

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİNİN
YÜZEYDE GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMLERİ
İLE BELİRLENMESİ**

Bauyrzhan KURMANBEKOV

Temmuz, 2010

İZMİR

**SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİNİN
YÜZEYDE GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMLERİ
İLE BELİRLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı**

Bauyrzhan KURMANBEKOV

Temmuz, 2010

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BAUYRZHAN KURMANBEKOV, tarafından **YRD. DOÇ. DR. AHMET HAMDİ DELİORMANLI** yönetiminde hazırlanan “**SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİNİN YÜZEYDE GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI

Danışman

.....

Jüri Üyesi

.....

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, bu bilimsel çalıőmayı yöneten, maddi ve manevi destek veren danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hamdi Deliormanlı'ya sonsuz teşekkür ederim.

Çalıőmalarıma destek veren ve motive eden Dr. Doėan Karakuş'a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca yardımlarını esirgemeyen ve destek veren Sayın Doç. Dr. Turan Batar'a ve yurttaki arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalıőmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yardımlarını esirgemeyen Araç. Gör. Mehmet V. Özdoğan ve arkadaşım Maden Müh. Mustafa Emre Yetkin ve bana destek olan D.E.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

Tez çalıőmamı yaptığım süre boyunca anlayışını ve desteğini benden esirgemeyen, hayatı paylaőtığım, değerli eőim Zhazira Baybosynova'ya teşekkür ederim.

Bauyrzhan KURMANBEKOV

SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİNİN YÜZEYDE GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZ

Kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin tanımlaması mühendislik yapıları için önemlidir. Kaya kütlelerindeki süreksizlikle oluşan bloklar kayanın kayma faktörünü doğrudan etkiler. Bu çalışmanın asıl konusu olan görüntü analiz yöntemiyle süreksizlik özellikleri incelenmiştir.

Özellikle son yıllarda bilgisayar teknolojindeki gelişmelere paralel olarak görüntü alma teknolojinin gelişmesi, görüntü analiz metotlarının ölçüm ve gözlem yöntemi olarak çeşitli disiplinlerde kullanımını arttırmıştır. Görüntü analiz tekniklerinin kullanım alanlarının artmasının doğal sonucu olarak, görüntü işleme ve analiz teknikleri yoğun olarak araştırılmış ve yeni birçok teknik madencilik sektöründe kendine uygulama alanı bulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kaya kütlesi, süreksizlik, görüntü analizi.

DESCRIBING THE FEATURES OF DISCONTINUITIES IN SURFACE USING IMAGE ANALYSİNG METHOD

ABSTRACT

Describing the features of discontinuities in the rock mass has very important benefits. Because the blocks that consist of discontinuities in the rock mass, affects the slip factor of rock masses directly. We use image process method among them for investigating features of discontinuities.

The developments of the image capturing technology especially depending on the developments of the computer technology in recent years has increased the usage of the image processing methods as a method of measuring and observing in various research areas. As a natural result of the increasing usage of the image processing techniques, image processing and analyzing techniques have been investigated intensively and many new techniques have found the research areas for itself to be applied in sector of mining.

Key words: Rock mass, discontinuities, image analyzing.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ-MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA KAYAÇ MALZEMESİNİ VE KAYA KÜTLELERİNİ TANIMLAMA ÖLÇÜTLERİ ...	3
2.1 Kayaç Tanımlanması.....	3
2.2 Kaya kütlelerinin Türleri.....	3
BÖLÜM ÜÇ-KAYA KÜTLE KAVRAMI.....	7
3.1 Kaya Kütlelerinin tanımlanması.....	7
3.2 Kaya Kütlelerinin Özellikleri.....	8
3.3 Genel Hoek-Brown Kriteri.....	9
BÖLÜM DÖRT-KAYA KÜTLELERİNDE SÜREKSİZLİKLER.....	10
4.1 Süreksizlik tanımlanması.....	10
4.2 Renk.....	11
4.3 Doku Ve Yapı.....	11
4.4 Süreksizlik Durumu.....	13
4.5 Süreksizlik Açıklığı.....	13
4.6 Dolgu Malzemesi.....	14
4.7 Süreksizlik Türleri.....	15
4.8 Süreksizlik Aralığı.....	18

4.9 Süreksizliklerin Devamlılığı	21
4.10 Süreksizlik Takımı.....	23
4.11 Blok Boyutu	23
4.12 Jeoteknik Loglama.....	26
BÖLÜM BEŞ-SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİNİN YÜZEYDE TAYİN YÖNTEMLERİ.....	28
5.1 Hat Etüdü	28
5.2 Görüntü Analiz Yöntemleri	30
5.2.1 3D Lazer aletin kullanarak kaya kütlelerinde yerleşen süreksizliklerin karakterize etmek ve tanımlamak	30
5.2.2 Üç boyutlu kaya süreksizliklerinin yönelimin çatlak izleri sayısal görüntüyle tahmin etme	32
5.2.3 Geleneksel ve yüksek-net kameralı 3D görünüm sisteminin uygulaması ve yöntemi, temeli	35
5.2.4 Kaya pozlandırma fotoğrafların kullanarak süreksizlik iz haritasını yapmak	42
5.2.5 Kaya kütle pozlandırmasının görüntü analizinde süreksizlik izlerinin bulunması için yarı-otomatikleştirilmiş yöntemi.....	45
5.2.6 Jeolojik uygulama için fotogrametri: kaya kütlelerindeki süreksizlik yöneliminin otomatik elde etme	46
5.2.7 Lazer Tarama tekniğinin kullanarak otomatik olarak kaya yüzeyindeki süreksizlikleri ölçmek	47
5.2.8 3 D Lazer tarayıcısının kullanarak kaya kütlelerinin süreksizlik takımını tanımlama ve karakterize etmek	49
BÖLÜM ALTI-ÖRNEK ÇALIŞMA.....	51
6.1 Giriş	51
6.2 Kireçtaşı hakkında genel bilgi	52
6.3 Bölgenin jeolojik yapısı.....	55

6.4 İşletmeden uygulanan patlatma tekniği	56
6.5 Ortalama süreksizlikler arası mesafesi	58
6.6 Hacimsel eklem sayısının hesaplanması.....	58
6.7 Ortalama blok boyutu hesaplanması	59
6.8 Gül diyagramı ve stereonet	59
6.9 Görüntü analiz ile süreksizlik özelliklerinin belirlenmesinin örnek uygulanması	62
BÖLÜM YEDİ-SONUÇ	68
KAYNAKLAR	71

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Görüntü analiz metotlarının yerbilimlerinde kullanılması görüntü alma tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak gelişmektedir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere görüntü analizi teknikleri hızlı bir şekilde uyum sağlamakta ve daha gelişmiş algoritmalar bilgisayarlar ile görüntülere uygulanabilmektedir. Görüntü analizi teknikleri jeolojide ilk uygulamalarını boşlukların ölçümü ve tanımlanması alanında bulmuştur. Buna paralel olarak kaya yüzeylerinde bulunan süreksizlikler, tane büyüklükleri, renk gibi görüntünün tanımlanabilen farklı özellikleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Birçok alanda kullanılan görüntü işleme teknikleri ile, mikroskop altındaki partikül boyutları, şekil analizleri gibi uygulamalar geliştirilmiştir. Ayrıca 2 boyutlu farklı açılardan alınan görüntülere yapılan analizlerle hacim hesaplarına yönelik çalışmalarda yapılmıştır. (Lindqvist & Akesson, 2001) .

Kaya kütlelerinin süreksizlik analiz tekniklerinin arazi uygulamalarında bir takım zorluklar ve sakıncaları olabilir. Bunlar;

a) Bu yöntemlerin arazi uygulamalarında fazla miktarda bilgi toplamak, depolamak ve analiz etmek gerekebilir. Bu işlemlerin elle yapılması hata oranını arttırabilir.

b) Süreksizlik analizlerinde kaya kütleleri (şev, mostra, tünel aynası, .vb.) ile fiziksel temasta bulunulması gerekmektedir. Bu durum her zaman mümkün olmamakta bazı durumlarda tehlikeli olmaktadır.

c) Süreksizliklerin tespitinde kullanılan mekanik cihazların kalibrasyonlarından, teknik kapasitesinden veya kullanıcıdan kaynaklanan hatalar olabilir.

d) Süreksizlik analizlerinin arazide yapılması zaman alan çalışmalardır. Özellikle süreksizlik analizlerinin hızlı yapılması ve bu analiz sonuçlarına göre planlama yapılması gerekli durumlarda konvansiyonel metotlar yetersiz kalmaktadır. Örneğin bir tünel aynası veya yeraltı maden işleminde süreksizlik analizine göre kaya kütlelerinin özelliklerinin belirlenmesi ve tahkimat planlama çalışmasında bu analizlerin hızlı bir şekilde yapılması gerekmektedir.

e) Bu çalışmalarda bilgi toplanması analiz edilmesi maliyeti fazla olan işlemlerdir.

Bu nedenlerden dolayı alternatif ölçüm yöntemi olarak kaya kütlesi ile fiziksel temas sağlamadan hızlı ve emniyetli bir şekilde analiz yapılmasını temin etmek amacıyla dijital görüntü analiz teknikleri kullanılabilirliği bu çalışmada araştırılmıştır. Ayrıca bu konunun temellerini atan A. Hadson ve P. Harrison günümüze uzanan bilgileri ışığında mühendisler olarak yararlanabilmekteyiz. Günümüz teknolojisi ile bu bilgilerin önemi artmakta ve gelişimini devam ettirmektedir.

BÖLÜM İKİ

MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA KAYAÇ MALZEMESİNİ VE KAYA KÜTLELERİNİ TANIMLAMA ÖLÇÜTLERİ

2.1 Kayaç tanımlaması

Kayaçların yapısal ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi kaya yapıları kullanılarak yapılan uygulamalar açısından hayati önem taşımaktadır. Mühendislik işlerine ve kayaçların mühendislik özelliklerine etki yapan en önemli faktör litoloji (kaya türü) ve jeolojik yapıdır. Her türlü yapının emniyeti ve maliyeti bu iki özelliğin iyi bilinmesine bağlıdır. Kayaçlar üzerinde yapılan uygulamaları yeraltı, yerüstü ve madencilik faaliyetleri olarak sınıflanabilir. Bu yapılar farklı amaçlar için inşa edilse de birbirleriyle ortak olan yönü kayaçlarla etkileşim halindedir ve yapılış amaçlarına göre bu etkileşimin süresi değişebilir.

2.2 Kaya kütesinin türleri.

Kaya kütleleri, yapısal ve mekanik özellikleri açısından başlıca dokuz ana gruba ayrılırlar (Goodman, 1995). Her kaya kütesi grubunun genel özellikleri aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

Eklemsiz (masif) kaya kütleleri: Bu tür kaya kütleleri, bozunma zorunun altında bulunurlar ve örneğin masif kumtaşları ve granitik kayalar ile foliasyon içermeyen temel kaya kütleleri bu grupta yer alırlar (Şekil 2.1a). Masif kaya kütleleri; sürekli, homojen, izotrop ve doğrusal elastik davranış gösteren kayalar olarak kabul edilirler.

Kısmen eklemli kaya kütleleri: Bunlar; üçten az sayıda, devamlılığı fazla eklem setlerini içeren ve kazıldıkları zaman münferit blokların elde edilemediği kaya kütleleridir (Şekil 2.1b). Bu tür kaya kütleleriyle ilgili mühendislik hesaplamalarında, özellikle kırık mekaniğinin esaslarından yararlanır.

Kısmen bloklı kaya kütleleri: Bu tür kaya kütleleri; açık veya yumuşak malzeme tarafından doldurulmuş, sayısı üçten az olan eklem setlerinin yanı sıra, kapalı ikincil süreksizlikleri de içerirler (Şekil 2.1 c). Söz konusu kapalı eklem setlerinden birinin deformasyona bağlı olarak açılması halinde, kaya kütlelerinde gerçek anlamda bir bloklaşma gelişebilir. Süreksizliklerin yeniden açılması konusunda bazen sayısal modelleme veya matematiksel analiz yöntemleri kullanılarak çalışılabilir.

Bloklı kaya kütleleri: İyi gelişmiş, açık veya yumuşak dolgu içeren, devamlılığı yüksek, üçten fazla sayıda süreksizlik takımı içeren kaya kütleleri bloklı kaya kütleleri olarak tanımlanırlar (Şekil 2.1d). Bu tür kaya kütleleri çok sayıda süreksizlik tarafından bölünmüş olduğu için, kazı sırasında blok elde edilmesi kolaydır.

Çok gözenekli kaya kütleleri: Bu tür kaya kütlelerinde önemli miktardaki gözeneklerin; poro-elastisite, akışkan içeriği, akışkanın hareketi ve gerilme altında gözeneklerin tahrip olması gibi nedenlerle kayanın mekanik davranışını etkilerler (Şekil 2.1e). Çok gözenekli kaya kütlelerinde sürekli cisimler mekaniğinin ilkeleri uygulanabilir.

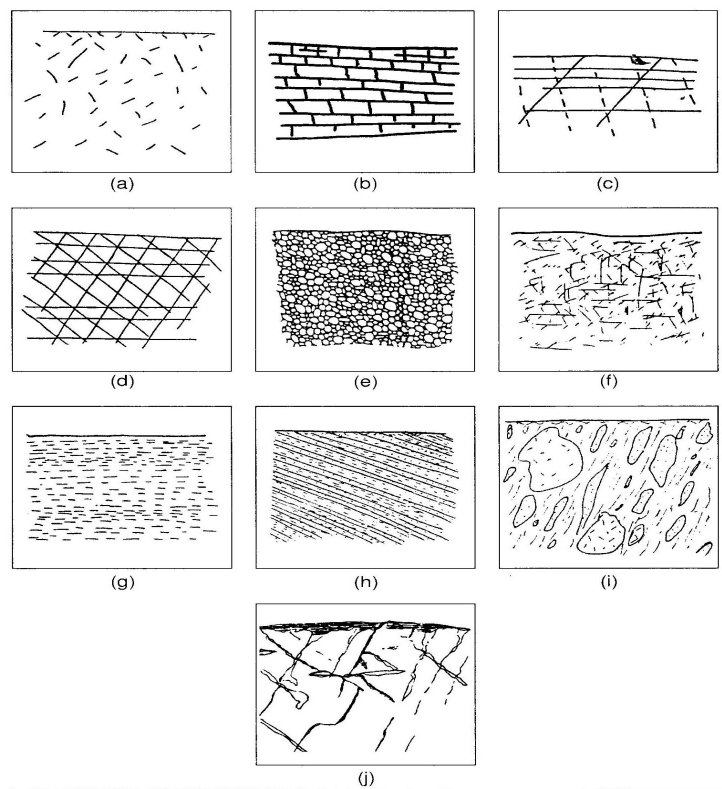
İleri derecede fisürlü kaya kütleleri: Fisürlü kayalar, önemli ölçüde kırılganlığa ve yönserliğe (anizotropiye), ayrıca tüm mekanik özellikleri açısından saplamalara neden olan, sık aralıklı küçük süreksizlikler içerirler.(Şekil 2.1f). Bu tür kaya kütlelerinden örnek alımı ve deney yapılması oldukça güç olup, bunlar mekanik davranışları açısından sıkı-fisürlü killerle benzerlik gösterirler.

Sıkışan ve şişen kaya kütleleri: Bu tür kaya kütleleri, suyla temas ettiklerinde ani veya gecikmeli olarak çatlayarak hacim değişimine uğrarlar ve aktif kil minerallerini içerirler. (Şekil 2.1). Ayrıca yüzeyde atmosferik koşullar altında bozunmaya uğrayan bu tür kaya kütlelerine zemin mekaniğinin temel ilkeleri ve yöntemleri uygulanır.

Aykırı kayaların karışımı: Bu grupta yer alan kaya kütleleri; düzenli bir ardalaşmaya sahip litolojik birliktelikleri (örneğin, ritmik tabakalı kumtaşı ve şeyl;

Şekil 2.1h), izotop ve gelişigüzel karışımları (örneğin, çekirdek taşlarıyla birlikte saprolit) ve foliasyonlu gelişigüzel karışımları (örneğin, serpantin ve melanj; Şekil 2.1i) içerebilir. Günümüzde bu tür kayaların mekanik anlamda değerlendirilmesi için geliştirilmiş ayrıntılı yöntemler ve sınıflama sistemleri mevcut olmamakla birlikte, eşdeğer malzeme modellerinin (fiziksel modeller) kullanıldığı özel yöntemler önerilmiştir

Boşluklu kaya kütleleri: Bu grupta çözünebilir bir çimento ile tutturulması kırıntılı sedimanter kayalar yer almaktadır (Şekil 2.1j). (Ulusay ve Sönmez, 2007).



Şekil 2.1 Kaya kütleleri türleri: (a) masif kaya, (b) kısmen eklemli kaya kütleleri, (c) kısmen bloklı kaya kütleleri, (d) bloklı kaya kütleleri, (e) çok gözenekli kaya kütleleri, (f) ileri derecede fisürlü kaya, (g) sıkışan ve şişen kaya, (h) düzenli karışımlar, (i) düzensiz karışımlar (melanj) ve (j) boşluklu kayalar (Ulusay ve Sönmez, 2007)

BÖLÜM ÜÇ

KAYA KÜTLE KAVRAMI

3.1 Kaya kütlelerinin tanımlaması

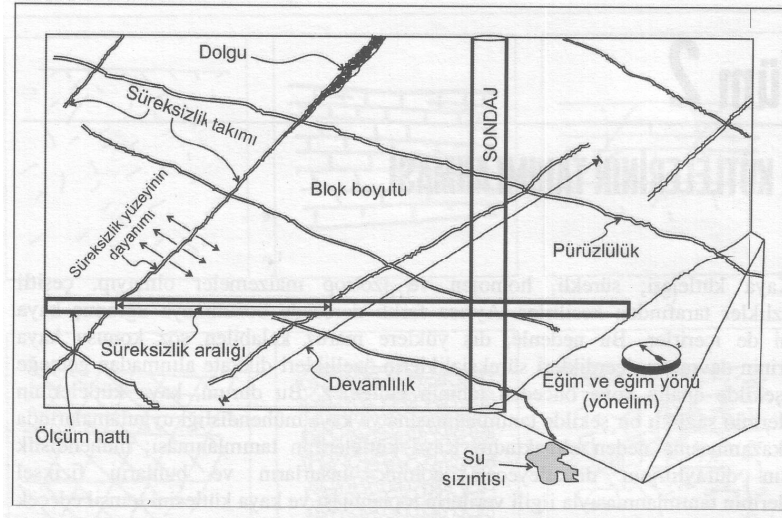
Kaya kütleleri; sürekli, homojen ve izotrop malzemeler olmayıp, çeşitli süreksizlikler tarafından kesilirler. Ayrıca farklı derecede bozunmaya uğramış kaya türlerini de içerirler. Bu nedenle, dış yüklere maruz kalabilen söz konusu kaya kütlelerinin davranışı, içerdikleri süreksizliklerin özellikleri dikkate alınmadan gerçeğe yakın şekilde analiz veya önceden tahmin edilemez. Bu durum, kaya kütlelerinin özelliklerinin sağlıklı bir şekilde tanımlanmasına ve kaya mühendisliği uygulamalarında önem kazanmasına neden olmaktadır. Kaya kütlelerinin tanımlanması; mühendislik yapısının duraylılığını denetleyecek jeolojik unsurların ve bunların fiziksel özelliklerinin tanımlanmasıyla ilgili verilerin toplanması ve kaya kütlelerini temsil edecek bir modelin oluşturulması işlemidir. Bu işlemde en önemli aşama, süreksizliklere ait özelliklerin tanımlanmasıdır. Süreksizliklerin özellikleri aşağıda belirtilen amaçlara yönelik olarak tayin edilir.

- (a) Jeolojik yapının ortaya konulması,
- (b) Kaya kütlelerinin mühendislik sınıflaması ve
- (c) Kaya kütlelerinin duraylılığı (örneğin, şev duraylılığı veya yer altı açıklıklarının tavanlarında oluşan blokların duraylılığı vb.), deformasyonu, sıvı iletimi, patlatma ve destek tasarımı gibi uygulamalarda kullanılan kinematik, analitik, sayısal veya görgül yöntemler için veri sağlanması.

Süreksizliklerin özellikleri yüzleklerde (mostrada) veya sondaj karotlarında değişik ölçüm tekniklerinden yararlanarak tayin edilir veya tanımlanır. Kaya kütlelerinin tanımlanması amacıyla, süreksizliklerin aşağıda belirtilen ve Şekil 2.1'deki blok diyagramda şematik olarak gösterilen fiziksel parametreleri belirlenir (İSRM, 1981):

- (a) Süreksizliğin türü
- (b) Süreksizlik aralığı
- (c) Süreksizliğin devamlılığı
- (d) Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı
- (e) Süreksizlik yüzeyinin açıklığı
- (f) Dolgu malzemesinin özellikleri
- (g) Süreksizlik yüzeyinin dayanımı ve bozunmanın derecesi
- (h) Süreksizlik yüzeyindeki su durumu
- (i) Süreksizliğin yönelimi ve süreksizlik seti (takımı) sayısı
- (j) Blok boyutu

Yukarıda belirtilen özelliklere ilişkin tanımlama, ölçüm ve değerlendirme yöntemleri aşağıdaki bölümlerde her parametre için ayrı verilmiştir.



Şekil 3.1 Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri (Hudson, 1989)

3.2 Kaya kütlelerinin özellikleri

Hoek ve Brown tarafından çatlak kaya kütlelerinin dayanımının hesaplanmasında, kaya kütlelerinin bloklandırılmasına ve bu bloklar arasındaki yüzey koşullarının hesaplanmasına yönelik özel bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem de Hoek-Brown yenilme kriteri olarak isimlendirilmiştir.

3.3 Genel Hoek-Brown kriterisi

Çatlak kaya kütleleri için Genel Hoek-Brown yenilme kriteri şöyle tanımlanmaktadır:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (3.1)$$

Burada, σ'_1 ve σ'_3 maksimum ve minimum yenilmenin etkini; m_b - kaya kütlesi için Hoek-Brown sabit değeri; s ve a ise kaya kütlelerinin özelliklerine bağlı olan sabit değeri, σ_{ci} -bozulmamış kaya parçasının tek eksenli basınç dayanımıdır.

Normal ve makaslama durumu Balmer denklemlerle gösterilmektedir:

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} * \frac{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} - 1}{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} + 1} \quad (3.2)$$

$$\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \frac{\sqrt{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3}}}{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} + 1} \quad (3.3)$$

Buradan

$$\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} = 1 + am_b \left(\frac{m_b \sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{a-1} \quad (3.4)$$

Çatlak kaya kütlelerinin deformasyon ve dayanımının belirlenmesine yönelik Hoek-Brown yenilme kriterini kullanmak için, kaya kütlelerinin üç özelliğini bilmek gerekir.

Bunlar:

- σ_{ci} bozulmamış kaya parçasının tek eksenli basınç dayanımı
- m_i bozulmamış kaya parçaları için Hoek-Brown sabit değeri
- Kaya kütleleri için Jeolojik Dayanım İndeks değeri.

BÖLÜM DÖRT

KAYA KÜTLELERİNDEKİ SÜREKSİZLİKLER

4.1. Süreksizlik tanımlaması.

Kayaç malzemesi (intact rock material); sağlam, kırık veya süreksizlik içermeyen kaya elemanı şeklinde tanımlanır ve genellikle birim hacim ağırlık, deformabilite ve dayanım gibi özellikleriyle temsil edilir.

Süreksizlik; kaya kütlesi içindeki ihmal edilebilir düzeyde çekilme dayanımına sahip olan mekanik kırıklardır. Süreksizliklerin özellikleri, konumları ve yönelimleri kayacın özelliklerini ve dolayısıyla kaya mühendisliği uygulamalarını etkiler. Kaya kütlesi içinde süreksizliklerin üç boyutlu yapısı süreksizlik ağını oluşturur. Süreksizlikler, sağlam kayaca oranla düşük makaslama dayanımına sahiptirler ve sıvı iletme kapasiteleri yüksektir.

Kaya kütlesi, farklı yönlerde gelişmiş süreksizlikler (eklem, tabakalanma, şistozite, fay, makaslama zonu vd.) tarafından ayrılmış sağlam (intact) kayaç malzemesinin süreksizliklerle birlikte bulunduğu, diğer bir ifadeyle yapısal süreksizlikleriyle birlikte yerindeki kayayı tanımlayan bir sistemdir (Şekil 2.1). Kaya kütleleri tanımlanırken, içerdikleri süreksizliklerin fiziksel özellikleri belirli ölçütlere göre değerlendirilir.

Jeoteknik etütlerde kayaçlar, aşağıdaki belirli bir sırayla verilmiş olan özellikleri saptanarak tanımlanırlar. Bu tanımlamalar; jeoteknik log, saha defteri veya özel arazi formlarına kaydedilerek değerlendirilirler. Kaya tanımında,

- Renk
- Doku ve yapı
- Süreksizliklerin özellikleri
- Bozunmanın derecesi

- İkinci litolojik özellikler
- Kayacın adı
- Kayacın tahmini dayanımı
- Kayacın tahmini kütle geçirgenliği
- Özel mühendislik özelliklerini belirten diğer terimler esas alınır

4.2 Renk

Kayacın rengi niceleyici olarak “Kayaç Renk Kartı-Rock Colour Chart” kullanılarak tanımlanır. Bu amaçla, Geological Society of Amerika (ANON, 1963) ve Munsell (1941) tarafından hazırlanmış Kayaç Renk Kartları yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kartlarda yer alan çok sayıdaki renklerle kayacın orijinal renginin kolaylıkla karşılaştırılabilmesi ve her renge bir numara verilmiş olması, renk tanımında kolaylık sağlar. Renk kodlamasına ilişkin, Kayaç Renk Kart’ından alınmış birkaç örnek aşağıda sunulmuştur:

- 5 YR 6/1: Kahverengimsisi gri
- 5 GY 4/1: Koyu yeşilimsi gri
- 10 GY 5/2: Grimsi yeşil
- 10 GY 4/2: Koyu yeşilimsi kahverengi
- 10 Y 5/4: Açık zeytin yeşili
- 10 R 3/4: Koyu kırmızımsı kahverengi

4.3 Doku ve yapı

Doku, bir kayacı oluşturan bileşenlerin düzeni olarak tanımlanabilir. Dokunun tanımlanması amacıyla aşağıdaki terimler kullanılır:

- a) Klivajlı
- b) Foliasyonlu
- c) Masif
- d) Lineasyonlu

- e) Akma bantlı
- f) Damarlı
- g) Profiritik
- h) Homojen
- i) Sedimanter kayaçlar için;
 - düzensiz tabakalı
 - düzenli tabakalı
 - laminalı
 - çapraz laminalı
 - dereceli
 - çamur izli
 - dalga izli
 - kuruma çatlaklı

Yapı; tabkalanma, foliasyon, eklem ve klivaj gibi daha büyük ölçekli yapısal özellikleri ifade eder. Sedimanter kayaçlardaki tabkalanma ve laminasyon, metamorfik kayaçlardaki foliasyon, magmatik kayaçlardaki akma bantlaşması gibi düzlemsel yapılar arasındaki aralığın (spacing) tanınması için aşağıdaki çizelge kullanılır

Tablo 4.1 Süreksizlik aralıkları

Süreksizlik aralığı	Tanım
>2m	1. çok kalın tabakalı
600mm-2m	2. kalın tabakalı
200mm-600mm	3. orta tabakalı
60mm-200mm	4. ince tabakalı
20mm-60mm	5. çok ince tabakalı
6mm-20mm	6. yakın-sık (metamorfik ve mağmatik kayaçlar) Laminalı (sedimanter kayaçlar)
>6mm	7. ince laminalı (sedimanter kayaçlar) Çok yakın-sık (metamorfik ve mağmatik kayaçlar)

4.4 Süreksizlik durumu

Süreksizliğin durumun tanımlamak için aşağıda verilen tanımlar kullanılır:

1. Açık
2. Kapalı (sıkı)
3. Çimentolu veya dolgulu:
 - 3.1. Kohezyonsuz malzeme (kum veya silt)
 - 3.2. Kil veya kil matris
 - 3.3. Şişen kil veya kil matris
 - 3.4. Klorit, talk veya jips
 - 3.5. Diğerleri (kuvars, kalsit, vb., kısaltılmış olarak belirtilmeli)

4.5 Süreksizlik açıklığı

Bir süreksizliğin birbirine komşu iki yüzeyi arasındaki dik mesafe açıklık olarak tanımlanır. Açıklık, bazen dolgu malzemesinin genişliği ölçülerek de belirlenir.

Tablo 4.2 Süreksizlik açıklığının tanımı

Süreksizlik açıklığı (dolgu, damar ve fay kalınlığı)	Tanım
>200mm	1. çok geniş açıklık
60-200mm	2. geniş açıklık
20-60mm	3. orta-geniş açıklık
6-20mm	4. orta açıklık
2-6mm	5. dar açıklık
0-2mm	6. dar aralıklı
0	7. sıkı

Açıklık, süreksizliklerin makaslama dayanımını ve hidrolik iletkenliğini etkiler. Geniş açıklıklar, pürüzlülük ve dalgalılığı yüksek olan süreksizliklerin makaslama

hareketine uğramaları sonucu oluşurlar. Dik süreksizlikler, erozyon nedeniyle çekilme mekanizmasıyla açılmış olup, açıklıkları fazladır.

Açıklığın ölçülmesi için gereçler:

- şerit metre (mm bölmeli)
- 3m'lik Kompas

Açıklığı ölçüm yöntemleri:

- Kayaç mostrasının yüzeyi döküntülerden temizlenerek süreksizliklerin net görünmesi sağlanır.
- Etüd hattını kesen tüm süreksizliklerin açıklıkları kumpasla ölçülür.

Yüzeyde gözlenen süreksizlikler, yüzeye yakın yerel bozunmadan veya kazı yönteminden (patlatma vb) dolayı, biraz daha derindeki kaya kütlelerindeki süreksizliklere oranla daha geniş açıklığa sahiptir.

4.6 Dolgu malzemesi

Bir süreksizliğin komşu iki yüzeyi arasında yer alan ve genel olarak ana kayaçtan daha zayıf özellikteki malzeme, dolgu olarak adlandırılır. Tipik dolgu malzemeleri; kum, silt, kil, breş, milont olup, bunların yanısıra kuvars, kalsit vb. gibi minerallerden oluşan damarlar da dolgu malzemesidir. Jeoteknik etüdlere süreksizlikler boyunca kaymaya karşı direnç; dolgu malzemesinin kalınlığına, türüne ve dayanımına bağlı olup dolgu malzemesi önem kazanır. Bu nedenle dolgu malzemelerinin,

- türü
- kalınlığı
- dayanımı
- bozunma derecesi tanımlanarak log veya formlara kaydedilir.

Süreksizliklerin fiziksel davranışını etkileyen dolgu özellikleri:

- Mineraloji
- Tane boyu
- Nem içeriği ve geçirgenlik
- Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü
- Genişlik
- Süreksizlik yüzeyindeki parçalanma ve ufalanmalar
- Daha önce meydana gelmiş makaslama yer değiştirmesi
- Aşırı pekiştirme oranı (dolgu malzemesi kil ve kalın ise)

4.7 Süreksizlik türleri

Kayadaki süreksizliğinin kendisi kaya mekaniğini ayrı bir konu yapmış. Süreksizlik kayadaki sıfırlık ayrılmayı veya düşük gerilmeyi gösteren genel konu. Kayanın mühendislik özelliklerin belirlemek için süreksizliğin detaylı karakterize etmek çok önemli. Evet, kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri çoğunda kaya kütlelerinin içindeki jeolojik bozulma sistemine biraz bağlı.

Süreksizliklerin özellikleri tanımlanırken, öncelikle süreksizliğin türü belirlenir. Başlıca yapısal süreksizlik (zayıflık düzlemi) türlerinin tanımları aşağıda verilmiştir.

Dokanak; iki farklı litolojik birim arasındaki sınır olup, bu sınır uyumlu, ya da uyumsuz veya geçişli olabilen bir süreksizlik yüzeyidir.

Tabaka düzlemi; sedimanter kayaların oluşumu sırasında tane boyu ve yönelimi, mineralojik bileşim, renk ve sertlik gibi faktörlerdeki değişime bağlı olarak gelişen bir yüzeydir. Tabaklanma, her zaman ayrık bir süreksizlik yüzeyi olmayabilir ve bazı durumlarda kaya malzemesi içinde hafif bir renk değişimi şeklinde de gözlenebilir. Tabaka düzlemleri arasındaki uzaklık, birkaç milimetreden (laminasyon) metre (çok kalın tabaka) boyutuna kadar değişebilir. Sedimanların mineralojisindeki değişimler,

tabaklanma yüzeyleri arasında ince kil seviyelerinin oluşumuna veya sıvama şeklindeki yüzey kaplamalarına neden olabilir. Bu durum, kil dolgulu fay ve eklem yüzeylerindeki benzer mühendislik sorunlarının gelişmesine yol açabilir.

Fay ve makaslama zonu; yüzeyi boyunca birkaç santimetreden kilometrelerce uzunluğa kadar göreceli bir yer değiştirmenin meydana geldiği makaslama yenimesine maruz kalmış yüzeylerdir. Fay, tektonik hareketler sırasında gelişen makaslama gerilmesinin kaya kütleindeki bir düzlemin makaslama dayanımını aşması sonucu meydana gelen bir kırık şeklinde de tanımlanmaktadır (Kertsen, 1990). Fay kırığının yüzeyleri arasında; parçalanmış kaya parçalarının oluşturduğu fay breşi, çok ince taneli malzemeyle temsil edilen fay dolgusu, kil vb. zayıf malzemeler de yer alabilir. Faylar, çoğu kez tek bir düzlem olmaktan çok, birbirine paralel veya yarı paralel konumlu gruplar halinde gelişebilirler ve bunlar fay zonu veya makaslama zonu şeklinde adlandırılırlar.

Eklemler; yüzeyi boyunca herhangi bir yer değiştirmenin meydana gelmediği doğal kırıktır. Kırık yüzeyleri, örtü yükünün kalkması (gelirmenin boşalması), patlatma vb. nedenlerle birbirlerinden bir miktar uzaklaşmış (açılmış) olmakla birlikte, aralarında gözle görülür göreceli bir hareket söz konusu değildir. Yer kabuğunda 1 km derinliğe kadar kaya kütlelerinde gözlenebilen eklemler; birkaç milimetreden metrelerce uzunlukta, açık, dolgulu veya kapalı (sıkı) olabilirler. Eklemler, genellikle düzlemsel yüzeyli, yar paralel gruplar veya takımlar halinde gelişirler ve bu eklemlere sistematik adı verilir. Düzensiz bir geometriye sahip ve birbirine paralel olmayan eklemler ise, sistematik olmayan eklemler şeklinde tanımlanırlar.

Dilim (Klivaj); ince taneli kayalarda, sıkıştırıcı kuvvete dik yönde oluşmuş, sık aralıklı ve birbirine paralel yönde gelişmiş zayıflık düzlemleridir. Mekanik anlamda, makaslama yüzeylerini oluşturan bu yüzeyler boyunca kayma söz konusu olabilir. Spencer (1969) ile Whitten ve Brooks (1972), başlıca iki tür dilim tanımlamışlardır. Bunlardan kırık dilimini, minerallerin birbirine paralel yönde bir dizilim göstermedikleri, çimentolanmış veya kaynaşmış paralel yönde süreksizlikler şeklinde tanımlar. Spenser (1969), bu tür dilimin oluşum mekanizmasında

litolojinin ve gerilme koşullarının makaslama, açılma ve sıkıştırma süreçlerine neden olduğunu ve bunların da sağlam kayada ince dilimler halinde çok yakın aralıklı süreksizliklerin gelişmesine yol açtığını belirtmiştir.

Diğer bir dilinim türü ise, akma dilinimi olup, yeniden kristallenme ve mika gibi yapraksı minerallerin birbirlerine paralel şekilde yönlenmelerine bağlı olarak, bir foliasyon yapısının oluşumuyla gelişmektedir. Bu tür dilinim, genel olarak, ince taneli kayaların yüksek sıcaklık veya yüksek basınç altında başkalaşıma (metamorfizmaya) uğramış olmalarıyla yakından ilgilidir. Dilinim; özellikle sleyt, fillit ve şist gibi kayalarda gözlenmekle birlikte, dilinim düzlemlerinin çoğu önemli derecede çekilme dayanımına sahip oldukları için süreksizlik ağı kapsamında değerlendirmezler. Bununla birlikte dilinim, bu tür kayaların deformabilite ve dayanım özelliklerinde önemli düzeyde bir yönserliğe neden olmaktadır.

Fisür; Fookes ve Dennes (1969) tarafından “sürekli bir malzemeyi ufak birimlere ayırmadan bölen süreksizlik” olarak tanımlarken, Fourmaintraux (1975; Priest, 1993’den) tarafından ise, “iki yönde gözlenebilen, ancak üçüncü yönde sınırlanan düzlemsel süreksizlik” şeklinde tanımlamaktadır. Dolayısıyla bir ölçüde farklı anlamlara gelebilen fisür kavramının, herhangi bir özel süreksizlik türünün tanımlanması amacıyla kullanılmasına ve diğer kavramlarla karıştırılmamasına dikkat edilmelidir.

Foliasyon (Yapraklanma); yüksek basınç veya yüksek sıcaklık altında farklılaşma veya minerallerin tercihi yönelimi nedeniyle ortaya çıkan metamorfik kökenli zayıflık yüzeyleridir. Şistozite bir tür foliasyon olup, yassı ve elipsoidal tanelerin birbirlerine en büyük gerilmeye dik yönde dizilmesiyle oluşur. Şistozite yüzeyleri genellikle kağandır.

Damar; çevre kayasından farklı özellikteki bir malzeme tarafından doldurulmuş kırıktır. Damar kavramı, genel olarak, ince dolgulu düzlemler için kullanılır ve yüzeyleri ayırık olmadığı için zayıf bir süreksizlik olarak değerlendirilmez.



a)



b)

Şekil 4.1 Değişik süreksizlik türleri: (a) tabakalanma düzlemleri; (b) renk farklılığından ayırtılan tabakalanma

4.8 Süreksizlik aralığı.

Süreksizlik aralığı kaya kütlelerinde komşu konumlu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik takımındaki iki süreksizliğin arasındaki uzaklıktır. Süreksizlik veya bunun tersi olan süreksizlik sıklığı, ya da eklem sıklığı parametresi; süreksizlik yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra, kaya kütlelerinin geçirgenliğini ve kaya malzemesinin oluşturduğu blokların boyutlarını denetleyen bir parametre olması nedeniyle de kaya kütlelerinin en önemli özelliklerinden biridir. Bu parametre, kaya kütlelerinin dayanımı ve davranışı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu için, yerüstü kazılarının veya

açıklıklarının duraylılıklarını da doğrudan etkilemektedir. Süreksizlik aralığının düşük olması, özellikle yeraltı açıklıklarının uraylılığının sağlanmasını güçleştiren bir faktör olarak bilinir. Bu nedenle, süreksizlik aralığı parametresinin ölçülüp tanımlanması kaya mühendisliği uygulamalarında önem taşır.

Süreksizlik aralığı, mostra yüzeyi üzerinde belirli bir yönde serilen şerit metre boyunca şerit metreyi kesen süreksizliklerden oluşabileceği gibi (Şekil 4.3), sondaj karotlarından da tayin edilebilir. Ancak uygulamada şerit metrenin her zaman süreksizlik setlerine dik yönde serilmesi mümkün olamadığından, iki tür açıklık ölçülebilmektedir.

- (a) Görünür aralık (şerit metre veya sondaj eksenini boyunca karşılaşılan süreksizlikler arasındaki uzaklık;
- (b) Gerçek aralık (birbirine paralel yönde gelişmiş süreksizliklerin oluşturduğu bir

Süreksizlik takımına ait iki süreksizlik düzlemi arasındaki dik mesafe. Bir süreksizlik takımını oluşturan süreksizliklerin birbirlerine tam paralel olması çok ender olarak görüldüğü için gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı yüzlenin, ya da aynasının konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle, süreksizlik sıklığının değerlendirilmesinde görünür aralık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir.

Arazide alınan ölçümler sonucunda ortalama süreksizlik aralığı (x) ve süreksizlik sıklığı (bir metredeki süreksizlik sayısı, λ) aşağıdaki ifadelerden belirlenir

$$X = \frac{L}{N} \quad (4.1)$$

$$\lambda = \frac{N}{L} \quad (4.2)$$

Burada; L ölçüm hattının uzunluğu, N ise ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sayısıdır. Priest ve Hudson (1976), homojen kaya kütlelerinde süreksizlik aralığının, genellikle, istatistiksel dağılım modellerinden negatif eksponansiyel dağılıma iyi uyduğunu belirlemişlerdir. Buna göre, süreksizlik aralığı değerlerinin dağılımın tayini için aşağıda verilen negatif eksponansiyel dağılım eşitliği kullanılmaktadır.

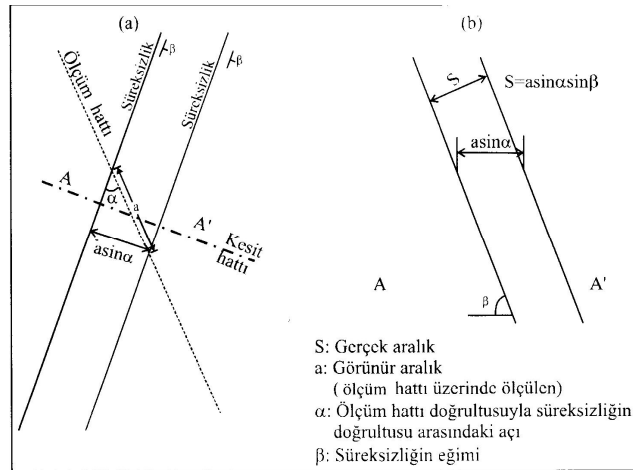
$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (4.3)$$

Burada, $f(x)$: olasılık; λ : ortalama süreksizlik sıklığı; x : aralık.

Attewell ve Farmer (1976), zayıf kaya kütlelerinin içerdiği süreksizlik aralıklarının da negatif eksponansiyel dağılıma uygunluk gösterdiğini belirtmektedir. Türkiye’de değişik kaya kütlelerinde yapılan benzeri çalışmalarda da (Ayday,1989; Ulusay, 1991;Gökçeoğlu, 1997; Ulusay vd.,1998), süreksizlik aralığı parametresinin aynı dağılım modeline uyduğu saptanmıştır. Kaya kütleleri için süreksizlik aralığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilen ve tablo 4.1’de verilen tanımlama ölçütleri yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.2 Ölçüm hattı boyunca süreksizlik aralığının tayini ve bir hat ölçümünden görünüm



Şekil 4.3 Görünür (a) ve gerçek aralık (b) parametreleri arasındaki ilişki (Ulusay ve Sönmez, 2007)

4.9 Süreksizliklerin devamlılığı

İdeal olarak kaya kütlesi kavramı, süreksizlik düzlemleri tarafından bloklara ayrılmış bir sistemi ifade eder. Ancak süreksizlik düzlemleri de üç boyutlu uzayda sonlanırlar. En yüksek devamlılığa sahip süreksizlik türü olan tabakalanma düzlemleri bile havza kenarlarında sonlanır. Süreksizliklerin iz uzunluğu bir kaya yüzleğinde gözlenebildiği için, bunların devamlılıklarının ölçülmesi de çoğu kez üzerinde çalışılan yüzlek alanı ile sınırlanmaktadır. Dolayısıyla bu durum, devamlılığın gerçekçi bir şekilde ölçülmesini güçleştiren bir faktördür.

Süreksizliklerin devamlılığı, süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi veya boyutları olup, durallılığı etkileyen önemli bir parametredir. Devamlılığın artması, kazı durallılığı üzerinde daha olumsuz etki yapmaktadır.

Devamlılık, yüzlükte doğrudan şerit metre ile ölçülür ve üç boyutlu bir kavram olduğu için ölçüm yönü kaydedilir. Yönle ilgili bir denetimin mümkün olmadığı durumlarda devamlılık, süreksizliğin eğim yönüne hem paralel, hem de dik yönde ölçülmelidir. Ancak bu ölçüm yöntemi, küçük mostra yüzeylerinde uygulanamayabilir. Devamlılığın ölçülmesinde ileride değinilecek olan hat etüdü tekniğinden yararlanılarak, en az 10m uzunluğunda ve milimetre bölmeli şerit metre kullanılır. Ayrıca devamlılığı ölçülen her süreksizliğin bir veya her iki ucunun

yüzlükte gözlenip gözlenmediği de belirlenmelidir. Çoğu kez süreksizliklerin her iki ucunun yüzlükte gözlenmeyebilir. Bu tür durumlarda süreksizliğin kaya kütlesi içinde tanımlanamayan bir mesafeye kadar devam ettiği kabul edilir. Bu husustan kaynaklanan belirsizliğin, bir ölçüde de olsa, giderilebilmesi amacıyla İSRM (1981) tarafından “sonlanma indeksi, T_i “ adı verilen bir parametre önerilmiştir. Bu parametrenin belirlenmesi amacıyla süreksizliğin konumuna göre aşağıda verilen tanımlamalara karşılık gelen simgeler süreksizlik etüdü veri formlarına kaydedilir. Bu tanımlamalar çerçevesinde sonlanma indeksi (T_i), devamlılığı yüzlük içinde sona eren süreksizliklerin sayısının yüzlükte gözlenen toplam süreksizlik sayısına oranının yarısı şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki ifadeden (İSRM, 1981) hesaplanır.

$$T_i = \frac{\sum r}{2(\sum r + \sum d + \sum x)} \times 100 \quad (4.4)$$

Süreksizlik aralığı için yapılan değerlendirmelerdekilere benzer şekilde gerçekleştirilen istatistiksel analizler, aralık parametresinin aksine, devamlılık parametresine ait verilerin bir tek dağılım modeline uymadığını göstermektedir. Süreksizliklerin devamlılıklarının haritalanmasında kullanılan yararlı bir yöntem de, süreksizliklerin sonlanma türlerinin aşağıdaki tanımlara göre kaydedilmesidir.

Tablo 4.3 Süreksizlik iz uzunluğunun tanımı

Süreksizlik izinin ölçülen uzunluğu	Tanımlama
>1m	Çok düşük devamlılık
1-3m	Düşük devamlılık
3-10m	Orta devamlılık
10-20m	Yüksek devamlılık
>20m	Çok yüksek devamlılık

4.10 Süreksizlik takımı

Kaya kütlelerinin görünümü ve mekanik davranışı, birbirlerini kesen süreksizlik setlerinin sayısından etkilenir. Uç eklem seti içeren bir kaya kütlelerinde 3 boyutlu bloklu yapı oluşumu, daha az sayıda süreksizlik içeren kaya kütlelerine oranla daha fazladır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Üç süreksizlik seti içeren kaya kütleleri

4.11 Blok boyutu

Blok boyutları; süreksizlik aralığı, eklem seti sayısı ve süreksizlik devamlılığı gibi parametreler tarafından tayin edilir. Süreksizlik seti sayısı ve yönelim, bloğun şeklini (küp, rombohedron, tetrahedon, plaka vb.) etkiler. Sedimanter kayalarda genellikle düzenli bloklar gözlenir.

Belirli gerilim koşulları altında kaya kütlelerinin mekanik davranışını blok boyutu ve bloklar arası makaslama dayanımı tayin eder. Geniş bloklardan oluşan kaya kütleleri daha az deforme olurlar ve kemerlenmeye ve kenetlenmeye uygundur. Küçük blok boyutu, şevlerde zeminlerdekine benzer şekilde dönel (dairesel) kaymalar için potansiyel ortamları oluşturur

Blok boyutunun tanımlanması için aşağıdaki iki parametreden biri kullanılır.

a) Blok boyutu indeksi (I_b):

Bu indeks, tipik çeşitli blok boyutları seçilerek bunların ortalamasının saptanmasında kullanılır. Eğer kaya kütlelerinde 3 eklem setinde fazla sayıda set varsa, I_b 'nin kullanımı gerçekçi olmaz.

Set, geniş aralıklı ise, I_b 'yi yapay olarak arttıracak, ancak sahada gözlenen gerçek blok boyutları üzerinde çok az etkili olabilecektir.

Sedimanter kayalarda, birbirine dik yönde gelişmiş iki eklem seti ve tabakalanma, kübik veya prizmatik bir blok şekli oluşturur ve I_b ' doğru şekilde hesaplanabilir.

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} \quad (4.5)$$

S_1 , S_2 ve S_3 her eklem seti için hesaplanmış ortalama model aralık değerlerini ifade eder.

b) Hacimsel eklem sayısı (J_v)

J_v , herhangi bir eklem seti için hesaplanan metredeki eklem sayısı değerinin toplamıdır. Rastgele gelişmiş süreksizlikler için dikkate alınabilir. Düzensiz süreksizliklerde ölçüm hattının uzunluğu 5-10 m arasında seçilir.

J_v , aşağıdaki ifadeden hesaplanır:

$$J_v = \frac{N_1}{L} + \frac{N_2}{L} + \dots + \frac{N_n}{L} \quad (4.6)$$

N_n : Her bir eklem setini oluşturan eklemlerin sayısı (ölçüm hattı boyunca)

L_n : Her bir eklem setine ait ölçüm hattının uzunluğu

J_v 'nin tayininde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, ölçüm hattının ölçülen eklem setine dik doğrultuda olmasıdır.

N değerleri doğrultuya dik yönde ve J_v 'ye göre blok tanımı ise aşağıdaki çizelgeden belirlenir.

Tablo 4.4 Blok boyut tanımı

Tanım	J_v , Eklem/m ³
Çok geniş bloklar	< 1.0
Geniş bloklar	1-3
Orta boyutlu bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	>30
($J_v < 60$: parçalanmış kaya	

Uygulamada, bir kaya çıkmasında her bir eklem setine dik yönde, 5-10m uzunluğunda hat etütlerinin yapılabilmesi çoğu kez olanaksızdır. Bununla birlikte, tek bir hat boyunca aşağıda verilen yaklaşım esas alınarak J_v hesaplanabilir. Bu hesaplamada kullanılan parametreler,

- Ölçüm hattının doğrultusu,
- Ana eklem setlerinin yönelimleri
- Ana eklem setlerinin hat boyunca ortalama görünür süreksizlik aralığıdır

Yukarıda belirtilen parametreler kullanılarak, önce her bir eklem seti için ortalama görünür süreksizlik aralığından gerçek süreksizlik aralığı (m) aşağıdaki ifadeden hesaplanır.

$$\bar{S} = S * \sin\alpha * \sin\beta \quad (4.7)$$

Burada, S: ortalama görünür süreksizlik aralığı; α : ölçüm hattının doğrultusu ile eklem setinin doğrultusu ortasındaki açı; β : eklem setinin eğimi. Daha sonra J_v aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_n} \quad (4.8)$$

Herhangi bir eklem setinin doğrultusuna paralel yönde yapılacak bir hat etüdü, o eklem setinin göz ardı edilmesine neden olur. Bununla birlikte, en az iki farklı doğrultuda hat etüdünün yapılması koşulunda, söz konusu hatanın giderilebileceği dikkate alınmalıdır.

4.12 Jeoteknik loğlama

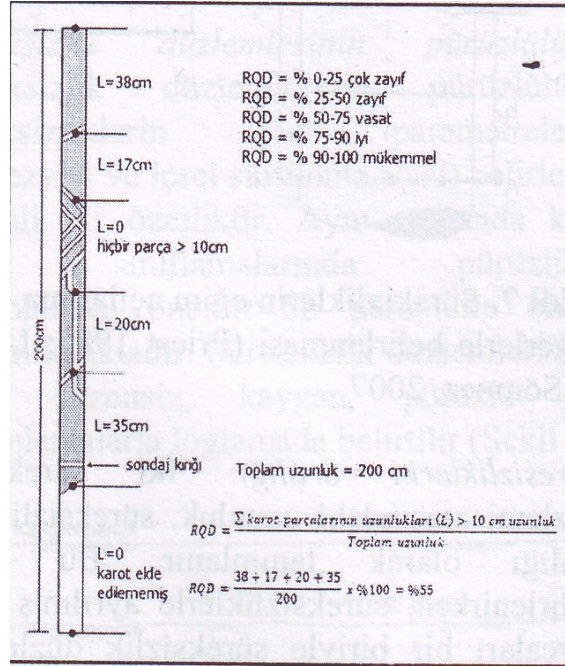
Jeoteknik loğlamada karot numunelerinden kaya kütlelerinin fiziksel özellikleri ve kaya kütlelerinde bulunan süreksizlikler ve bu süreksizliklerin yönelimi belirlenebilmektedir. Mühendislik yapısının özelliğine göre gerekli durumlarda kaya birimlerinin dayanım parametreleri, mineralojik-petrografik tanımlanması ve kimyasal içerikleri de belirlenebilir. Jeoteknik loğlamadan elde edilen verilerle kaya kütlelerinin özellikleri saptanmaktadır. Kaya kütlelerinin özellikleri yeraltı ve yerüstü yapılarının tasarımında en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Jeoteknik loğlama parametrelerini üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar da

- Birincil parametreler: toplam karot verimi, sağlam karot verimi, kaya kalite göstergesi (RQD) ve eklem sıklığıdır.
- İkincil parametreler: süreksizliklere ait ve kaya kütle sınıflamasına temel teşkil eden parametrelerdir
- Üçüncül parametreler: kaya birimlerine ait diğer özellikleri içermektedir.

Toplam karot verimi bir ilerleme aralığındaki toplam karot parçalarının uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzdesel ifadesidir. Jeoteknik amaçlı sondajlarda toplam karot veriminin mümkün olduğunca % 100 değerine yakın olması istenir. Karot veriminin ilerleme mesafesi boyunca düşmesi karotlar üzerinden belirlenecek diğer parametrelerinde belirlenmesini ortadan kaldırır. Özellikle karot alınmayan bölümün içeriğinin kaya kütlelerinin özelliklerinin belirlenmesini ne ölçüde etkileyeceği büyük bir sorun olarak ortaya çıkar.

Sağlam karot verimi bir ilerleme aralığındaki silindirik yapısını koruyan karotların toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzdesel ifadesidir. Sağlam karot veriminin düşüklüğü zayıf ve oldukça kırıklı kayaç formasyonlarının varlığının göstergesidir.

Kaya kalite göstergesi bir ilerleme aralığında, doğal süreksizliklerle ayrılmış, boyu 10cm ve daha büyük olan silindirik yapıli karotların toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzdesel ifadesidir. RQD Deere tarafından bir indeks değeri olarak geliştirilmiştir.



Şekil 4.5 RQD'nin hesaplanması ve RQD'ye göre kaya sınıflandırması

BÖLÜM BEŞ

SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİNİN YÜZEYDE TAYİN YÖNTEMLERİ

5.1 Hat etüdü

Kaya kütlesi ve içerdiği süreksizlik düzlemlerine ait özellikler kaya yüzleğinden yapılan ölçümlerle belirlenir. Yüzlekte yapılan çalışmalar geniş bir alanda kaya kütlesinin incelenmesi, doğrudan ölçüm alınması ve çeşitli süreksizlik takımları arasındaki ilişkilerin gözlenebilmesi açısından oldukça yararlıdır (Yavuz, 2001). Veri toplamak amacıyla “hat etüdü” yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Hat etüdü yönteminin yansira görüntü alma ve görüntü işleme esasına dayalı yöntemlerle de aynı profiller boyunca ölçümler alınmıştır. Hat etüdü yönteminde;

- Döküntülerden arındırılmış düz bir kaya yüzeyi üzerine serilmiş çelik bir metre boyunca metreyi kesen tüm süreksizliklerin özellikleri kaydedilir.
- Mümkünse 150-200 arasında süreksizlikten ölçüm alınır ve bu süreksizliklerin yaklaşık %50'nin bir ucunun gözlenmesinde yarar vardır.
- Hat etüdü uzunluğu, kaya yüzeyinin döküntü veya bitki ile kaplı olmasına bağlı olarak değişim sunabilir.
- Şerit metre aynanın doğrultusuna veya eğimin en yüksek olduğu yöne paralel şekilde serilir.
- Ek hat etüdü için şerit metre birinci hattı dik kesecek şekilde serilir. Böylelikle hatalı örneklemenin en aza indirilmesi sağlanır.

Bu değerlere bağlı olarak maksimum ve ortalama blok boyutu değerleri hesaplanmıştır.

Blok hacmi hesaplamalarında aşağıdaki formülden yararlanılmıştır;

$$V_{\min}^{\max} = d1_{\min}^{\max} * d2_{\min}^{\max} d3_{\min}^{\max}$$

d_1 : I-nolu soğuma çatlaklarına ait süreksizlik ara uzaklık değeri

d_2 : II-nolu soğuma çatlaklarına ait süreksizlik ara uzaklık değeri

d_3 : Akma bantlarına ait süreksizlik ara uzaklık değeri

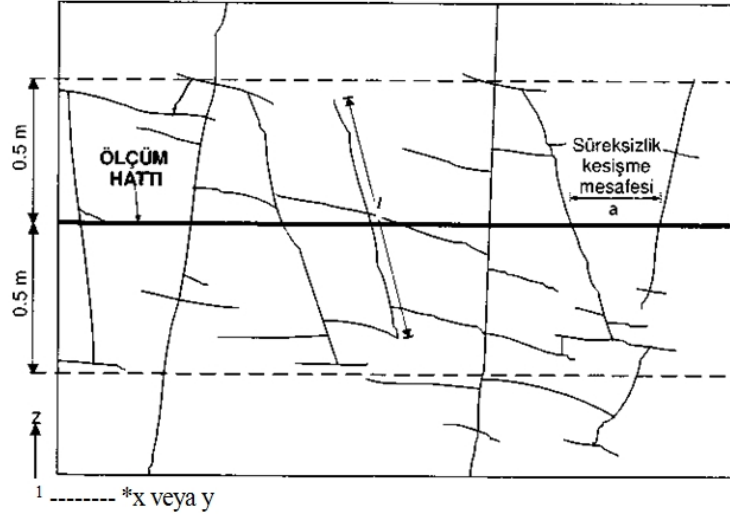


(a)



(b)

Şekil 5.1 (a) Bir açık işletmede çok sayıda süreksizliğin gözlemlendiği basamak aynasında uzun mesafe boyunca ve (b) bir bölümü döküntüyle örtülü bir kaya yüzleğinde sınırlı mesafede yapılan hat etütlerinden birer görünüm.



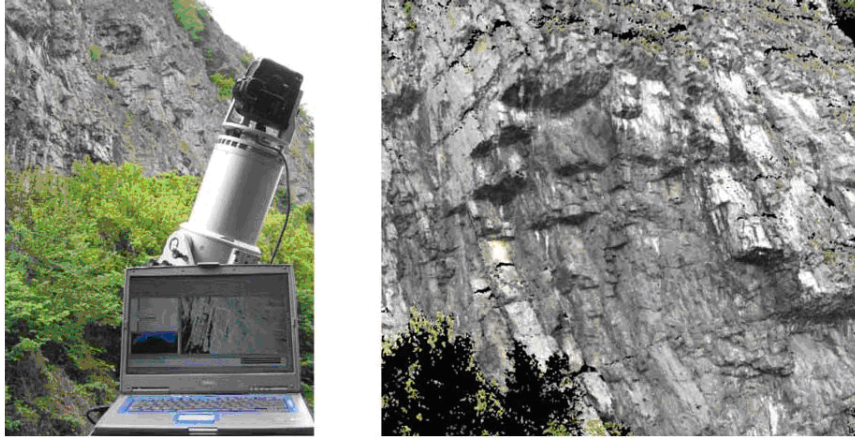
Şekil 5.2 Bir kaya yüzleğinde süreksizlik hat etüdü ve ölçüm hattını kesen süreksizlikler.

5.2 Görüntü analiz yöntemleri

5.2.1 3D Lazer aletinin kullanımıyla kaya kütleindeki süreksizliklerin karakterize edilmesi ve tanımlaması.

Süreksizlik özellikleri sahada uygulanan standart methodlarla, yani tarama çizgisinin veya hücre haritasının (Priest ve Hudson, 1981; Priest, 1993) kullanılmasıyla tanımlanabilir. İki metodun da kendilerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Fakat sahadaki mekanik metotlar genel olarak üç önemli hataya sahiptir, bunlar: insandan kaynaklanan hatalar, dengesiz eğimler ve kaya yüzeyine ulaşmak zorluğu veya imkânsızlığıdır. İşte, bu methodları uygulamada yukarıda bahsettiğimiz dezavantajlara sahip oldukları için yazar alternatif olarak Karasal Lazer Tarama tekniğini geliştirmiştir.

3 D Lazer tarayıcı tekniğinin avantajları; kaya yüzeyine girmeden kaya yüzey verilerinin elde edilmesi kolaylığı, ulaşılması zor olan yüzeylerden veriler alınabilmesi, yüksekteki yoğun noktalara ulaşılabilmesi ve her noktaya çeşitli renk verilebilmesidir.

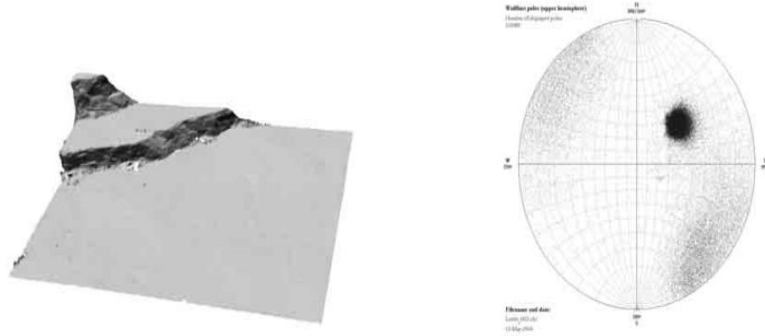


Şekil 5.3 Sahadaki Lazer Tarayıcı aletinin yerleştirilmesi. Sağ taraftaki şekil ise taramadan geçirilen kaya yüzünün renkli 3D lekelen nokta detayları.

Düzensiz dağılan nokta verilerinin yüzey bilgilerine dönüştürmek için lazer uygulama sonucunda elde edilen kaya yüzey şeklinin ve karakterizesinin iyi bir şekilde analiz edilmesi çok önemlidir.

Varsayımda temellenmiş olan kaya yüzeyinin geometrisi kaya kütesinin aralığındaki süreksizlik yapısı tarafından incelenen büyük parçalar için avantajlı bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım kaya yüzeyi sağlam olan kaya tarafından yapılmış ise uygulanır. Bu toplu yaklaşım için Hammah ve Curan (1998) methodu (adjusted fuzzy k-means clustering method) kullanılmıştır. Söz konusu olan yaklaşımın dezavantajı ise uygulamada X, Y, Z - alanındaki geri-analiz grubu, birleşen takımın bireysel noktalarının verilmesidir.

Süreksizlik yüzeyinin tanımlamasında kullanılan diğer yaklaşımı temel lazer tarama verileriyle yapanlar Kemeny, Monte ve Thiam'dır (2003). Bu yazarlar 3D lazer uygulaması sonucunda ortaya çıkan kaya yüzeyi üzerinde detaylı çalışmalar yapmışlardır. Bu metot uygulamasının avantajı, sağlam kayadaki bozulmaları analizde süreksizlik yüzeyi olarak göstermemesidir.



Şekil 5.4 Yeniden yapılan yüzey örneği.

Kaya kütleindeki süreksizliklerin 3D Lazer Tarayıcı tekniğiyle otomatik olarak tanımlanması bizim için kolaylaştırıcı bir yaklaşımdır.

5.2.2 Üç boyutlu kaya süreksizliklerinin yönelim çatlak izlerinin sayısal görüntülemeyle tahmin edilmesi.

Bir önceki bölümlerde incelendiği gibi sahadaki kaya kütlelerinin tanımlanmasında (scan line survey) veya hücre haritasın kullanılmasında büyük hatalarla karşılaşabiliriz. Bu hatalar: insandan kaynaklanan hatalar, aletlerden kaynaklanan hatalardır.

Bu çalışmada yazarın önemli şekilde üzerinde durduğu konular sayısal görüntüleme ve küçültülmüş hatayla süreksizlik verilerinin toplanabilmesi imkânı ve uzak aralıktaki yüzeyden otomatik biçimlendirme imkânıdır. Bununla birlikte, bu otomatik işlemler yardımıyla süreksizlikle ilgili bilgilerin arttırabilmesi imkânıdır.

Çatlak izlerinin dijital görüntülerinden 3 boyutlu çatlaklık özelliklerini çıkarmak için geliştirilen birçok matematik algoritmalar ve görüntü işlemleri bulunmaktadır. Örnek olarak kaya yüzeyinin sayısal görünümü ve süreksizlik izlerinin betimlemesi şekil 5.5(a)'da net bir şekilde gösterilmiştir. Üç boyutlu süreksizliğin en önemli özelliği de süreksizlik yönelimiyle ilişkili olmasıdır.



(a)



(b)

Şekil 5.5 (a) Çatlak izin gösteren kaya yüzünün görüntüsü, (b) Çatlak izinin çizilen ayrıntıları.

Vektör analizini kullanarak, birleşimin düzlem aralığının tayin edilmesi belirlenebilmektedir. Birleşimlerin kesilmesinden kaya yüzeyinin yönelimi tayin edilebilmektedir. Birinci basamak ise kaya yüzeyinin f vektör ve birleşim j vektör düzleminin normal dikey birim koordinatın hesaplanmasıdır:

$$(j_x, j_y, j_z) = (\sin \beta_j \sin \alpha_j, \sin \beta_j \cos \alpha_j, \cos \beta_j) \quad (5.1)$$

$$(f_x, f_y, f_z) = (\sin \beta_f \sin \alpha_f, \sin \beta_f \cos \alpha_f, \cos \beta_f) \quad (5.2)$$

İz vektörü ise j ve f vektörün çapraz ürünü:

$$(t_x, t_y, t_z) = (f_y j_z - f_z j_y, f_z j_x - f_x j_z, f_x j_y - f_y j_x) \quad (5.3)$$

Vurma yönünün vektör birimi de aşağıda gösterilmiş:

$$(S_x, S_y, S_z) = (\cos \alpha_f, \sin \alpha_f, 0) \quad (5.4)$$

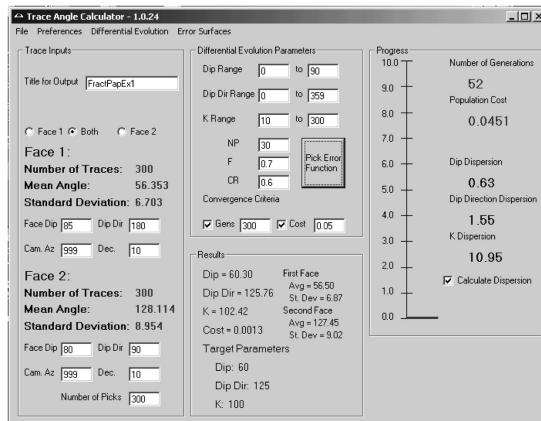
İz açısı ise t ve s vektör aralığındaki ürünün kullanarak açıklanır:

$$\theta_t = \cos^{-1} \left[\frac{S_x t_x + S_y t_y + S_z t_z}{\sqrt{t_x^2 + t_y^2 + t_z^2}} \right] \quad (5.5)$$

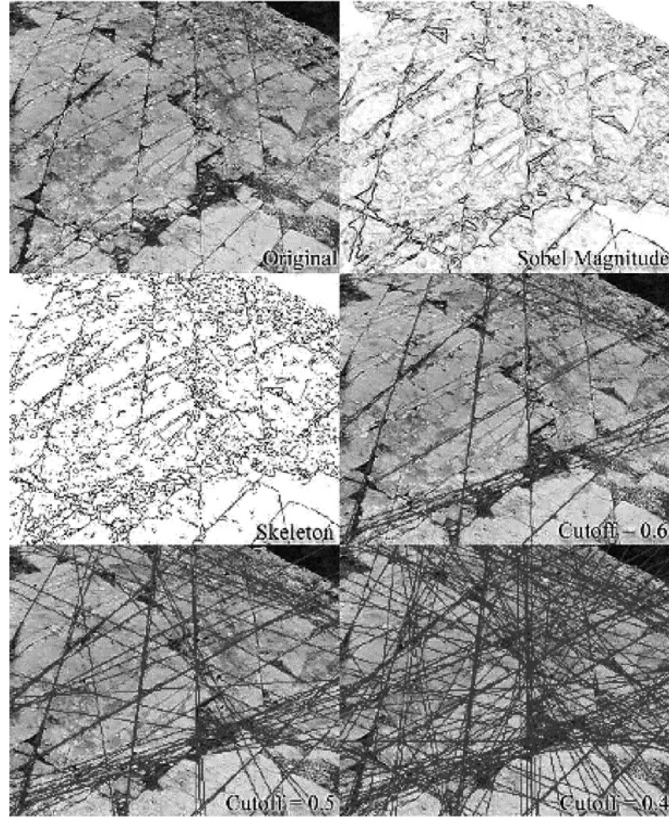
$$\text{Corrected } \theta_t = \tan^{-1} [\tan \theta_t \cos \alpha] \quad (5.6)$$

Burada, α ise normal kaya yüzeyi ve kamera eksenini arasındaki açısı. Tırmık ise iz vektörünün z bileşiminin kullanarak tespit edilebilmektedir.

$$t_z > 0 \text{ Sonra } \theta_{rake} = \theta_t \text{ ve } \theta_{rake} = 180 - \theta_t \quad (5.7)$$



Şekil 5.6 3D iz yöneliminin DE programında görünüşü.

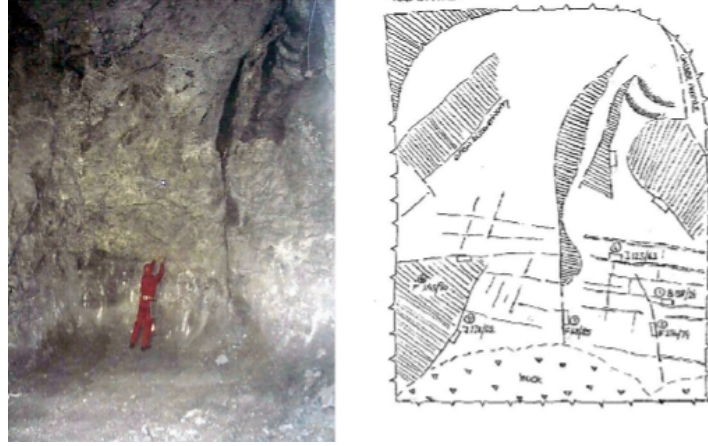


Şekil 5.7 Kesme parametrelerinin efekti ve Hough dönüştürmesinin örneği.

5.2.3 Geleneksel ve yüksek-net kameralı 3D görünüm sisteminin uygulanması ve yöntemi.

Uygulama sonucunda elde edilen jeoteknik veriler kaya kütlelerindeki yapının tasarımı ve araştırması boyunca tüm sayısal parça olarak tanımlanır. Jeoteknik veriler bize projenin farklı evreler boyunca analiz yapma kararı vermemizi sağlayabilir. Jeolojik verilerinin eski metotlarıyla farklı hatalara ulaşabildiğimizden dolayı Joint Metri X3D ve Shape Metri X3D sistemini kullanmak gerekmektedir. Bu iki sistem yukarıda bahsettiğimiz problemleri çözebilme imkanı sağladığı gibi çizim, verimlilik, güvenlik ve yapılaşla ilgili optimizasyon imkanları sunması, iki sistemin birbirinden farkı ise ikisinin görüntüyle ilgili çözünürlüğüdür.

Şekil 5.8’de tüneldeki kazı işleri vaktindeki jeolog için en iyi çalışma koşulu gösterilmiştir. Fakat büyük bir dezavantajı ise: jeologun desteksiz 2m yukarı alana ulaşamamasıdır.



Şekil 5.8 Yer altı kazısındaki süreksizlik yönelim verilerinin elde etme şekli.



Şekil 5.9 Uygulama yüzeyine erişim zorluğu gösterilmiştir.

Shape Metri X3D uygulamasını inceleyelim. Şekil 5.10’da çift görüntü stereoskopun geometrik yerleşim prensibi gösterilmiştir. Bu iki metotla da görüntünün

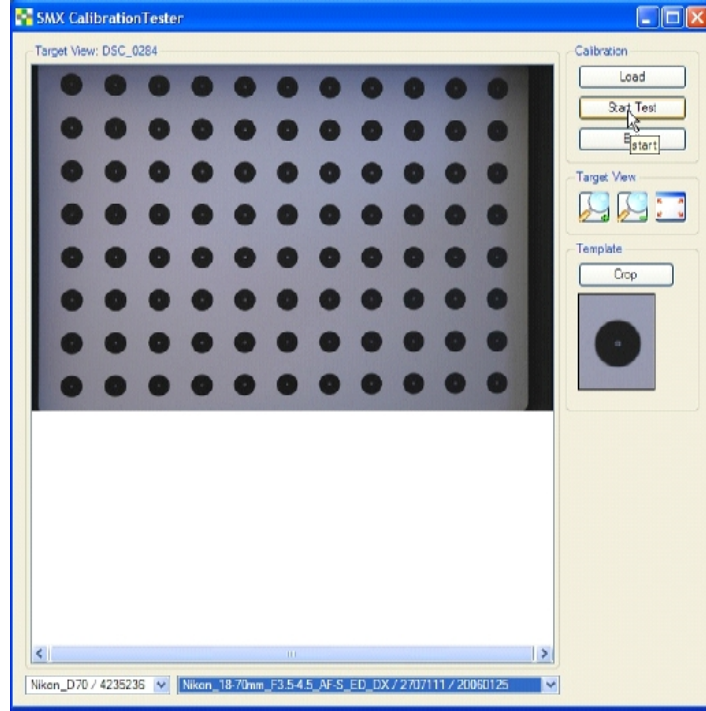
gerekmesi olan yüksek kalite dairesinde resim çekme imkânının sağlanabilmesidir (Şekil 5.11).



Şekil 5.10 Stereoskopik görüntü çifti ve magnezit madeninde Shape Metri X3D sisteminin uygulanması.

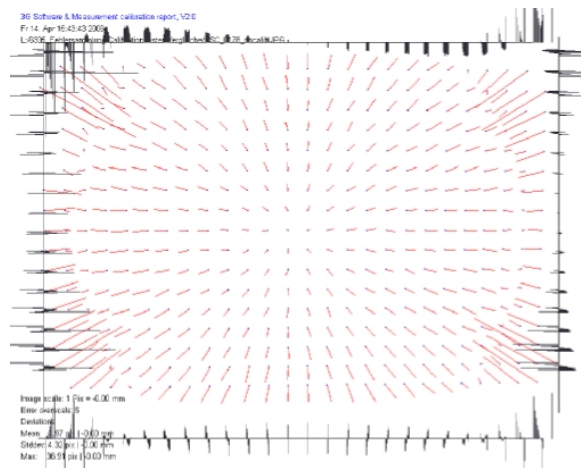
Kamera ölçümlemesindeki piksel boyutu, hassas görüntü merkezi, hassas odak uzaklığı gibi parametreler tarafından karakterize edilen aktüel görüntü analizi iç kamera yönlenmesine aktarır ve her kamera-mercek çifti teker teker olarak ayarlanır.

SLR kamerasının yeterli mekanik sabitleştirilmesi ise kamera-mercek çifti için sağlam ölçümleme saklama imkânı demektir. Bu ise sahadaki çalışma vaktindeki ölçümlemenin aktüel koşulların kontrol edilmesi için çok önemlidir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Sitedeki aktüel kamera kalibrasyonun testi için araç anlık fotoğrafı

Kamera ölçümleri gerçekleştirilmezse güvenli ölçülere genelde ulaşılamaz. Sınır bölgesinin görüntü özelliğindeki kullanıma hazır SLR kamera için sapma imkânı 10 pixele kadar ulaşılabilir ve normal kameralar için daha fazla sapma söz konusudur (şekil 5.12).



Şekil 5.12 10mm mercekli kalibrasyonsuz SLR kamera için mercek bozunumu.

Bu dijital görüntü 100'den fazla mega piksele sahiptir ve bununla birlikte bu kameranın bir özelliği de dikey zona bağlı olmadan yatay görünüm alanını değiştirilebilmesidir.

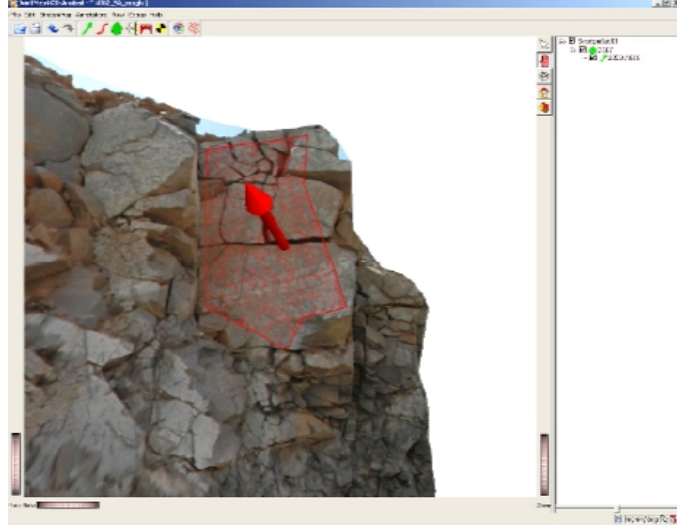
Shape Metri X3D aleti Joint Metri X3D aletine benzer olarak çalışır, fakat taksimatlı SLR kamerasının görüntü birimi olarak kullanılır (şekil 5.12).

3D görüntüdeki herhangi bir yerine özel kursorla dokunabilir. Bu ise yeniden yapılan yüzeyinin aktüel 3D halini takip ediyor ve yüzeyin aktüel yönelmesine uygun olarak yönelme seçimini değiştirir (Şekil 5.14). Bununla birlikte yönelme ölçüm birimi özel yerdeki kompas klinometre cihazının uygulamasına ilişkin olmalıdır.

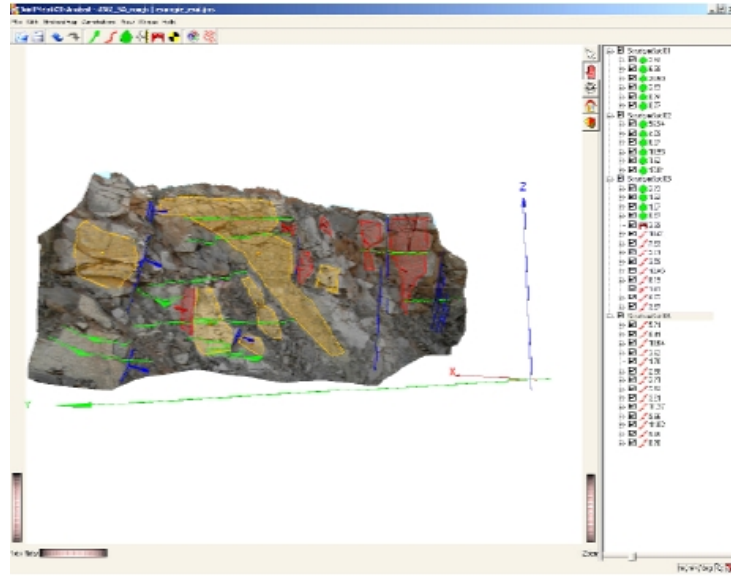


Şekil 5.13 Shape Metri X3D görüntü sistemi SLR kamera kalibrasyonundan ve göz-mercek yakınlaştırma aparatından oluşur.

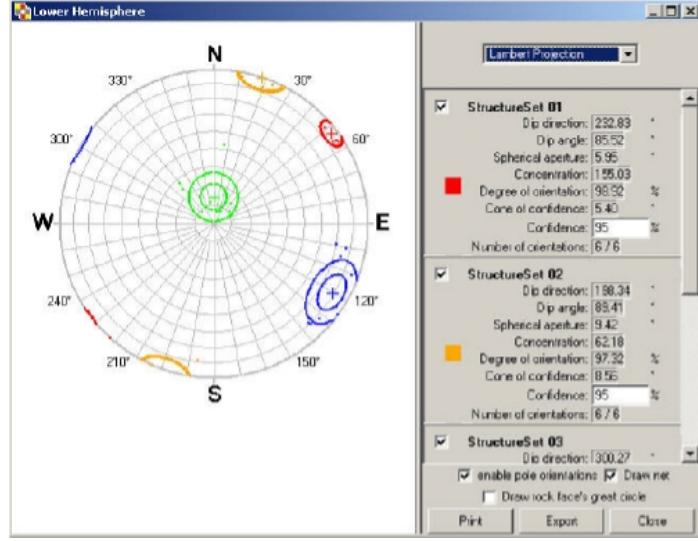
Alan işaretlendiği vakit kapalı 3D poly-line'le tanımlanır. Herhangi bir zorluk olmadan 3D yüzey parçasının işaret edilen alan içinde olduğunu kolay fark edilebilir. Şekil 5.15'te ise birkaç işaretlenen yapı takımıyla 3D görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.14 Birleşik yüzeydeki birleşik yönelimin ölçümü

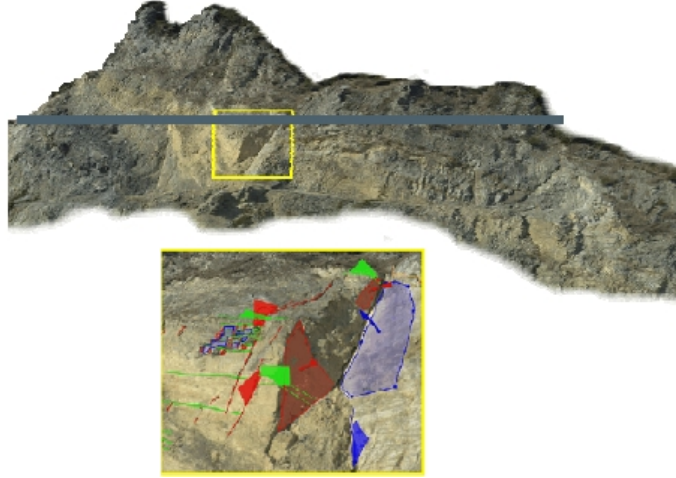


Şekil 5.15 JMX Analyst programının enstantanesi 3D görüntüsünün değer biçme etkileşimi ve kaya kütle parametrelerinin tanımının belirlenmesi için kullanılır.

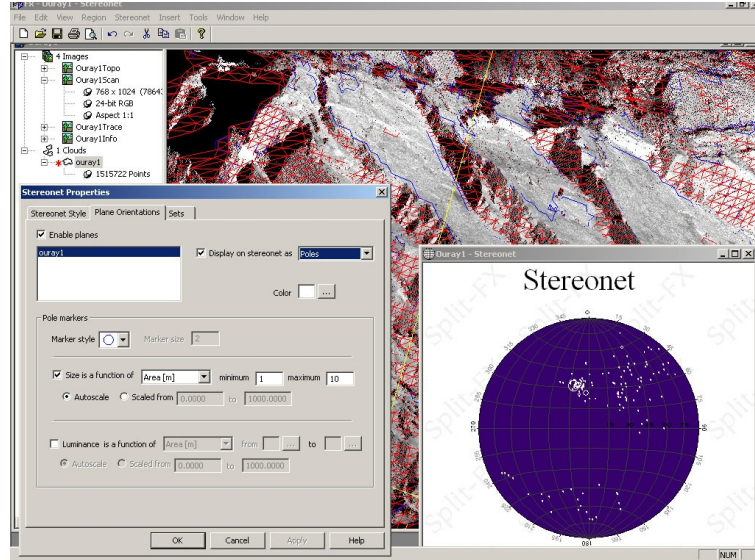


Şekil 5.16 Tanımlanan süreksizlik takımının azaltılmış yarıküresinin eşit-alan izdüşümü kutuplanan çizimi.

İki sistem de kinematik boş blokları tanımlamak için kullanılır. Süreksizlik görünürlüğünün kapsamlı site analizinin 3D görüntüsünden yapılır.



Şekil 5.17 Taşocağından 700 metreden elde edilen 3 boyutlu görüntü.



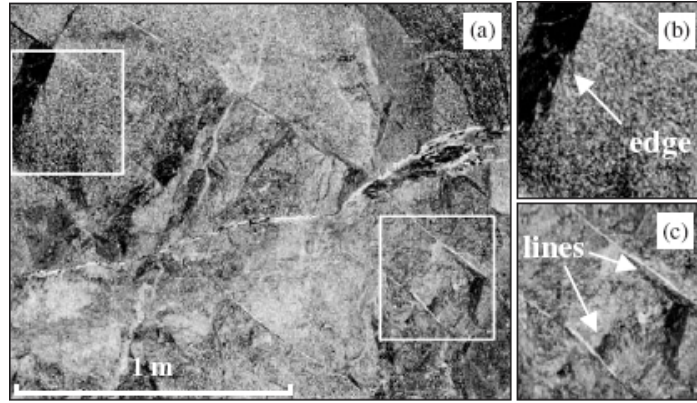
Şekil 5.18 Kaya yüzeyindeki süreksizliklerin Split-FX programının kullanılarak analiz edilmesi.

5.2.4 Kaya pozlandırma fotoğraflarının kullanarak süreksizlik iz haritasının yapmak.

Bu çalışmada süreksizlik ağ verimlerinin çabuk ve emniyetli bir şekilde elde edilmesi için dijital ayna haritacılığı anlatılmıştır. Bu görüntü analizini mekanik süreksizlik örnekleme metoduyla kıyasladığımızda aşağıda gösterilen avantajlara sahiptir:

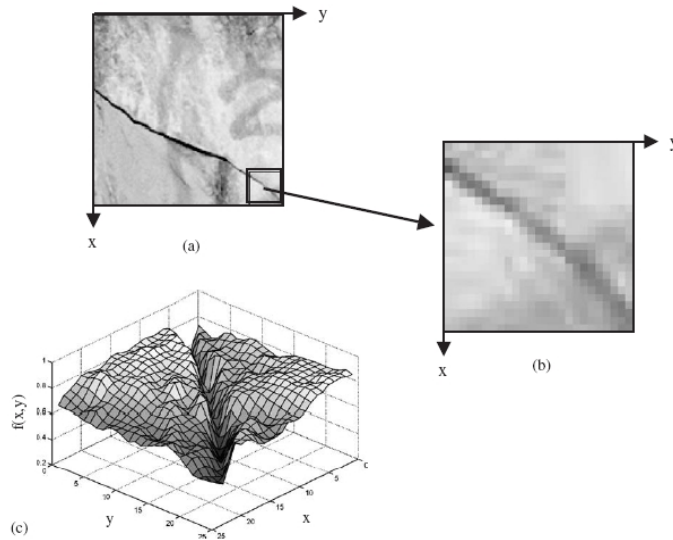
- Haritacılık için az zaman alması
- Potansiyel güvensiz koşulları pozlandırma
- İler ki zamanlarda hesaba katılabilir geomekanik verilerin geliştirilmesi
- Süreksizlik ağ özelliklerinin değerlerinin artırılması

Şekil 5.19(a)'da grandiorite blok kütledeki tipik kaya pozlandırması gösterilmiştir. Gri-ölçek görüntüsünde süreksizlik izi çizgi şeklinde kenar tarafından gösterilebilir. Kenar ise farklı gri düzeye sahip iki bölge arasındaki sınır olarak belirlenir (şekil 5.19(b)). İz ise süreksizlik yüzeyinin tamamen çıkıntısı olan kenar tarafından tanımlanır. Oradaki çizgi ise dijital görüntüdeki eğrili yapı olarak tanımlanır.



Şekil 5.19 (a) İyi tanımlanmış blok kaya kütle; (b) ve (c) kenar ve hat arasındaki fark tanımlama görüntüsünün yaklaşmış hali.

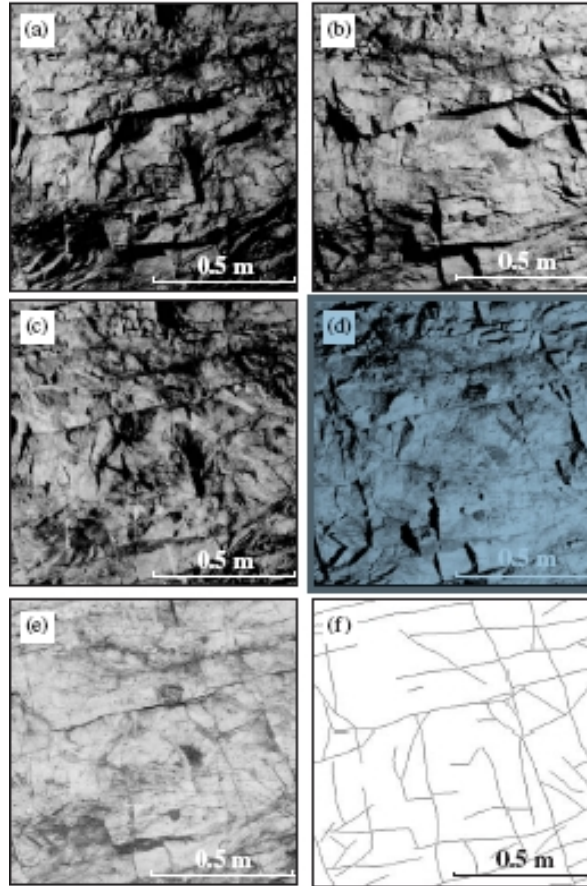
Kaya pozlandırmasındaki süreksizliğin görüntü analizini monoskopik veya stereoskopik yaklaşım kullanarak geliştirebiliriz, bu da aynı pozlandırmanın iki resminin kullanılmasına bağlı. Gri-düzye görüntüsün görüntü planındaki noktanın uzaysal koordinatın x ve y temsil eden sürekli iki eksenli ışık yoğunluk fonksiyonu $f(x,y)$ olarak sayabiliriz.



Şekil 5.20 Süreksizlik izini gösteren dijital gri-ölçekli resim

Yer altı çevresindeki haritacılık için otomatik ve güvenli teknikleri Matlab programında gerçekleştirebiliriz. Bu yöntemde aşağıdaki basamakları kapsar:

- Kazanma
- İşlem
- Kesme
- Gösterim
- Tanıma
- Yorum

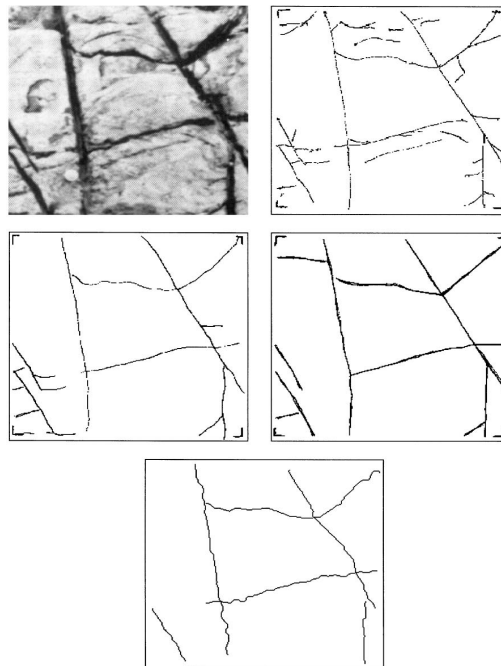


Şekil 5.21 (a)-(d) simetrik yatay ışıklandırma ile alınan görüntü; (e) normal ekspozisyonda ışıklandırılarak alınan görüntü ve (f) sahadaki el ile çizilen süreksizlik iz haritası.

Verilen örneğin incelenmesinde; farklı jeolojik bağlamlar için süreksizlik ağının karakterize edilen iki boyutlu bölümdeki yarı-otomatik görüntü analiz sisteminin etkinliğini desteklemiştir. Süreksizlik iz haritasından ölçülmüş olan parametreler çatlak kaya kütlelerinin kalitesinin sonuçları verir. Günümüzde, bu parametrelerin incelenmesinin zor olduğundan dolayı, bu parametreler artık madencilikte kullanılmamaktadır. Yazarın önerdiği dijital yüzey haritacılık methodu ise kaya kütlelerinin tanımlamasında pratiklik sağlayabilir. Bundan başka, bu method kaya kütlelerinin tanımlaması için kalıcı veritabanının sistematik haritacılık tarafından kurulmasını bize takdim etmektedir.

5.2.5 Kaya kütle pozlandırmasının görüntü analizinde süreksizlik izlerinin bulunması için yarı-otomatikleştirilmiş yöntemi.

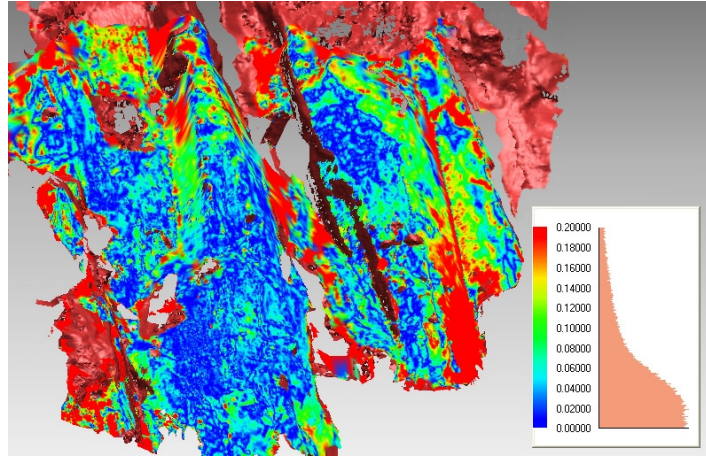
Süreksizlik özelliklerinin tanımlamasında alternatif yaklaşım ölçünün biri de fotogrammetrik ölçümdür. Bu çalışma kaya kütle pozlandırmasının “gri-scale” dijital görüntüsündeki süreksizlik izinin yarı-otomatik tanımlama methodunu takdim etmektedir. Bu metodun faydaları dört farklı kaya kütlelerinin pozlandırma görüntülerinin kullanılmasıyla ispat edilmiştir.



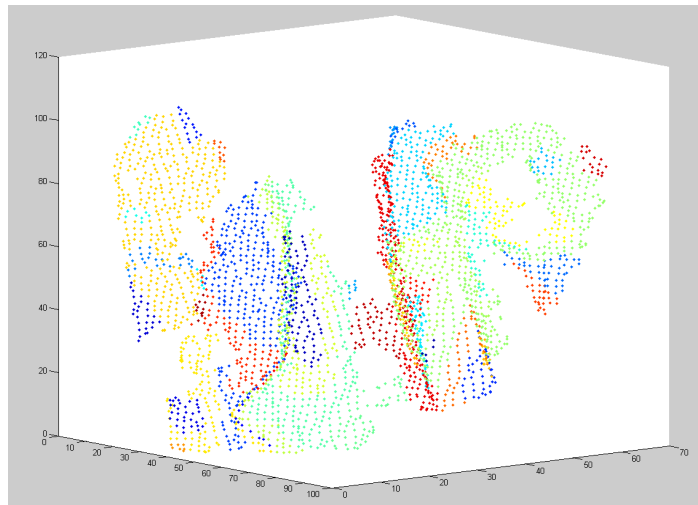
Şekil 5.22 Süreksizlik iz haritaların karşılaştırma

5.2.6 Jeolojik uygulama için fotogrametri: kaya kütlesindeki süreksizlik yöneliminin otomatik olarak elde edilmesi

Kaya kütlelerinin sağlamlığı kaya kütlesinin geo-yapısına ve süreksizliğine bağlıdır. Kaya yüzeyindeki süreksizlik ise düzgün olarak görünür. Bunların yerleşiminden analiz gerçekleştirilebilir. Süreksizliklerin dağılımından bilgi toplamada genellikle jeolojik pusuladan faydalanılır, fakat bu uygulamalarda bazı dezavantajlarla karşılaşabiliriz. Bundan dolayı söz konusu olan yüksek otomatik görüntü-tabanlı yaklaşım kaya parametrelerin bulunması için geliştirilmiştir.



Şekil 5.23 DSM üretimi sonucunda oluşan görünüş.

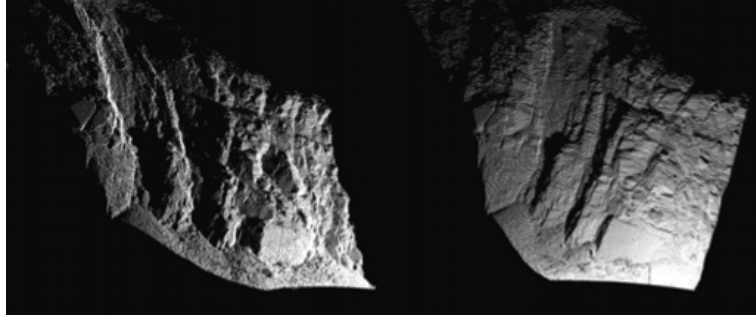


Şekil 5.24 Piramidin üst tarafındaki seçilen planlaması

Bu çalışmada esas kaya yüzeyinin hatasız DSM'in (Dijital Surface Model) yüksek otomatik görüntü tabanlı fotogrametrik aletiyle elde etme söz konusu olmuştur. Machaby'nin site testinin görüntü sırasındaki esas vazifeler (görüntü yönelimi ve DSM'in üretimi başarıyla yapıldığını görülmektedir.

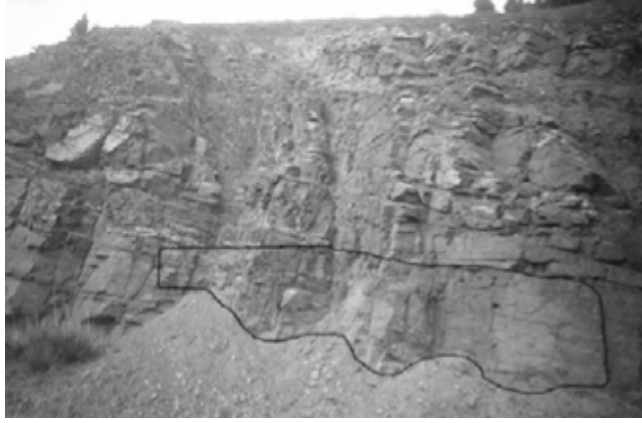
5.2.7 Lazer Tarama aletin kullanılmasıyla otomatik olarak kaya yüzeyindeki süreksizliklerin ölçülmesi.

Açık alanda kalan ve elimiz ulaşamayacağı yerlerde olan kaya kütlelerinden süreksizlik özelliklerinin geçmişten günümüze farklı methodlarla yapılmaktadır. Günümüzde bu tür yoğun verilerin bilgisayar programlarında uygulama kolaylığı vardır. Bu çalışmanın asıl amacı tüm kaya yüzeylerinin verilerinin elde edilmesi ve tek yüzey yönelimine göre istatistik kaya geometrisinin tanımlanmasıdır.



Şekil 5.25 Lazer tarayıcıyla iki farklı yerdeki aynı ekspozisyonu

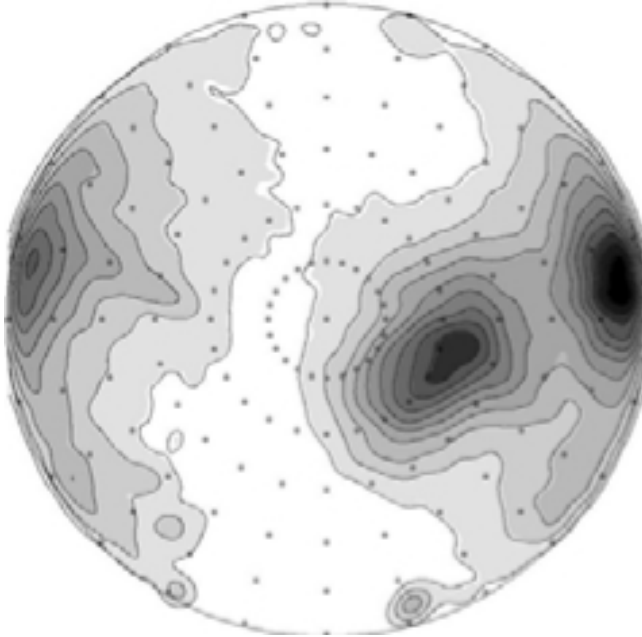
Sonuçta bu uygulama bizim için istatistik kaya kütlelerinin süreksizlik takımının tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Bu prosedürde elde edilen sonuçlar kolayca otomatikleştirilebilir.



Şekil 5.26 Taranılan kaya yüzeyinin resmi.



Şekil 5.27 Seçilen kaya kısmının dijital duruma getiren 3DTIN



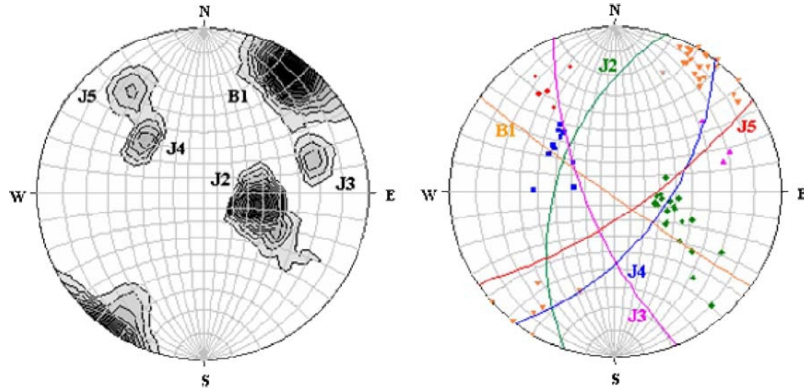
Şekil 5.28 3 boyutlu yüzey içindeki tüm üçgenler yönelmesinin eşit alan iç çekirdek stereoplottu.

5.2.8 3 D Lazer tarayıcısının kullanılması ile kaya kütlesinin süreksizlik takımının tanımlanması ve karakterize edilmesi.

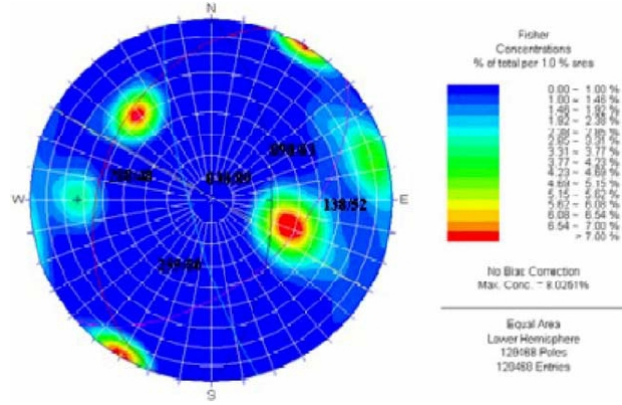
Bu araştırmada esas olan amaç 3 D yer üstü lazer tarayıcı verilerinin kullanılması ile kaya kütlelerinin süreksizlik takımının otomatik olarak tanımlanmasıdır. 3D lazer tarayıcı gözlemiyle kaya yüzeyinin geometrisi yüksek ayrıntılarıyla gösterilir.



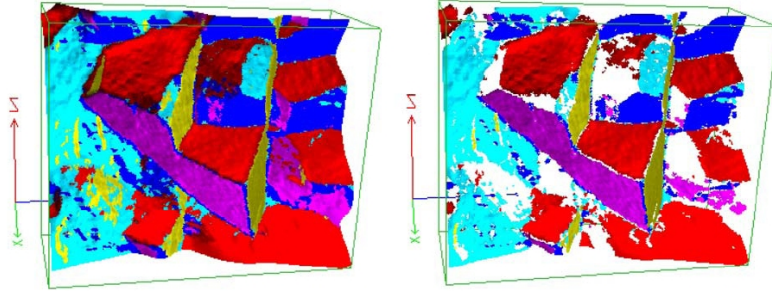
Şekil 5.29 İyice incelenen kaya ekspozisyonunun fotoğrafı.



Şekil 5.30 3scanline gözleminin ağırlıklı yön verilerinin yoğun çekirdek çizmesi. Sağdaki resim ise renklenmiş simge tarafından verilen tanımlanan süreksizlik takımı



Şekil 5.31 DİPS programıyla tüm 129,468 fasetta kutbunun yoğun çekirdek çizmesi.



Şekil 5.32 Soldaki resim renklenmiş düzenlenen kaya. Sağdaki ise reddedilen fasetasız renklenmiş düzenlenen kaya yüzeyi.

Ayrıca 3D lazer tarayıcısı aşağıdaki amaçlar için:

- Yüksek ayrıntısıyla kaya kütesinin modelinin hızlı bir şekilde alınabilmesi
- Kaya yüzey modelinden pozlandırılmış kaya kütesinin süreksizlik takımının yönün belirlenmesi
- “fuzzy k-means” kümesi kullanılarak süreksizlik takımının otomatik olarak tanımlanması
- Bireysel süreksizlik takımının yüzeyin otomatik analiz edilmesi

BÖLÜM ALTI

ÖRNEK ÇALIŞMA

6.1 Giriş

İnceleme alanı İzmir-Ankara yolunun 8.km de bulunan Bemaş A.Ş' ye ait kalker ocaklarıdır (şekil 6.1). Ocakta hazır beton için agrega ve dolgu malzemesi üretilmektedir.



Şekil 6.1 Çalışma Alanının Google Earth Programından Alınmış Uydu Fotoğrafi

Bu çalışmada Bemaş A.Ş' ye ait kalker ocağındaki süreksizlik aralıkları hat etüdü yöntemi ile ölçülmüş, hacimsel eklem sayıları bulunmuş ve elde edilen veriler ışığında ocaktan alınabilecek ortalama blok boyutları tespit edilmiştir. Ayrıca sahadan alınan numuneler yardımı ile çalışılan malzemenin fiziksel parametreleri ölçülmüş ve ölçülen süreksizliklerin gül diyagramına aktarımı yapıp çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

6.2 Kireçtaşı hakkında genel bilgi

Kimyasal bileşiminde en az %90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) bulunan kayalara Kalker ya da Kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca kireçtaşı terimi, kimyasal bileşiminde %90'a kadar CaCO₃, mineralojik bileşiminde ise %90' a kadar kalsit içeren kayalar için de yerbilimciler tarafından kullanılmaktadır.[1]

Kalkerin mineralojik incelemesinde saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluştuğu görülür. Kalsit ve aragonit; kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup, teorik olarak %56 CaO ve %44 CO₂ içerir. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkincil derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orijinal halde sarı renkli olup kahverengi ve siyah renklerde de görülebilmektedir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2,5-2,7 gr/cm³ arasındadır. Yeraltı sularında travertenler şeklinde, deniz ya da tatlı sularda ise kimyasal, organik veya mekanik çökeltme sonucu kalker yatakları oluşur. Oluşum süreçlerinden de anlaşılacağı üzere kalker iki ana grupta toplanabilmektedir. Organik ve kimyasal kireçtaşları otokton, klastik kireçtaşları ise allohton olarak kabul edilmektedir. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, detritik ve kimyasal materyaller ihtiva etmektedir.[1]

Kalsit (hegzagonal CaCO₃) ve aragonit (ortorombik CaCO₃) kristallerinin her ikisi de genç kireçtaşı oluşumlarında yer alabilmektedir. Aragonit kristallerinin kalsit kristallerine daha kolay dönüşebilmesi nedeniyle eski kireçtaşı oluşumlarında aragonit kristalleri bulmak güçtür. Kalkerler hangi yolla oluşurlarsa oluşsunlar, doğada buldukları durumları ile bileşimlerinde kalsiyum karbonatın yanı sıra; magnezyum karbonat, kil mineralleri, demir silikat-oksit ve sülfürleri, silikat asidi (SiO₂) gibi bileşikler içerirler. Bu bileşiklerin bir kısmı kalker oluşumu esnasında ve oluşum ortamının koşullarına bağlı olarak gelebildiği gibi diyajenez esnasında ve etkenleri ile de gelebilir. Bu durumda kökene bağlı olarak içerdikleri primer safsızlıkları oluştururlar. Kalker oluşumunun tamamlanmasından sonra gelen safsızlıklar ise daha çok orojenik-epirojenik hareketler metamorfizma, tektonizma, metazomatik ve atmosferik olaylar ile oluşan sekonder safsızlıklar olmaktadır.[1]

Bütün bu safsızlıklar ile gerek mineralojik gerekse kimyasal bileşim açısından görülen değişiklikler yanında yapı ve dokularına ilişkin kalkerlerin gösterdikleri ayrıcalıklar niteliklerini oluşturur. İçerdikleri maddelere göre oluşan kalkerlerin nitelikleri esas alınıp pek çok sınıflamalar yapılarak verilen adlandırmalarla çeşitlere ayrılmıştır. Kalkerlerin en çok içerdikleri ve teknolojik özelliklerini Çimento Sanayisinde yansıtan kil, kalsiyum ve magnezyum karbonat % miktarlarına göre yapılan ayırım ve sınıflama olarak birçok ülkede ve ülkemizde de kullanılan bir adlandırma olarak aşağıda verilmiştir.[1]

Tablo 6.1. Türkiye’de Kullanılan Kalkerlerin Adlandırılması.[1]

Toplam % CaCO ₃	Adlandırma	MgCO ₃ (5-30)	Miktarı (%) 30’ dan fazla
90-100	Kalker	Dolomitik kalker	Dolomit
85-90	Marnlı kalker	Dolomitik marn	Marnlı dolomit
70-85	Kalkerli marn	Dolomitik kalkerli marn	Dolomitik marn
50-70	Marn	Dolomitli marn	Dolomitli marn
30-50	Killi marn	Dolomitik killi marn	Dolomitik killi marn
10-30	Marnlı kil	Dolomitik marn	Dolomitik marnlı kil
0-10	Kil	Kil	Kil

Kalkerlerin içerdikleri CaCO₃ ve CaO % miktarları safliklarını göstermektedir.[1]

Görüldüğü gibi, kayacın tüm kimyasal bileşimindeki CaCO₃ miktarı % 90’ dan fazla olduğundan kalker (kireçtaşı) olarak adlandırılır ve % 98.5’ den fazla CaCO₃ olduğunda çok fazla saf kalker sınıfına girer.[1]

Çok fazla saf kalkerlerin genel olarak fiziksel özelliği aşağıda verilmiştir.[1]

Basınç dayanımı: 100-1900 kg/cm²

Çekme dayanımı: 20-60 kg/cm²

Elastisite modülü: E = 2600-3000 kg/mm² (Kristalli kalker)

: $E = 1900-3000 \text{ kg/mm}^2$

Young modülü: $2.5-8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

Poisson katsayısı: 0.07-0.35

Genleşme katsayısı: 0.00001-0.000035 1° C (100-150 $^\circ \text{ C}$, için)

Isı kapasitesi: 1 j/gr (50 $^\circ \text{ C}$)

Özgül Isısı: 113.65-119.65 Kcal/kg $^\circ \text{ C}$ (40 $^\circ \text{ C}$)

Reaksiyon ısısı: 422 Kcal/gr. Mol. (25 $^\circ \text{ C}$)

Elektrik iletkenliği: 10^{-5} mho/cm

Kireçtaşının birçok kullanım alanı olmakla birlikte tüketimin en yoğun olduğu sektörler aşağıda verilmektedir.[2]

- Hazır beton yapımında
- Yol yapımı ve dolgu işlerinde
- Çimento üretiminde
- Kireç üretiminde

Bu alanlardan en fazla tüketim payına % 40-70 oranıyla hazır beton yapımıyla birlikte yol yapımı ve dolgu işleridir. Bu amaçla kullanılacak olan kireçtaşı; temiz, kuru, kübik formda, yüksek aşınma mukavemetine ve sertliğe sahip olmalıdır. Bu alanda kullanılan yıllık mıcır miktarı, dünyada yaklaşık 1.5 milyar ton/yıl; Türkiye’de ise yaklaşık 280 milyon ton/yıl civarındadır. Bu değer, Türkiye’deki toplam kireçtaşı üretiminin yaklaşık % 75’ ine karşılık gelmektedir (DPT, 2001).

Kireçtaşının ikinci büyük kullanım alanı çimento ($\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) üretimidir. Çimentonun ana hammadde girdisi % 80’ e varan oranlarla düşük magnezyumlu (en fazla % 5) kireçtaşıdır. Bir ton çimento üretimi için yaklaşık bir ton kireçtaşına ihtiyaç vardır. Dünyada çimento üretimi yaklaşık 1.5 milyar ton/yıl olup Türkiye’ de bu miktar 2007 yılı itibariyle 49 milyon 255 bin tondur. Diğer bir deyişle toplam kireçtaşı üretiminin % 15’ i bu amaçla tüketilmektedir (DPT, 2001).[2]

Sönmemiş kireç üretimi için kullanılan yıllık kireçtaşı miktarının dünyada 750 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (DPT, 2001). Türkiye’ de ise bu miktar kabaca 15 milyon ton/yıl civarında olup, toplam kireçtaşı üretiminin % 4’ üne tekabül eder.[2]

Türkiye genelinde Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) kayıtlarına göre sayıları yaklaşık 2750 adet olan kalker işletmesinde başlıca üç tip kayacın üretimini yapmaktadırlar. Bunlar sedimenter kökenli karbonat kayaçlar (kireçtaşı, dolomit ve kalsit), detritik kayaçlar (kumtaşı vb.) ve volkanik kökenli kayaçlardır (bazalt ve andezit). Karbonat kökenli kayaçların sınıfına giren kireçtaşı toplam üretim miktarı içinde %96’ lık paya sahiptir (Öztürk vd., 2007).[2]

6.3 Bölgenin jeolojik yapısı

İzmir körfezinin kuzeydoğusunda kalan bölgenin temelinde Menderes masifine ait metoformik kayaçlar yer almaktadır. Paleozoyik yaşlı bu kayaçlar, Mesozoyik ve Senozoyik’ te gelişmiş farklı litolojideki birimler tarafından uyumsuz olarak izlenmektedir. Bölge tektonik olayların etkisi ile zaman içerisinde kıvrımlı, kırıntılı ve bindirmeli bir yapı kazanmıştır. Farklı litolojik istiflerin izlediği Mahmut Dağı, Çal Dağı, Nif Dağı, Spil Dağı ve Yamanlar Dağı KD-GB doğrultulu bu bindirmelerin etkisi ile oluşmuş üç ayrı dilimi simgelemektedir.[3]

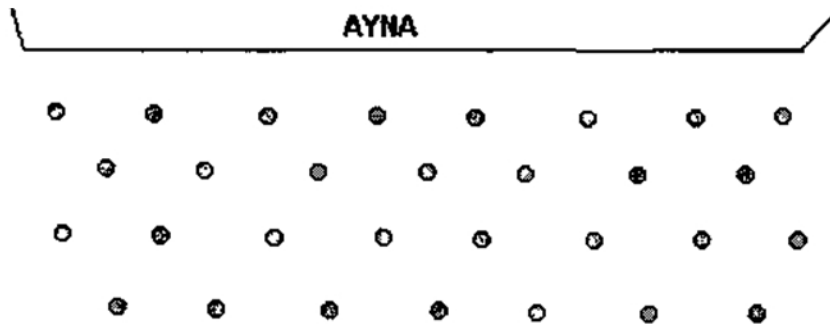
Bölgede paleozoik yaşlı temellere ait metomorfik birimler açığa çıkmaktadır. En yaşlı istifleri Bornova-Manisa yolunun KB’ sında yüzeyleyen dolomitik kireçtaşları oluşturmaktadır. Altta ince tabakalı açık gri beyaz renkli ve yer yer değişik breşik doku gösteren bu birim bölgede yüzeyleyen diğer formasyonlar ile tektonik dokanaklıdır. Dolomitik kireçtaşlarının üzerinde onunla düşey ve yatay geçiş gösteren kretase Rudistli kireçtaşları gelmektedir. Bölgede bu birimler karbonatlarla yanal geçiş gösteren flip karakterindeki çakıltaşı, kumtaşı, şeyl, marn ve killi kireçtaşı ardalanması izlenmektedir. Kretase birimlerin üzerinde belirgin bir uyumsuzlukla kabaçakıllı, kötü boylamlı ve elemanlarını temele ait kayaçların oluşturduğu Miyosen çökeller yerleşmektedir. Miyosen, üste doğru kiltası, marn,

kumtaşı ve volkaniklerden oluşan bir istifeye dönüşmekte ve görsel kireçtaşları ile sona ermektedir. Bölgenin stratigrafik kesiti incelendiğinde mesozoyik ve senozoyik yaşlı birimlerin yüzeylendiği görülmektedir. Çökel kayalardan oluşan bu birimler paleozoyik yaşlı Menderes masifine ait metamorfik kayalar üzerinde uyumsuz olarak yerleşmektedir.[3]

Bölgenin tektonik yapısını Alpin hareketleri ve Menderes Masifi deformasyonları belirler. Genellikle KD-GB gidişli olan ve çeşitli litolojik birimlerin aynı doğrultudaki uzanımlarını denetleyen bindirmeler bölgeyi farklı özellikte 3 ayrı dilime bölünmüştür. Bölgede paleozoyik, mesozoyik ile senozoik ilişkileri diskordanslıdır. Genç miyosen çökellerinin dışındaki diğer birimler, bindirmeler ve faylanmalar nedeni ile aşırı kırıklı, kıvrımlı bir yapı kazanmıştır. Kireçtaşı birimini izleyen tektonik hareketlerle aşırı derecede kırılan ve kıvrılanmıştır. Kıvrılma ve kırılma tektoniği sonucu bazı kesimler aşırı ezilmiş, izleyen evrede bu kırık zonlar boyunca karstlaşma gelişmiştir. Erime boşlukları miyosene ait kil ve çakıl malzemesi ile doldurulmuştur.[3]

6.4 İşletmeden uygulanan patlatma tekniği

Maden İşletmelerinde en önemli iş süreçlerinden birisi de patlatmadır. Patlatma, kendisinden sonra gelen bütün iş süreçlerini de teknik ve ekonomik olarak etkileyen bir işlemdir. Bu nedenle doğru planlanmış ve tekniğine uygun icra edilen bir patlatma tasarımı işletmeye büyük faydalar sağlamaktadır. Aksi durumda ise, ton başına patlatma giderlerinin fazla olmasının yanında, nakliyat, kırma-eleme gibi diğer iş süreçleri de gerek verim, gerekse maliyet açısından olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 6.2 Genel Delik Düzeni ve Boyutlandırılmadaki Değişim

Tablo 6.2 İşletmenin patlama verileri

Delik Çapı (mm)	105
Dilim Kalınlığı (m)	4
Delikler Arası Mesafe (m)	3
Sıralar arası Mesafe (m)	3

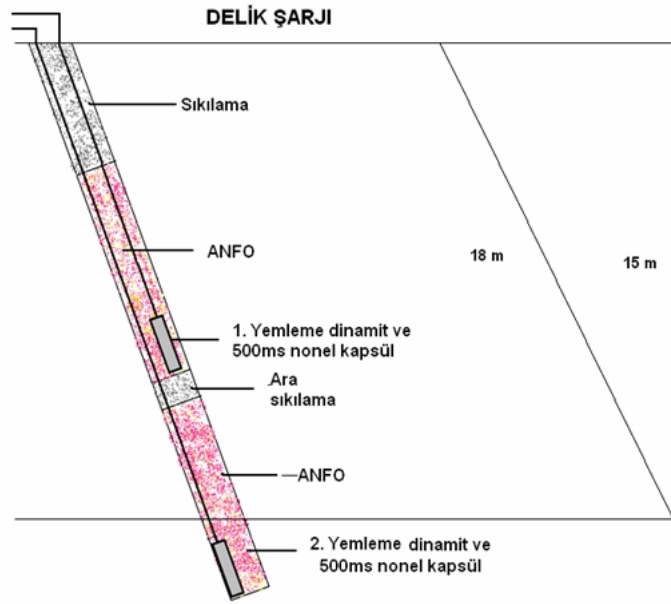
İşletmede sıkılama oranı delikler arası mesafe kadar yapılmaktadır.(delik uzunluğu 18m için)

İşletmede kullanılan anfo miktarı 110kg'dır. (18m delik uzunluğu ve 105mm delik çapı için)

İşletmede emülite tipi yemleme kullanılmaktadır. (500gr x 2adet)

İşletmede 500ms gecikmeli nonel kapsül kullanılmaktadır. (12m veya 18m)

İşletmede delikler arası gecikme yüzey bağlantıları ile verilmektedir. (65ms, 4m)



Şekil 6.3 Şarj edilmiş deliğin kesit görüntü

6.5 Ortalama süreksizlikler arası mesafeler

Hesaplanan ortalama süreksizlik aralıklarının aritmetik ortalaması alınmış ve 3 farklı doğrultu için ortalama süreksizlik aralığı değeri bulunmuştur. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

KD-GB Doğrultusu ortalama süreksizlik aralığı: 1,92 m

KB-GD Doğrultusu ortalama süreksizlik aralığı: 3,08 m

D-B Doğrultusu ortalama süreksizlik aralığı: 1,21 m

6.6 Hacimsel eklem sayısının hesaplanması

Her bir ölçüm hattı için hesaplanan ortalama süreksizler arası mesafe değerleri eşitlik yerlerine konularak, 3 farklı doğrultuda bulunan süreksizliklerin hacimsel eklem sayısı hesaplanmış ve değerlerle karşılaştırılarak blok boyutları tanımlanmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

KD-GB Doğrultusu hacimsel eklem sayısı;

$$j_v = 17,97 \text{ eklem/m}^3 \text{ (Çok eklemli-Küçük bloklar).}$$

KB-GD Doğrultusu hacimsel eklem sayısı;

$$j_v = 4 \text{ eklem/m}^3 \text{ (orta derece eklemli-orta büyüklükte blok).}$$

D-B Doğrultusu hacimsel eklem sayısı;

$$j_v = 1,97 \text{ eklem/m}^3 \text{ (Az eklemli-Geniş bloklar) olarak bulunmuştur.}$$

6.7 Ortalama blok boyutu hesaplanması

3 farklı doğrultu için hesaplanan ortalama süreksizlikler arası mesafeler metre cinsinden yazılarak ocaktan alınabilecek ortalama blok boyutu;

$$V_{ort} = 1,92 \text{ m} \times 3,08 \text{ m} \times 1,21 \text{ m} = 7.15 \text{ m}^3 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

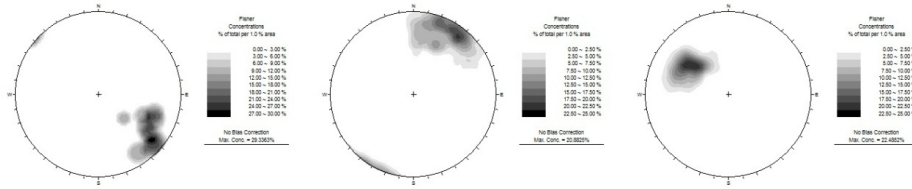
6.8 Gül diyagramı ve stereonet

Arazi çalışmaları ile saptanan çok sayıdaki tabaka, çatlak veya fay gibi düzlemsel yapıların topluca gösterilebildiği ve değerlendirildiği yöntemlerden biri de Gül diyagramlarıdır. Gül diyagramlarının hazırlanması diğerlerine göre daha kolaydır. Bunlar tamamlandığında güle benzedikleri için bu isim ile anılırlar.

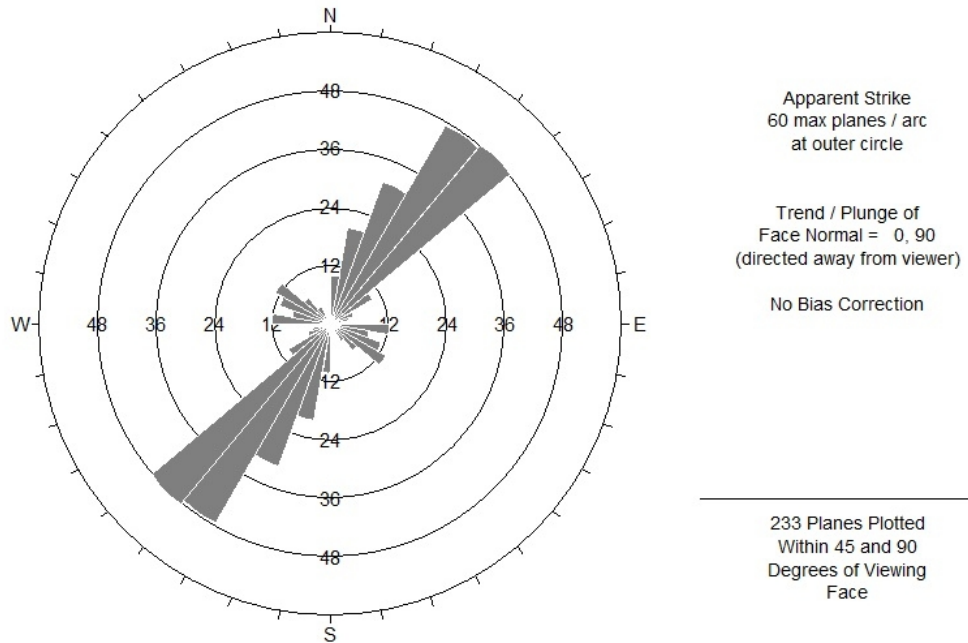
Bilindiği üzere düzlemsel yapıların deformasyonu ile bunları etkileyen kuvvet yönleri arasında yakın ilişki vardır. Bu diyagramların yapılmasındaki amaç, düzlemsel yapıların bir yandan topluca istatistikî değerlendirmesini yapmak, diğer yandan bu yapısal deformasyonların kendilerini oluşturan kuvvet yönleri ile ilişkilerini ortaya çıkarmaktır.

Gül diyagramları istatistikî değerlendirme açısından bir bakıma kontur diyagramlarına benzerler. Ancak, bunlar yapılaş tarzları ve bazı özellikleri açısından kontur diyagramlarından farklılık gösterirler. Bu diyagramlar fay, tabaka, çatlak gibi çeşitli düzlemsel yapılardan alınan doğrultu, eğim yönü ve eğim miktarı

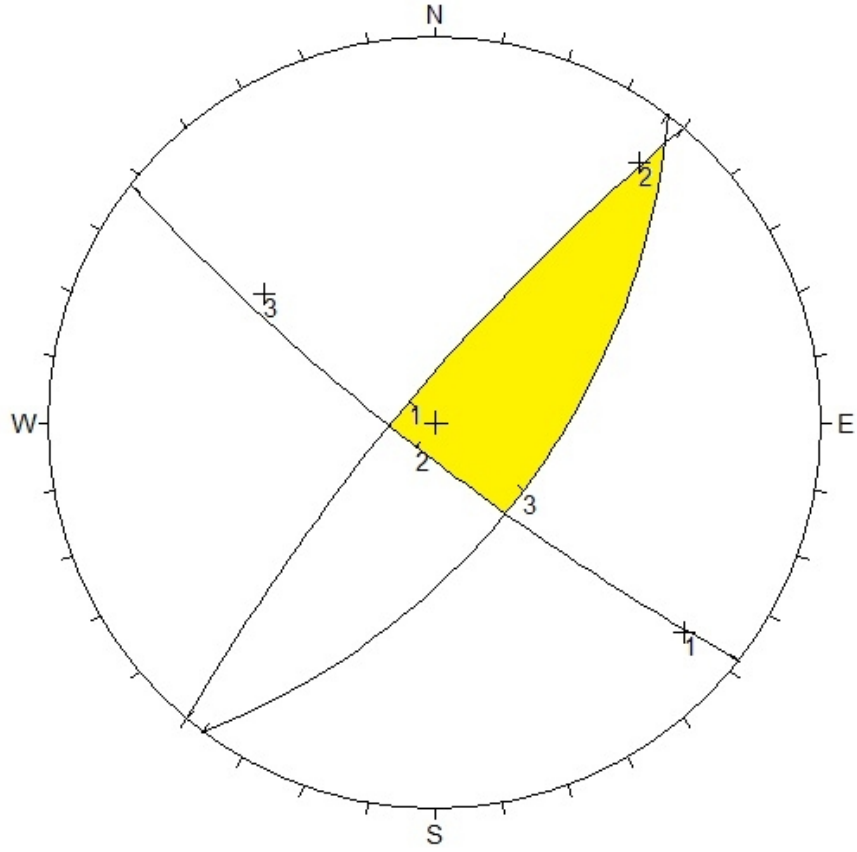
ölçümlerinin, güle benzeyen daire veya yarım daireler üzerinde gösterilmesiyle elde edilir. Tabaka, çatlak, fay gibi düzlemsel yapıların hem doğrultuları, hem eğim yönleri ve hem de eğim miktarları için ayrı ayrı gül diyagramları hazırlanabilir. Bazı hallerde ise kişinin isteğine ve çalışma konusunun amacına göre, doğrultu, eğim yönü ve eğim miktarı değerleri tek bir gül diyagramı üzerinde topluca gösterilebilir. Bu şekilde hazırlanan diyagramlara birleşik gül diyagramı adı verilir. Ancak bu durumda, doğrultu, eğim yönü ve eğim miktarı değerleri ayrı desen veya renk ile gösterilerek okuyucu tarafından kolay algılanması sağlanır.



Şekil 6.4 Ölçülen süreksizlik takımlarının Dips programında stereonette gösterimi



Şekil 6.5 Ölçülen süreksizliklerin Dips programında yapılmış olan gül diyagramı



Şekil 6.6 Ölçülen süreksizlik takımlarının kutup dairelerinin kesişimi

Buradaki egemen çatlak doğrultusu olan $K40^{\circ}D-G40^{\circ}B$ ve $K50^{\circ}D-G50^{\circ}B$ istikametli, basınç gerilmelerinin etkili olduğu istikameti gösterir. Öte yandan doğrultuya dik olan veya egemen eğim yönüne paralel olan $K50^{\circ}B-G50^{\circ}D$ ve $K40^{\circ}B-G40^{\circ}D$ istikametleri ise tansiyon kuvvetlerinin etkili olduğu istikametleri gösterir.

6.9 Görüntü analiz ile süreksizlik özelliklerinin belirlenmesinin örnek uygulanması.

Örnek görüntüler İzmir çevresinde bulunan kireçtaşı ocaklarının faal şevlerinden temin edilmiştir. Görüntüler alınırken mümkün olduğunca düzenli süreksizlik içeren şevler tercih edilse de yapılan patlatmalar nedeniyle özellikle şevlerin üst kısımlarında düzensiz süreksizlikler kaçınılmaz olmuştur.

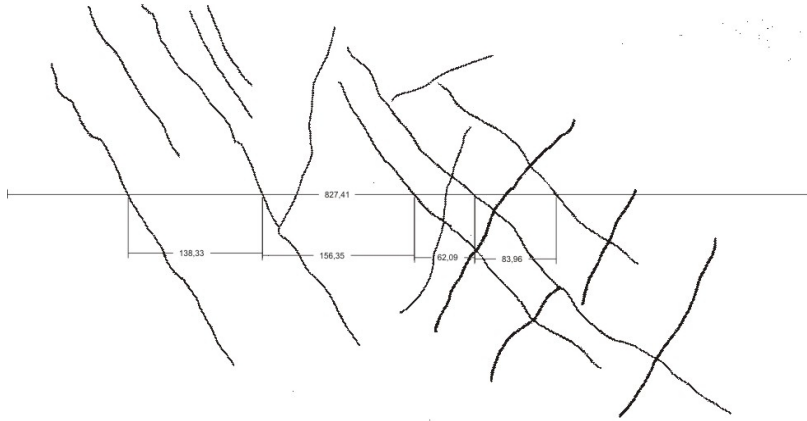
Süreksizlikler ile ilgili özellikler bulunurken gerçek ölçülerin kullanılması gerekmektedir. Yöntem olarak görüntü alma cihazı (sayısal fotoğraf makinası) şevden belli bir uzaklıkta tripod üzerinde sabitlenmiş ve şevin önüne dik biçimde referans büyüklük konularak görüntü alınmış daha sonra sayısal fotoğraf makinasının konumu değiştirilmeden referans büyüklük kaldırılarak tekrar aynı görüntü alınmıştır. Referans büyüklük bulunan birinci görüntünün amacı görüntü üzerindeki gerçek büyüklüklerin değerlerini hesap edebilmesidir. Görüntü zenginleştirme ve analiz işlemleri birinci görüntüden elde edilen referans büyüklük değeri üzerinden ikinci görüntüye uygulanmaktadır (şekil 6.7 ve 6.8).



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.7 (a) Şev aynasının zenginleştirilmiş görüntüsü; (b) Şev aynasının ölçeklendirilmiş görüntüsü (Ölçek: 102 cm= 48,56 mm); (c) Şev aynasında görüntü analiz yöntemiyle basitleştirilmiş hat etüdü.

Görüntü programındaki uygulama şekil 6.7 c'nin ölçüm verileri gerçek ölçüme dönüştürülmüş hali aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Tablo 6.3 Görüntü analiz programındaki ölçüm verilerinin gerçek ölçüme dönüştürülmüş hali

Programdaki ölçüm verileri	Gerçek ölçüm verileri
827,41mm	1737cm
138,33mm	290cm
156,35mm	328.4cm
62,09mm	130,4cm
83,96mm	176,3cm

Görüntü analiz programında süreksizlik analizi için hazır hale getirilen şev aynası görüntüsü üzerinde hat etüdü uygulanmıştır (şekil 6.7 c). Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4 Uygulama görüntüsü 1'in süreksizlik analizi sonuçları

Hat uzunluğu	1737cm
Süreksizlik sayısı	5 adet
Süreksizlik aralığı	2312.75 mm
Süreksizlik sıklığı	0,3
Süreksizlik 1 açıklığı (Ortalama)	2.8cm
Süreksizlik 2 açıklığı (Ortalama)	3.1 cm
Süreksizlik 3 açıklığı (Ortalama)	2.3 cm
Süreksizlik 4 açıklığı (Ortalama)	2.5cm
Süreksizlik 5 açıklığı (Ortalama)	3.2cm

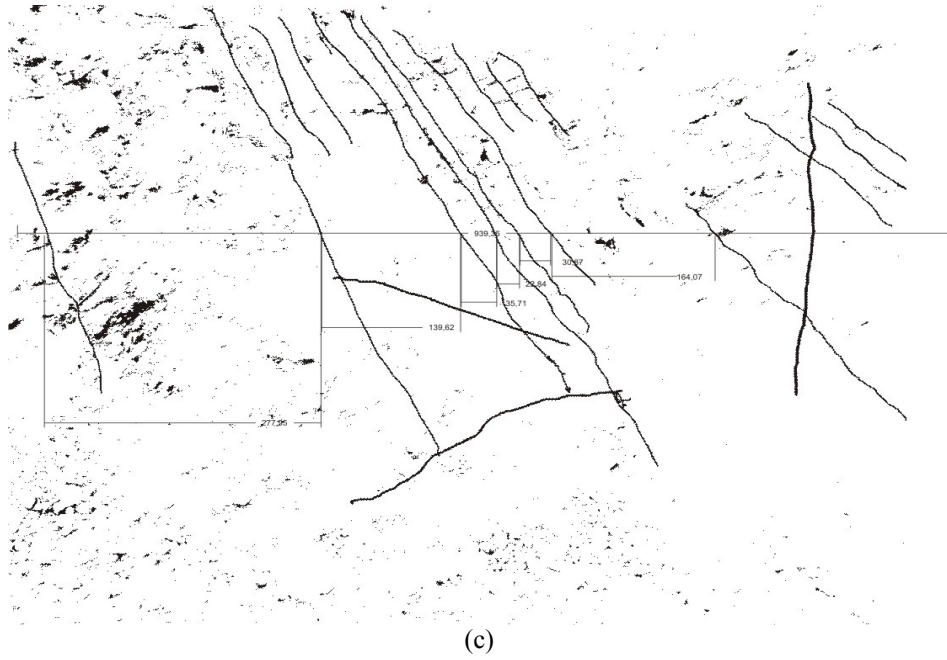
ISRM (1981) tarafından önerilen Süreksizlik Aralığının Tanımlama Ölçütlerine göre örnek şev 1'in görüntüsünün belirlenen hat boyunca ortalama süreksizlik aralığı 2312,75 mm'dir, bundan dolayı "Çok Geniş Aralıklı" sınıfına girmektedir. Ayrıca kaya kütlelerinin RQD değeri 53,25 olarak bulunmuştur.



(a)



(b)



Şekil 6.8 (a) Şev aynasının zenginleştirilmiş görüntüsü; (b) Şev aynasının ölçeklendirilmiş görüntüsü (Ölçek: 102 cm=77,21 mm); (c) Şev aynasında görüntü analiz yöntemiyle basitleştirilmiş hat etüdü.

Görüntü analiz programındaki uygulama şekil 6.8 c'nin ölçüm verileri gerçek ölçüme dönüştürülmüş halı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Tablo 6.5 Görüntü analiz programındaki ölçüm verilerinin gerçek ölçüme dönüştürülmüş hali

Programdaki ölçüm verileri	Gerçek ölçüm verileri
939,36mm	1240,9cm
277,95mm	367,1cm
139,62mm	184,4cm
35,71mm	47cm
22,84mm	30,1cm
30,97mm	40,9cm
164,07mm	216,7cm

Görüntü analiz programında süreksizlik analizi için hazır hale getirilen şev aynası görüntüsü üzerinde hat etüdü uygulanmıştır (şekil 6.8 c). Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6 Uygulama görüntüsü 2'nin süreksizlik analizi sonuçları

Hat uzunluğu	1240,9cm
Süreksizlik sayısı	7 adet
Süreksizlik aralığı	1477,0 mm
Süreksizlik sıklığı	0,5
Süreksizlik 1 açıklığı(Ortalama)	3.5cm
Süreksizlik 2 açıklığı (Ortalama)	3.7cm
Süreksizlik 3 açıklığı (Ortalama)	2.8cm
Süreksizlik 4 açıklığı (Ortalama)	3.1cm
Süreksizlik 5 açıklığı (Ortalama)	3.0cm
Süreksizlik 6 açıklığı (Ortalama)	2.5cm
Süreksizlik 7 açıklığı (Ortalama)	3.0 cm

ISRM (1981) tarafından önerilen Süreksizlik Aralığının Tanımlama Ölçütlerine göre örnek şev 2'in görüntüsünün belirlenen hat boyunca ortalama süreksizlik aralığı 1477,0 mm'dir, bundan dolayı "Geniş aralıklı" sınıfına girmektedir. Ayrıca kaya kütlelerinin RQD değeri 71,14 olarak bulunmuştur.

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR

Özellikle son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak görüntü alma teknolojisinde gelişmesi, görüntü işleme metotlarının ölçüm ve gözlem yöntemi olarak çeşitli disiplinlerde kullanımını arttırmıştır. Görüntü işleme tekniklerinin kullanım alanlarının artmasının doğal sonucu olarak, görüntü işleme ve analiz teknikleri yoğun olarak araştırılmış ve yeni birçok teknik endüstriyel anlamda kendine uygulama alanı bulmuştur. Bu çalışmada da görüntü işleme tekniklerinin kaya kütleler üzerinde uygulanabilirliği araştırılmış ve alternatif ölçüm yöntemi olarak süreksizlik özelliklerinin belirlenebilirliği tartışılmıştır.

Görüntü alma teknolojisinde geliştirilen sayısal fotoğraf makineleri ile önceleri fotoğraf filmlerinden tarayıcılar ile bilgisayar belleğine alınabilen görüntüler artık doğrudan bilgisayar belleğine alınabilmektedir. Bu durum sayısal fotoğraf makinelerinin istenilen konumda yerleştirilerek doğrudan yüksek çözünürlüklü görüntü alınmasına imkân sağlamakta ve tarayıcı hatalarından kaynaklanan problemleri ortadan kaldırmaktadır. Bu şekilde sayısal görüntülerdeki bilgilerin güvenilirliği artmakta ve analiz çalışmalarında kullanılabilirliği artmaktadır.

Temel ilkeleri çalışmada tanıtılan görüntü işleme teknikleri genel olarak görüntünün zenginleştirilmesi, biçimlendirilmesi ve analizi aşamalarından oluşmaktadır. Zenginleştirme aşamasında iki boyutlu görüntü matrisinin parlaklık değerleri noktasal, bölgesel veya küresel teknikler kullanılarak daha net görülmesi sağlanır. Görüntü biçimlendirme çalışmalarına zenginleştirilmiş görüntü üzerinde analiz öncesi görüntüde bulunan köşelerin tespit edilmesi sınıflandırılması gibi çalışmalar yapılır. Görüntü analizi çalışmalarında ise zenginleştirilmiş ve biçimlendirilmiş görüntü üzerinde analizler yapılarak gerçek değerler elde edilir.

Araştırma kapsamında, temel özellikleri tanıtılan görüntü işleme tekniklerini gerçekleştiren bir bilgisayar programı söz konusudur. Görüntü analiz programı görüntü işleme tekniklerinin uygulanmasına olanak sağlamaktadır.

Görüntü analiz programının fonksiyonun biri de süreksizlik özelliklerini belirleme fonksiyonudur. Bu fonksiyon ile detayları çalışmada sunulan kaya kütlelerinin süreksizlik aralığı, süreksizlik sıklığı ve süreksizlik açıklıkları gibi özelliklerinin görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla İzmir çevresinde faaliyet gösteren bir kireçtaşı ocağının aktif şevlerinden alınan görüntüler temel görünü zenginleştirme ve biçimlendirme aşamalarından geçirilmiş ve süreksizlik fonksiyonu başarı ile uygulanmıştır. Burada amaç görüntü işleme teknikleri ile süreksizliklerin tespit edilebilirliği ve analiz edilebilirliğine ait genel bir bilgisayar algoritması geliştirmek olması nedeniyle uygulama çalışmaları özelleştirilmemiş, kaya kütlesi özelliklerini taşıyan görüntüler seçilmiştir.

Görüntü işleme yöntemleri kullanılarak süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi özellikle arazi çalışmalarında, bilgilerin toplanması, depolanması ve analiz edilmesi açısından kolaylıklar getirmektedir. Ancak doğal ortamda alınan görüntülerin kalitesi ve kolay analiz edilebilirliği, görüntü alma cihazının kapasitesinin yanında ışığın konumundan da etkilenmektedir. Bu nedenle görüntüde bulunan gölgelerin, analiz çalışmalarındaki hataları en az düzeyde etkileyecek çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca görüntüde bulunan büyüklüklerin gerçek büyüklüklere çevrilmesinde, görüntü alma cihazlarının teknolojisi nedeniyle hatalar oluşabilmektedir. Bu hatalar en aza indirecek çalışmalar yapılmalı bunun yanında üç boyutlu analiz çalışmalarına imkân sağlayacak teknikler geliştirilmelidir.

Süreksizlik fonksiyonu için seçilen iki adet şev görüntüsünden görüntü işleme teknikleri çalışmada detaylandırılmıştır. Bunlardan ilkinde 1737cm hat uzunluğunda 5 adet süreksizlik tespit edilmiş ve süreksizlik aralığı 2312,75 mm olarak bulunmuştur. Bu süreksizlik aralığı değeri ISRM (1981) tarafından verilen Süreksizlik Aralığının Tanımlama Ölçütleri sınıflamasında “Çok Geniş Aralıklı”

sınıfına girmektedir. Ayrıca Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen RQD değeri % 53,25 olarak bulunmuştur.

Görüntü analiz programında incelenen ikinci şev görüntüsünde 1240,9cm hat uzunluğunda 7 adet süreksizlik tespit edilmiştir. Buna göre süreksizlik aralığı 1477,0 mm ve süreksizlik sıklığı 0.5 olarak bulunmuştur. Bu süreksizlik aralığı değeri ISRM (1981) tarafından verilen Süreksizlik Aralığının Tanımlama Ölçütleri sınıflamasında “*Geniş Aralıklı*” sınıfına girmektedir. İkinci şev görüntüsünün RQD değeri ise % 71,14 olarak bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda görüntü işleme metotları ile süreksizlik özelliklerin tespit edilebildiği ortaya konmuş ayrıca bu işlemleri yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Arslan, E.S., Karakuş, D., Akar, G., Artan, K., Özdoğan, M.V. (2009). *4. Sondaj Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. İzmir: TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları
- Gaich, A., Pötsch, M., Schubert, W. (2005), *Basics, principles and application of 3D imaging systems with conventional and high-resolution cameras*, American Rock Mechanics Association
- Hadson, J. A., Harrison, J. P. *Engineering Rock Mechanics*. London: Imperial College of Science, Technology and Medicine University of London.
- Karakuş, D. (2006). *Görüntü Analiz Yöntemleri İle Kayaçların Yapısal Özelliklerinin Tanımlaması*. İzmir: Doktora Tezi, D.E.Ü., Fen Bil. Enst.
- Kemeny, J., Post, R. (2002). Estimating three-dimensional rock discontinuity orientation from digital images of fracture traces. *Computers & Geosciences*, 29,65-77.
- Knapen, B. V. & Siefko, S. (2006). Identification and characterisation of rock mass discontinuity sets using 3D Laser Scanning. *Delft University of Technology*.
- Lemy, F., Hadjigeorgiou, J. (2003). Discontinuity trace map construction using photographs of rock exposures. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 40 (6), 903–917.
- Reid, T. R., Harrison, J. P. (2000) A semi-automated methodology for discontinuity trace detection in digital images of rock mass exposures. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 37, 1073-1089
- Roncella, R., Forlani, G., Remondino, F. (2004). Photogrammetry for geological applications: Automatic retrieval of discontinuity orientation in rock slopes. *Institute of Geodesy & Photogrammetry, ETH Zurich-Switzerland*.

Siefko, S., Robert, H., Keith, A. (2002). An Approach to automate discontinuity measurements of rock faces using Laser Scanning techniques. *ISRM International Symposium on Rock Engineering for Mountainous regions-Eurock 2002, Funchal*.

Slob, S., Hack, R., Kan-Knopen, B., Kemeny, J. (2004). Automated identification and characterisation of discontinuity sets in outcropping rock masses using 3D terrestrial laser scan survey techniques. *Eurock 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium*.

Ulusoy, R. ve Sönmez, H. (2007). *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri* (2. Baskı). Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisler Odası Yayınları

Van de Sten, B., Vervoort, A., Sahin, K. (2002). Influence of Internal structure of crinoidal limestone on fracture paths. *Engineering Geology* 67, 109-125.

Yavuz, A.B., (2001). *Muğla Yöresi Mermer Ocaklarında Blok Mermer Üretimini Etkileyen Jeolojik Parametreler*. İzmir: Doktora Tezi, D.E.Ü., Fen Bil. Enst.

Solver Kimya, web sayfası, <http://www.solverkimya.com/site/makaleler/endustriyel-urunler-makaleleri/kirectasi-ozellikleri.html>. [1]

Konak, G., Onur, A.H., Karakuş, D. 2009. *İnşaat Sektörünün İhtiyacı Olan Agreganın İşletilmesi ve Kentsel Faydaları*. İzmir: TMMOB İzmir Kent Sempozyumu. [2]

Konak, G., Toprak, T. *Süreksizliklerin Patlatma Verimi Üzerine Etkisinin Araştırılması*. İzmir: Bitirme Tezi, D.E.Ü., Maden Müh. Bölümü. [3]