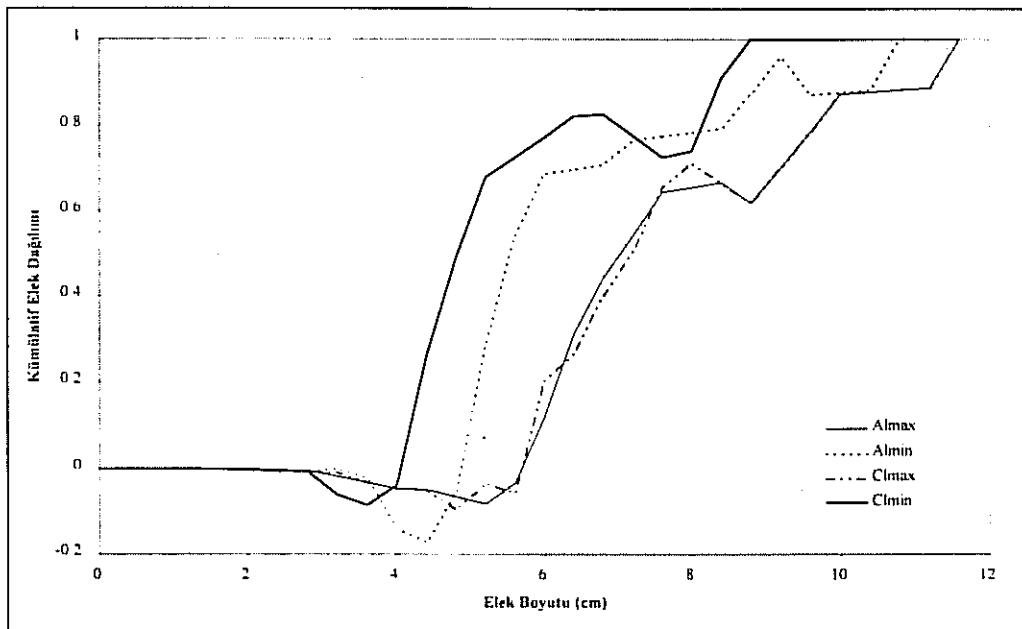
CL_{max} : maksimum cord boyu

Elek boyut dağılımı ve populasyon momentleri King ve moment yöntemleri kullanılmak suretiyle bulunmuş ve elek boyut dağılım sonuçları Örnek I ve II için sırasıyla Şekil 6.2 ve 6.3'te, populasyon moment sonuçları ise sırasıyla Tablo 6.3 ve 6.4'te verilmiştir.

Şekil 6.4 ve 6.5'te laboratuvara gerçekleştirilen ve ROCKSIZE tarafından cord boyu ve görünür uzunluğa göre hesaplanan elek analiz sonuçları her iki örnek için sırayla verilmiştir. Bu sonuçlara göre ROCKSIZE kullanılarak bulunan değerlerin gerçek değerlere çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucunda sistemin arazi uygulaması için hazır hale geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.2 Örnek I için King yöntemi uygulaması



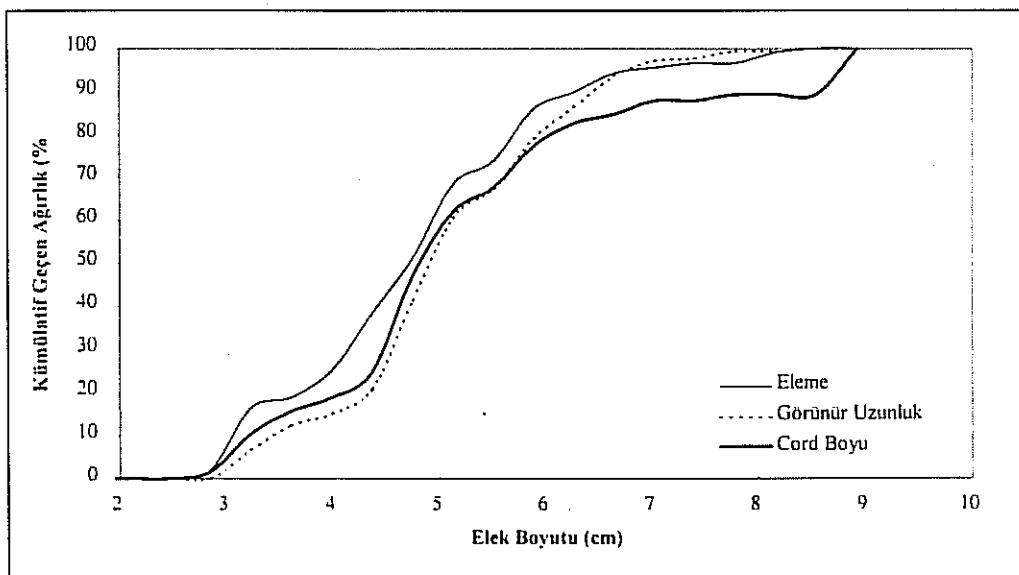
Şekil 6.3 Örnek II için King yöntemi uygulaması

Tablo 6.3 Örnek I için moment yöntemi sonuçları

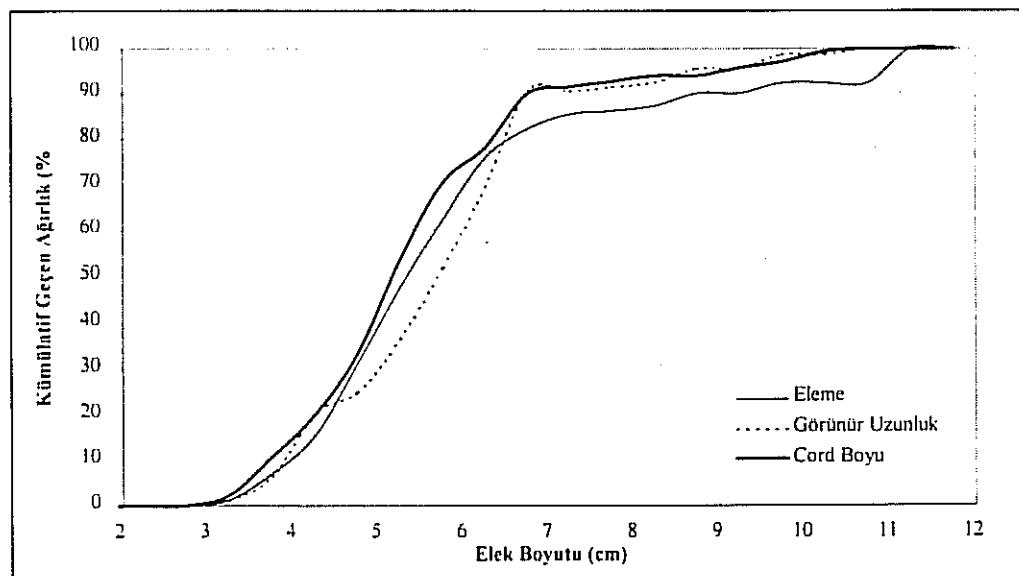
	Birim	Ortalama	Varyans
Minimum Görünür Uzunluk	cm	6.56	38.59
Maksimum Görünür Uzunluk	cm	7.61	51.23
Minimum Cord Boyu	cm	5.98	33.04
Maksimum Cord Boyu	cm	8.00	57.03

Tablo 6.4 Örnek II için moment yöntemi sonuçları

	Birim	Ortalama	Varyans
Minimum Görünür Uzunluk	cm	7.59	52.97
Maksimum Görünür Uzunluk	cm	9.14	95.70
Minimum Cord Boyu	cm	6.49	38.99
Maksimum Cord Boyu	cm	9.13	75.58



Şekil 6.4 Örnek I için laboratuvar elemesinden ve empirik yaklaşımlardan elde edilen elek analizi



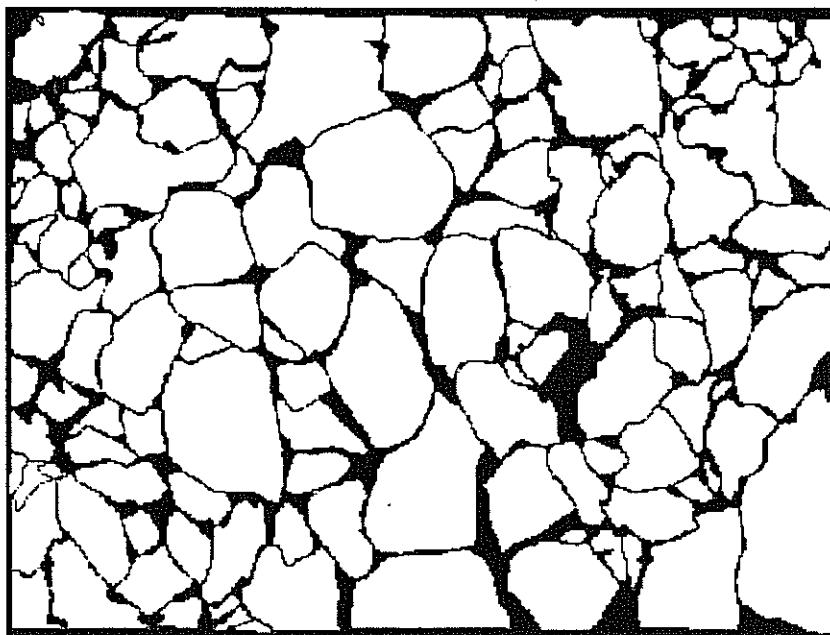
Şekil 6.5 Örnek II için laboratuvar elemesinden ve empirik yaklaşımlardan elde edilen elek analizi

6.2 Arazi Uygulaması

Arazi çalışmaları Ankara yakınlarında, Baştaş'a ait kireştaşı ocağında gerçekleştirılmıştır. Aynada gerçekleştirilen patlatmadan alınmış bir görüntü şekil 6.6'da verilmiştir. Alınan bu görüntüde 133 adet kaya parçası tespit edilmiş (Şekil 6.7) ve birim ağırlığı 2.7 gr/cm^3 olarak bulunmuştur. Bununla ilgi 2-D ölçüm birimleri Tablo 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.6 Arazi görüntüsü

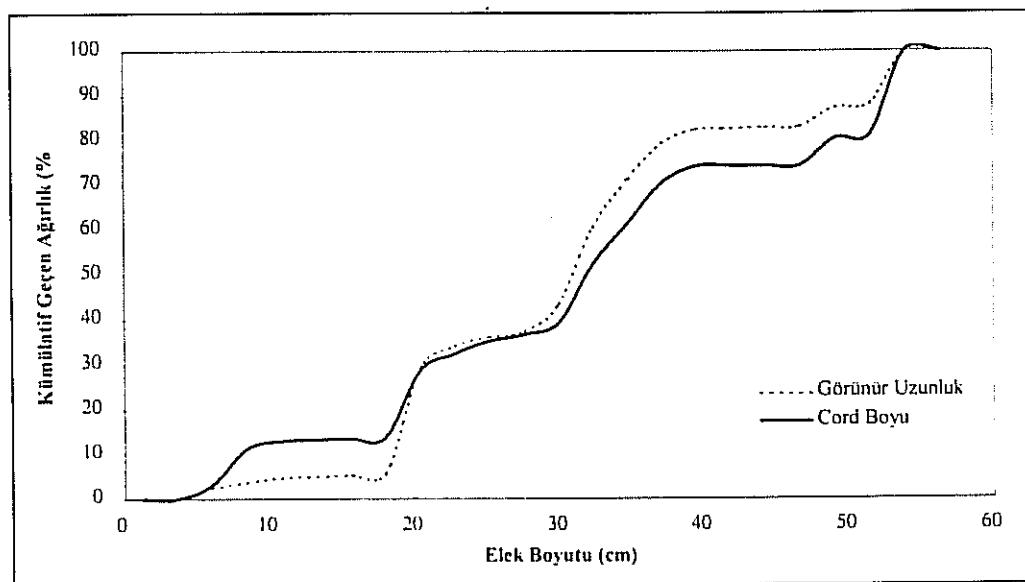


Şekil 6.7 İşlenmiş arazi görüntüsü

Tablo 6.5 Arazi örneği için istatistiksel sonuçlar

	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Varyans
Hesaplanan Alan	cm ²	12.30	2330.95	415.52	220.52	461.59	213068
Eşdeğer Çap	cm	3.96	54.48	19.97	16.76	11.46	131
Minimum Görünür Uzunluk	cm	3.02	49.88	19.41	16.63	10.49	110
Maksimum Görünür Uzunluk	cm	6.05	84.65	26.60	22.67	14.05	197
Minimum Cord Boyu	cm	3.02	40.81	14.42	12.09	8.62	74
Maksimum Cord Boyu	cm	4.53	83.14	26.33	22.67	14.77	218

Kırılmış malzemenin arazideki patlatılmış malzemeyi daha iyi temsil ettiği düşünüldüğünden, Örnek II'den elde edilen empirik hacim ilişkisi arazi çalışmasında uygulanmıştır. Cord boyu ve görünür uzunluk kullanılarak araziden alınan görüntü örneği için analiz sonucu şekil 6.8'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.8 Arazi görüntüsü için empirik yaklaşımlardan elde edilen elek analizi

7. Sonuçlar ve Öneriler

Laboratuvara ve arazi şartlarında, patlatma yığınlarının parça boyut dağılımını sayısal görüntü işleme tekniği ile yapabilecek bir yöntem ve bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen görüntü işleme tekniği iki boyutlu olup, parça boyut tayini, King (1982) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Sonra, parça boyut dağılımı iki boyutlu ölçümlerden, parça dağılım momentlerinin bulunmasıyla tanımlanmıştır. Bu yöntemler, öncelikle, kesit almanın kolay olduğu ve malzeme dağılımının homojen olduğu ögütme devreleri için geliştirilmiştir. Bu şartları, patlatma yığınları gibi heterojen malzemelerde elde etmek o kadar kolay olmamakla birlikte, yığınlara da uygulamak mümkündür.

Yukarıdaki kısıtları, örnekleme sayısını artırarak ve patlatmanın değişik aşamalarında kesitler alarak ortadan kaldırmak mümkündür. Sistem, görüntü işleme sırasında madencilik faaliyetlerini aksatmayacak şekilde tasarımılmıştır. Ayrıca, sistemin parça boyut dağılımı tayininde uzman tecrübe minimumdur.

Yukarıdakilere ilave olarak, geliştirilen sistemle ilgili aşağıdaki sonuç ve önerileri de söylemek mümkündür.

- i. Yiğinların parça boyut dağılım tayininde en ekonomik ve uygun yöntem, 2-D sayısal görüntü işleme tekniğidir.
- ii. Elek boyut dağılım tayininde, King ve moment yöntemleri kullanılmış ve laboratuvar elek boyut analizinde iyi sonuçlar alınmıştır.
- iii. 15 adet kenar tanımlama yönteminden en iyisi Canny'nin (1986) algoritması olduğundan, parçaların nihai konturlarının çıkartılmasında bu yöntem diğerleri ile birlikte kullanılmıştır.
- iv. Görüntü kuvvetlendirilmesinde; histogram eşitlemesinin, görüntülerin ayrıntısını histogram hiperbolizasyon tekniğinden daha iyi anlaşılır hale getirdiği görülmüştür.
- v. Görüntülerin filtre edilmesinde, yüksek geçişli (HP2) filtre maskesinin, gürültü ve bozuşmaları ortadan kaldırın en uygun yöntem olduğu anlaşılmıştır.
- vi. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, 2-D görüntü işlemi; kamyonların yüklerinin doğrudan 3-D parça boyut dağılım analizlerinin bulunması yönünde genişletilebilir.
- vii. King yönteminde, $C(\alpha, \beta)$ parça şekli için düzeltme faktörüdür. Farklı kaya şekilleri (tabakalı, laminalı) için farklı $C(\alpha, \beta)$ değerlerinin bulunması önerilir.

Kaynaklar

- Adel, G.T., Chandler, M.A., Yoon, R.-H., Gutierrez E.C. and Richardson, J.N., 1993. Phosphate Analysis by Optical Processing: Sensor Development and In-plant Testing, Emerging Computer Techniques for the Minerals Industry, Ed. Scheiner, B.J., Stanley, D.A. and Karr, C.L., pp. 185-194.
- Anonim, 1990. *Sony SSC-M370CE CCD Black and White Video Camera Operating Instructions*, Sony Corporation, Japan, p. 62.
- Anonim, 1991. *Amiga User's Guide for 1084S Color Monitor*, Commodore Business Machines Limited, Korea, p. 9.
- Anonim, 1992a. *User Manual for DT2851 High Resolution Frame Grabber*, Data Translation Inc., USA.
- Anonim, 1992b. *IRISutor User Manual*, Data Translation Inc., USA.
- Anonim, 1994. *Samsung CK 5062 Color TV User's Manual*, IES A.S., Turkey, p. 12 (in Turkish).
- Anonim, 1988. *Panasonic M7 VHS Movie Camera Operating Instructions*, Matsushita Electric Industrial Co.Ltd., Japan, p. 127.
- Aswegen, H.V. and Cunningham, C.V.B., 1986. The Estimation of Fragmentation in blast Muckpiles by Means of Standard Photographs, *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 86, no.12, pp. 469-474.
- Bedair, A., Daneshmend, L., Hendricks, C. and Scoble, M., 1994. Automated Image Segmentation and Measurement for Rock Fragmentation Analysis, 6th Canadian Symposium on Mining Automation AUTOMIN 6, pp. 50-56.
- Berger, G.F.M., 1985. *Software for a Particle - Size Analyser Based on Image Techniques*, Master of Science Dissertation, University of The Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, p. 206.
- Canny, J., 1986. A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Trans.. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8, 6, pp. 679-698.
- Carlsson, O. and Nyberg, L., 1983. A Method for Estimation of Fragment Size Distribution with Automatic Image Processing, First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-1, Ed. Holmberg, R. and Rustan, A., pp. 333-345.
- Cheimanoff, N.M., Chavez, R. and Schleifer, J., 1993. FRAGSCAN: A Scanning Tool for Fragmentation After Blasting, Proceedings of the Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting - FragBlast-4, Ed. Rosmanith H., pp. 325-330.

- Cheung, C.C. and Ord, A., 1990. An on Line Fragment Size Analyser Using Image Processing Techniques, Third International symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-3, pp. 233-237.
- Chung, S.H. and DuPlessis, A., 1993. Developments in the Computer Based 3-D Analysis System, *Innovative Mine Design for the 21 st Century*, pp. 787-793.
- Clark, G.B., 1987. *Principles of Rock Fragmentation*, John Wiley and Sons, New York.
- Cunningham, C., 1983. The Kuz-ram Model for Prediction of Fragmentation from Blasting, First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-1, Ed. Holmberg, R. and Rustan, A., pp. 439-453.
- Cunningham, C.V.B., 1983. Fragmentation Estimations and the Kuz-ram Model - Four Years On, First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-1, Ed. Holmberg, R. and Rustan , A., pp. 475-483.
- Dick, R.A., Fletcher, L.R. and D'Andrea, D.V., 1973. *A Study of Fragmentation from Bench Blasting in Limestone at a Reduced Scale*, USBM Report 7704, pp 1-22.
- Galladhar, E., 1976. *Opto-electronic Coarse Particle Size Analyser to Industrial Measurement*, Ph.D. Dissertation, University of Queensland, Asutralia.
- Gama, D.C., 1974. The Size of the Largest Fragment in Rock Blasting, Proceedings 3rd Congress International Society of Rock Mechanics, vol.2, pp.1343-1347.
- Gama, D.C. and Jimeno, C.L., 1993. Rock Fragmentation Control for Blasting Cost Minimization and Environmental Impact Abatement, Proceedings of the Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting - FragBlast-4, Ed. Rosmanith H., pp. 273-280.
- Gonzalez, R.C. and Woods, R.E., 1992. *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing, USA, p. 716.
- Grainger, K.M. and Paine, G.G., 1990. The Development and Application of a Photographic Fragmentation Sizing Assessment Technique for Blast Analysis, Third International symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast--3, pp. 255-258.
- Grant, J.R. and Dutton, A.J., 1983. Development of a Fragmentation Monitoring System for Evaluating Open Stope Blast Performance at Mount Isa Mines, First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-1, Ed. Holmberg, R. and Rustan, A., pp. 637-652.
- Hilliard, J.E., 1968. Dirct Determination of the Moments of the Size Distribution of Particles in Opaque Sample, *Trans. of the Metallurgical Society of AIME*, Vol.242, pp. 1373-1380.

- Hjelmberg, H., 1983. Some Ideas on How to Improve Calculations of the Fragment Size Distribution in Bench Blasting, First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-1, Ed. Holmberg, R. and Rustan, A., pp. 469-495.
- Hunter, G.C., McDermott, C., Miles, N.J., Singh, A. and Scoble, M.J., 1990. A Review of Image Analysis Techniques for Measuring Blast Fragmentation, *Mining Science and Technology*, 11, pp. 19-36.
- Hussain, Z., 1991. *Digital Image Processing*, Ellis Horwood Ltd., England, p. 406.
- Ji, Q. and Snaford, R.L., 1993. Autonomous Excavation of Fragmented Rock Using Machine Vision, Emerging Computer Techniques for the Minerals Industry, Ed. Scheiner, B.J., Stanley, D.A. and Karr, C.L., pp. 221-228.
- Kamewada, S. and Gi, H.S., 1990. Application of Borehole Image Processing System to survey of Tunnel, *Rock Joints*, Ed. Barton and Stephansson , pp. 51-58.
- Kawamoto, T., Kyoya, T. and Ichikawa, Y., 1990. Evaluating Material Properties of Faulted Zones by Image Analysis and Numerical Methods, *Rock Joints*, Ed. Barton and Stephansson , pp. 59-66.
- Kemeny, J.M., Devgan, A., Hagaman, R.M., and Wu X., 1992. Analysis of Rock Fragmentation Using Digital Image Processing, *Journal of Geotechnical Engineering*, pp. 1144-1160.
- King, R.P., 1982. Determination of the Distribution of Size of Irregularly Shapd Particles from Measurements on sections or Projected Areas, *Powder Technology*, 32(1982)87-100.
- King, R.P., 1984. Measurement of Particle Size Distribution by Image Analyser, *Powder Technology*, 39(1984)279-289.
- Kirsh, R.A., 1971. Computer Determination of the Constituent Structure of Biological Images, *Comput. Biomed. Res.*, 4, pp. 315-528.
- Kuznetsov, V.M., 1973. The Mean Diameter of The Fragments Formed by Blasting Rock, *Soviet Mining Science*, 2, pp. 144-148.
- Lange, T.B., 1990. *Measurement of the Size Distribution of Rocks on a Conveyor Belt Using Machine Vision*, Ph.D. Dissertation, University of The Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, p. 202.
- Lin, C.L., Yen, Y.K. and Miller, J.D., 1993. Evaluation of a Pc Image-based On-line Coarse Particle Size Analyzer, Emerging Computer Techniques for the Minerals Industry, Ed. Scheiner, B.J., Stanley, D.A. and Karr, C.L., pp. 201-210.

- MacLachlan, R.R. and Singh, A., 1989. Photographic Determination of Oversize Particles in Heaps of Blasted Rock, *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 89, no.5, pp. 147-152.
- Missiaen, J.M. and Thomas, G., 1989. The Miles Method for the Determination of Particle Size Distribution by Automatic Image Analysis, *Powder Technology*, 57(1989)165-170.
- Montoro, J.J. and Gonzalez, E., 1993. New Analytical Techniques to Evaluate Fragmentation Based on Image Analysis by Computer Methods, Proceedings of the Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting - FragBlast-4, Ed. Rosmanith H., pp. 309-316.
- Nie, S. and Rustan, A., 1987. Techniques and Procedures in Analysing Fragmentation After Blasting by Photographic Method, pp. 102-113.
- Noren, C.H. and Porter, D.D., 1974. A Comparison of Theoretical Explosive Energy and Energy Measured Underwater with Measured Rock Fragmentation, Proceedings of the 3rd Congress of the ISRM 2B, pp. 1371-1376.
- Ouchterlony, F., Niklasson, B. and Abrahamsson, S., 1990. Fragmentation Monitoring of Production Blasts at MRICA, Third International symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-3, pp. 283-289.
- Paley, N., Lyman, G.J. and Kavetsky, A., 1990. Optical Blast Fragmentation Assessment, Third International symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-3. pp. 291-301.
- Pratt, W.K., 1991. *Digital Image Processing, Second Ed.*, John Wiley and Sons, USA, p. 698.
- Rholl, S.A., Grannes, S.G. and Stagg, M.S., 1993. Photographic Assessment of the Fragmentation Distribution of Rock Quarry Muckpiles, Proceedings of the Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting - FragBlast-4, Ed. Rosmanith H., pp. 501-506.
- Robinson, G.S., 1977. Edge Detection by Compass Gradient Masks, *Computer Graphics and Image Processing*, 6, pp. 429-501.
- Rosin-Rammler, 1933. *J. Inst. Fuel.* 7, pp.29.
- Russ, J.C., 1995. *The Image Processing Handbook*, Second Ed., CRC Press, USA, p. 674.
- Scott, A., Chitombo, C. and Kleine, T., 1993. The Challenge of the Prediction and Control of Fragmentation in Mining, Proceedings of the Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting - FragBlast-4, Ed. Rosmanith H., pp. 507- 517.

- Serra, J., 1989. *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Vol. 1, Academic Press, England, p. 610.
- Serra, J., 1992. *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Vol. 2, Academic Press, England, p. 409.
- Smith, M.L. and Kemeny, J.M., 1993. Blast Fragmentation Model Evaluation Via Image Analysis, Emerging Computer Techniques for the Minerals Industry, Ed. Scheiner, B.J., Stanley, D.A. and Karr, C.L., pp. 229-238.
- Stagg, M.S. and Rholl, S.A., 1987. Effects of Accurate Delays on Fragmentaion for Single-Row Blasting in a 6.7-M (22-Ft) Bench, Second International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-2, Ed. Fourney, W.L. and Dick, R.D., pp. 210-223.
- Stagg, M.S., Otterness, R.E. and Siskind, D.E., 1992. Effects of Blasting Practices on Fragmentation, Proceedings of the 33rd US. Symposium on Rock Mechanics, pp. 313-322.
- Vogt, W. and Aßbrock, O., 1983. Digital Image Processing as an Instrument to Evaluate Rock Fragmentation by Blasting in Open Pit Mines, Proceedings of the Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting - FragBlast-4, Ed. Rosmanith H., pp. 317-324.
- Wang, W., 1995. Automatic Selection of Aggregate Images From a Moving Conveyor Belt, Mine Planning and Equipment Selection, Ed. Singhal, R.K., et al., pp. 553-558.
- Wigeson, D., 1987. *Fragmentation Analysis Using Computer Vision Techniques*, Master of Science Dissertation, University of The Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, p. 99.
- Yachner, L., Gonzales, C., Von Borries, G. and Nobile, R., 1985. Coarse Particle Size Distribution Analyser, Proc. of IFAC Symp. on Automation for Mineral Resource Development, Brisbane Queensland, Australia.
- Zhang, T.Y. and Suen, C.Y., 1984. A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns, *Comm. ACM*, Vol. 27, No. 3, pp. 236-239.

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU	
1- Proje No: YBAG - 117	2- Rapor Tarihi: 15 Şubat 1996
3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15 Ağustos 1993 - 15 Ağustos 1995	
4- Projenin Adı: Patlatma Veriminin Tayini İçin Görüntü İzleme Sisteminin Geliştirilmesi	
5- Proje Yürüttücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Prof. Dr. Celal Karpuz Dr. Taylan Bozdağ Bülent Açıkgöz	
6- Projenin Yürüttüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü 06531 ANKARA	
7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Araştırma Fonu Projeleri (AFP) Orta Doğu Teknik Üniversitesi 06531 ANKARA	
8- Öz (Abstract): Maden Mühendisliğinde cevher ve/veya yantaşların ekonomik şekilde kazılabilmesinde en yaygın olarak başvurulan yol, patlatmadır. Madenciliğin işletme maliyeti genellikle delme, yükleme, taşıma, kırma/ögütme, cevher hazırlama giderlerine bağlıdır. Bütün bu maliyetler dolaylı ve dolaysız şekilde patlatmanın verimliliği ile ilişkilidir ve patlatma verimliliği parça-boyut dağılımına, yığının şekline lokasyonuna gevşekliğine ve yüklemeye karşı olan dirence bağlıdır. Bu parametreler içinde niteliksel olarak en kolay tayin edilebilecek olan parça boyut dağılımıdır ve kaya kütle özellikleri ile beraber patlatma tasarım değişkenlerine bağlıdır. Parça-boyut dağılımının tespitiinde en yaygın yöntem basit görsel inceleme yöntemidir. Parça-boyut dağılımı tayininde bazı başka yöntemler mevcut ise de bunlar daha çok uygulaması olamayan laboratuvar çapındaki çalışmalarlardır. Son yıllarda fotoğraf tekniklerine ve sonrasında görüntü değerlendirme tekniklerine dayalı sistemler geliştirilmektedir. Bu amaçla ilk olarak hem laboratuvar hem de arazi koşullarında görüntü biriktirilebilecek bir sistem geliştirilmiştir. Toplanan iki boyutlu görüntülerden üç boyutlu parça-boyut dağılımını, görüntü işleme ve stereoloji tekniklerinden faydalananlarak, hesaplayacak bir yazılım geliştirilmiştir. Sonuç olarak laboratuvar örnekleri ve Elmadağ yakınlarındaki BAŞTAŞ kireçtaşı ocağında yapılan değişik patlatma koşullarından elde edilen görüntülerin parça-boyut dağılımları sunulmuştur.	
Anahtar Kelimeler: Patlatma verimliliği, Parça-boyut dağılımı, Görüntü işleme	
9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler	
10- Bilim Dalı:	
Doçentlik B. Dalı Kodu: Uzmanlık Alanı Kodu:	607.01.01
ISIC Kodu:	
11- Dağıtım (*): <input type="checkbox"/> Sınırlı <input type="checkbox"/> Sınırsız	
12- Raporun Gizlilik Durumu: <input type="checkbox"/> Gizli <input type="checkbox"/> Gizli Değil	

(*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz