

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL TAŞ MADEN OCAKLARININ
PLANLANMASI AMACIYLA
SÜREKSİZLİKLERİNİN ÜÇ BOYUTLU
OLARAK MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. İbrahim Emre ÖNSEL

Anabilim Dalı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

**DOĞAL TAŞ MADEN OCAKLARININ
PLANLANMASI AMACIYLA SÜREKSİZLİKLERİNİN
ÜÇ BOYUTLU OLARAK MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. İbrahim Emre ÖNSEL
505031007**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erkin NASUF (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Mustafa ERDOĞAN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Selamet G. ERÇELEBİ (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım için konu seçiminde ve tezin sürdürülmesinde her türlü desteği veren Prof. Dr. Erkin NASUF'a;

Çalışmalarım sırasında her türlü katkıyı sağlayan Prof.Dr. Gündüz ÖKTEN'e;

Birikimlerini ve kaynaklarını benimle paylaşan Doç. Dr. Selamet ERÇELEBİ'ye;

Tezin bütün aşamalarında yanımda olan, bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen Atilla ÖZTÜRK'e;

Uygulama çalışmalarında bana yardımcı olan Prof.Dr. Mustafa ERDOĞAN'a TEKMAR mermer şirketine, Gen. Müd. Ali EMİROĞLU ve Müh. Osman Özalp KARA'ya;

Fakültede geçirdiğim akşamlarda beni yalnız bırakmayan arkadaşlarım Murat ÖZKAN, Sinan Burak AVCI ve Fırat KARAKAŞ'a;

Anlayış ve sabırları için de aileme ve diğer dostlarıma;

Teşekkür ederim...

Haziran 2006

Emre ÖNSEL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Süreksizlikler	2
1.1.1 Faylar	2
1.1.2 Eklemler	4
1.1.3 Yataklanma Düzlemleri	5
1.1.4 Çatlaklar, Fisürler ve Diğerleri	5
2. SÜREKSİZLİK ÖLÇMELERİ	6
2.1 Sondaj	6
2.2 Gözlem Hattı	7
2.3 Verilerin Programa Girilmesi	8
3. SÜREKSİZLİK TAKIMLARININ BELİRLENMESİ	11
3.1 Süreksizlik Oryantasyonu	11
3.2 Takımların Belirlenmesi İçin Algoritmalar	17
3.2.1 İstatistiksel Yöntem	17
3.2.2 Bulanık K-Ortalaması	18
4. SÜREKSİZLİK TAKIMLARININ ÖZELLİKLERİ	23
4.1 Süreksizlikler Arası Mesafe	23

4.1.1	Poisson Süreci	23
4.1.2	Süreksizlikler Arası Mesafenin İstatistiksel Olarak İncelenmesi	24
4.1.3	Olasılık Dağılım Eğrileri	28
4.1.4	Olasılık Dağılım Eğrisi Uygunluk Testleri	32
4.2	Çatlak Geometrisi	33
4.2.1	Çatlak Çapları Dağılım Eğrisinin Elde Edilmesi	34
4.2.2	Algoritma	36
4.2.3	Program Arabirimi	37
4.2.4	Optimizasyon Yöntemleri	38
4.3	Diğer Özellikler	47
4.3.1	Açıklık	47
4.3.2	Pürüz, Dalga	48
4.3.3	Dolgu	54
4.3.4	Su Durumu	57
4.3.5	Dolgunsuz Süreksizlikler	58
4.3.6	Dolgulu Süreksizlikler	58
5.	RASTGELE ÇATLAK AĞLARININ OLUŞTURULMASI	60
6.	UYGULAMA	63
7.	SONUÇ	75
	KAYNAKLAR	77
	ÖZGEÇMİŞ	816

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Q Parametresi	13
Tablo 4.1. Olasılık Dağılımları	30
Tablo 4.2. Çeşitli çalışmalar sonucunda, doğada rastlanan süreksizlikler arası mesafe ve iz uzunluğu olasılık dağılım eğrileri	31
Tablo 4.3. Süreksizlik Açıklıklarının Sınıflandırılması	48
Tablo 4.4. Golder Hoek ve Derneğine göre pürüzlülük ve dalgalılık sınıflamaları. .	50
Tablo 4.5. Çatlak dalgalılığının belirlenmesi.	52
Tablo 4.6. Çatlak pürüzlülüğünün karakterizasyonu	54
Tablo 4.7. Wentworth Skalası	55
Tablo 4.8. Dolgulu süreksizliklerde su durumuna göre sınıflandırma.....	56
Tablo 4.9. Su sızıntısının sınıflandırılması.....	58
Tablo 5.1. Dağılımlara Uygun Rastgele Sayı Üretmek için Denklemler.....	61

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Boyutlarına göre süreksizlikler.	2
Şekil 1.2 : Fayların atım yönlerine göre başlıca çeşitleri	3
Şekil 2.1 : Karot üzerindeki süreksizlik.....	7
Şekil 2.2 : Jeolog Pusulaları A: Alman Tipi Pusula B: Brunton Pusulası.....	8
Şekil 2.3 : Gözlem Hattı/Sondaj Özelliklerinin Girildiği Form.....	8
Şekil 2.4 : Süreksizlik Özelliklerinin Girildiği Form.....	9
Şekil 2.5 : Verilerin Saklandığı XML Dosyası Örneği	10
Şekil 3.1 : Doğrultu, eğim ve eğim yönü arasındaki ilişkiler	11
Şekil 3.2 : Koordinat Sisteminde Oryantasyon.....	12
Şekil 3.3 : Eşit Açılı Projeksiyon	14
Şekil 3.4 : Eşit Alanlı Projeksiyon	15
Şekil 3.5 : Eşit alan projeksiyonundaki vektörlerin özvektörleri.....	21
Şekil 4.1 : Süreksizlikler Arası Mesafe Verisinin İstatistiksel Özellikleri.....	25
Şekil 4.2 : Süreksizlikler Arası Mesafe Verisinin Başlangıç Değeri ve Sınıf Aralığı Verilerek Frekansının Hesaplanması	26
Şekil 4.3 : Süreksizlikler Arası Mesafe Verisinin Histogramı ve Bu Veriye Uygun Eğri.....	27
Şekil 4.4 : Süreksizlikler Arası Mesafe Verisinin Kümülatif Histogramı ve Bu Veriye Uygun Eğri.....	27
Şekil 4.5 : Histogram Grafiği ile İlgili Yapılabilir Ayarlar	28
Şekil 4.6 : Süreksizlik Kesiti.....	35
Şekil 4.7 : İz Uzunluğu Histogramı ve Olasılık Yoğunluk Dağılımı	37
Şekil 4.8 : İz Uzunluğu Olasılık Yoğunluk Dağılımından Faydalanılarak Elde Edilen Süreksizlik Çapı Dağılım Eğrisi	38
Şekil 4.9 : Newton Yöntemiyle Köke Ulaşılması	40
Şekil 4.10 : Newton yönteminin kökü bulamadığı bir durum	41
Şekil 4.11 : Newton yönteminin tekrara girdiği bir durum	41

Şekil 4.12 : Steepest Descent Yöntemi.....	45
Şekil 4.13 : Steepest Descent Yöntemi.....	46
Şekil 4.14 : Süreksizliklerdeki Açıklık Türleri	47
Şekil 4.15 : Pürüzlülük ve Dalgalılığın Gösterilmesi.....	48
Şekil 4.16 : Pürüzlülük Profilleri	50
Şekil 4.17 : Pürüzlülük Pprofilleri.....	51
Şekil 4.18 : Pürüzlülük Profilleri	53
Şekil 4.19 : Dolgu Malzemesinin Kalınlığı	57
Şekil 5.1 : Örnek VRML çıktısı	62

DOĞAL TAŞ MADEN OCAKLARININ PLANLANMASI AMACIYLA SÜREKSİZLİKLERİNİN ÜÇ BOYUTLU OLARAK MODELLENMESİ

ÖZET

Kaya mostralarında, şeritmetre ve jeolojik pusula kullanılarak toplanan veriler, süreksizliklerin rastgele dağıldığı ve dairesel olduğu kabul edilerek işlenir. Elde edilen istatistiksel verilere uygun rastgele çatlaklar üretilerek kaya kütesinin görünmeyen bölümlerindeki çatlaklarla aynı istatistiki özelliklere sahip 3 boyutlu çatlak haritası elde edilir. Bu haritalar, mermer ve granit gibi doğal taş malzemelerinin üretiminin gerçekleştirildiği maden ocaklarındaki yapının değerlendirilmesinde kullanılır. Bu sayede ocak planlanması, üretilecek blok boyutlarının kestirilmesi, verimi ve tüm ocak faaliyetlerinin optimizasyonunun yapılması sağlanabilir. Bu çalışmanın amacı, söz konusu haritanın elde edilebilmesini sağlayacak bir yazılımın geliştirilmesi ve doğal taş madenlerinde uygulanabilir hale getirilmesidir.

THREE DIMENSIONAL MODELLING OF DISCONTINUITIES FOR PLANNING OF NATURAL STONE QUARRIES

SUMMARY

The data, which is collected from exposed rock faces by using a tape meter and a geologic compass, is processed with the acceptance of circular shape and randomness of discontinuities. Random fractures are produced by using the obtained statistical information. A 3D discontinuity map is drawn, which has the same statistical properties with the unexposed rock mass. This map is used to validate the structure of the quarries, where natural stones like marble and granite produced. This helps in planning the pits, assuming the dimensions of producible blocks, increasing efficiency and optimizing the mining applications. The aim of this work is to produce a software which is able to obtain this kind of map and make it applicable in natural stone quarries.

1. GİRİŞ

Mermer ve granit gibi doğal taşların, son yıllardaki kullanım oranlarının artışlarına bağlı olarak ülke ekonomisine katkıları da artmaktadır. Bu artış eğiliminin önümüzdeki yıllarda da hızlanarak devam etmesi beklenmektedir. Bu durum, doğal taş ocaklarında gerçekleştirilen üretim çalışmalarının optimizasyonunun araştırılmasını önemli kılmaktadır.

Türkiye ve dünyada artan talebe bağlı olarak, elde edilen kar marjlarının artması ile birlikte, doğal taş sahalarındaki üretimlerin minimum kayıplarla gerçekleştirilmesi, gerek üretici, gerekse ülke ekonomisi açısından son derece önemlidir. Üretim sahasında, üretilen mermer veya granit bloklarının boyutlarını denetleyen en önemli yapısal özellik süreksizliklerdir. Süreksizlik düzlemlerinden yararlanarak blok çıkarılması, üretim hızını arttırıp maliyetleri azaltmaktadır. Bu açıdan, süreksizliklerin modellenerek, sahadaki blokların boyutlarının tayin edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Kaya kütlelerini Palmström (1995) kayaç malzemesi ve süreksizlik olmak üzere 2' ye ayırmıştır. Benzer tanımlamalar, çeşitli araştırmacılar tarafından da ortaya atılmış ve hep bu ortak iki bileşenden bahsedilmektedir. Kayaç malzemesi, herhangi bir kırık tarafından ayrılmamış en küçük kaya elemanıdır. Elastik ve izotropdur. Kaya kütlesi, süreksizlik ağı ve kayaç malzemesinin birlikte oluşturduğu sistemdir. Süreksizlik sisteminin yapısal düzeni, kaya kütlelerinin deformasyon, dayanım ve geçirgenlik özelliklerini ve yataklanma formasyonlarını ve ayrıca büyük miktarda mineral yatağının dağılımını ve gelişimini belirler. Kaya kütlesi üzerinde bu kadar etkisi olan süreksizliklerin modellenerek, haritalarının elde edilmesi doğal taş ocakları haricinde, kaya içersinde gerçekleştirilen birçok mühendislik çalışmasına da büyük katkısı olacaktır.

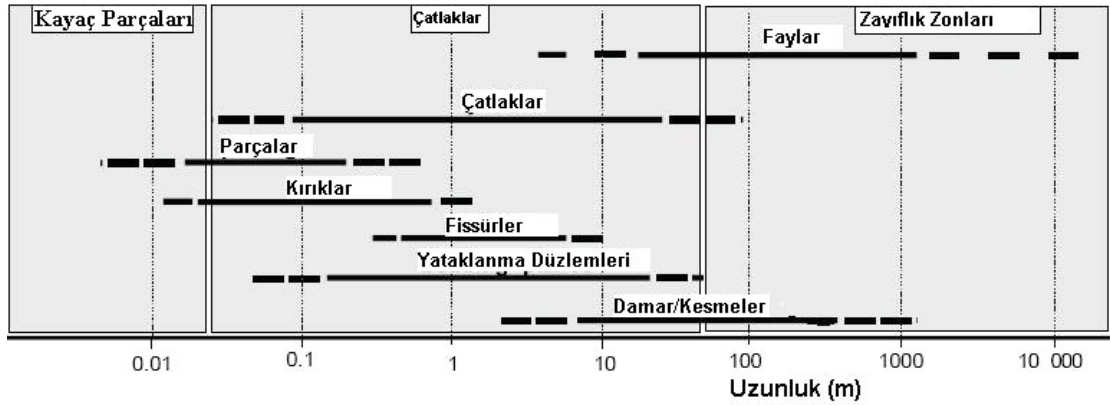
Bu haritalar, patlatma yapılan yer altı ve yerüstü ocaklarında verimlilik hesabında kullanılabilir. Ayrıca açık işletmelerde patlatma verimini arttırmak için haritalardan yararlanılabilir. Yer altı ocaklarında kilit taşı yeri ve boyutu tahmini, su geliri tahmini, atık depolarının projelendirilmesi; açık ocaklara ise şev stabilitesi hesapları ve baraj inşaatlarında sızdırmazlık hesapları süreksizlik haritaları esas alınarak yapılabilir. Metal madenlerinin liçlenebilme potansiyelinin hesaplanmasında,

maden araç ve gereçlerinin seçiminde, yer altı ocağının geliştirilmesi ve yer altı üretim yönteminin seçiminde kullanılabilir.

Bu çalışmanın amacı, söz konusu haritanın elde edilebilmesini sağlayacak bir yazılımın geliştirilmesi ve özellikle doğal taş ocaklarında uygulanabilir hale getirilmesidir.

1.1 Süreksizlikler

Bir kaya kütesinin homojenliğini bozan veya değiştiren yapısal veya jeolojik özelliğe süreksizlik denir (Palmström, 1995). Faylar, eklemler, çatlaklar, kırıklar, fisürler, yataklanma düzlemleri süreksizlikleri oluşturan başlıca yapılardır. Süreksizliklerin boyutları mm' den km' ye varan ölçütlerde değişim göstermektedir. Palmstrom Şekil 1.1' de boyutlarına göre süreksizlikleri sınıflandırmıştır.



Şekil 1.1 : Boyutlarına göre süreksizlikler (Palmström, 1995).

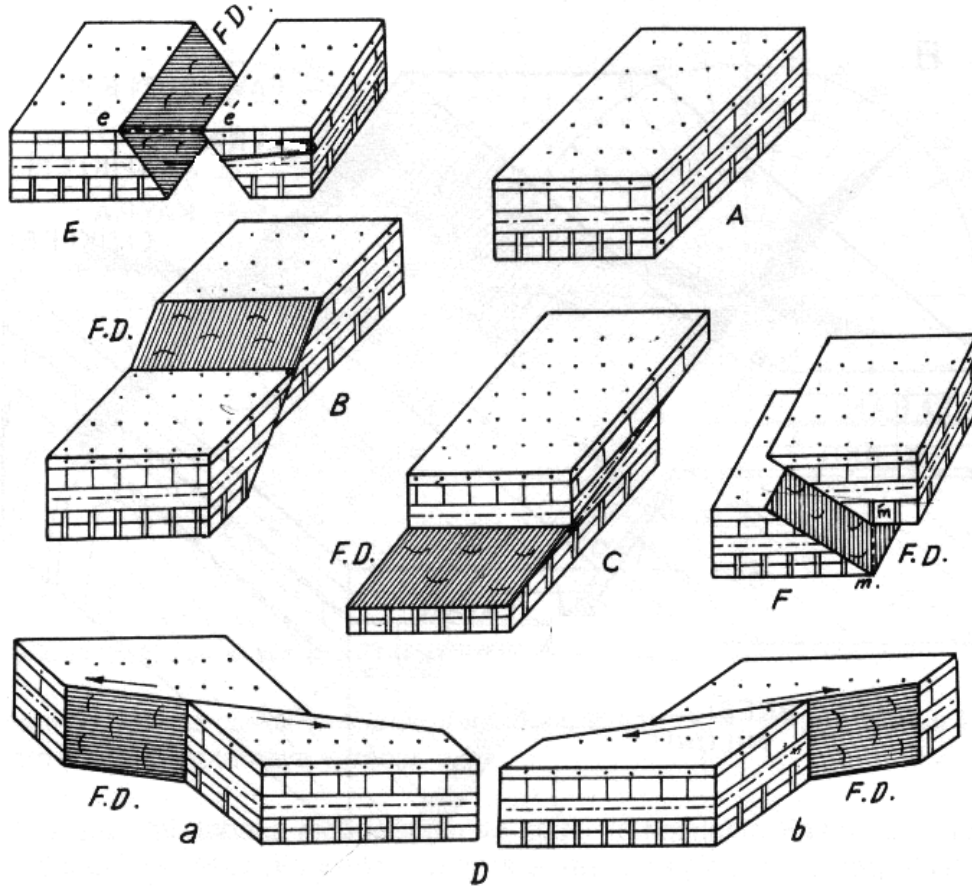
1.1.1 Faylar

Kırılma yüzeyleri boyunca gözle fark edilecek ölçüde bir kayma, bir yer değiştirme meydana geldiği zaman fay oluşur. Kayma hareketinin meydana geldiği düzleme fay düzlemi denir. Fay düzlemi, tabaka gibi doğrultu ve eğimi ile belirlenir. Fayın doğrultusu, fay düzleminin yatay düzlemle yaptığı ara kesittir; eğimi ise, yatay düzlemle yaptığı küçük açıdır. Fay düzleminin yeryüzü ile olan arakesitine de fayın izi veya fay çizgisi denir (Ketin, 1994).

Kaya kütesinde, fay düzleminin geçtiği yerlerde, kayaç türüne ve fayı oluşturan kuvvetlerin türüne bağlı olarak çok kırıklı olduğu bir bölge oluşur. Bu bölgeye fay

zonu, kayacın kırılıp parçalanmasına milonitleşme ve kırıklı kayaç topluluğuna fay breşi denir (Gedik, 1985). Fay oluşumunda kayma hareketi çoğu kez yalnız bir düzlem üzerinde değil, birbirine az çok paralel bir seri düzlemler boyunca meydana gelir ve böylece bir fay zonu ortaya çıkar. Bu zonun kalınlığı birkaç metre veya birkaç kilometre olabilir. Burada, birbirine nazaran yer değiştiren iki blok arasındaki kayaçlar mekanik olarak parçalanır, ufalanır veya ezilir. Çoğu kez yeni minerallerin oluşumuna veya yer altı suyunun yeryüzüne çıkmasına elverişli bir ortam hazırlanmış olur (Ketin, 1994).

Fay düzleminin üstünde bulunan kısma tavan bloğu, altında bulunan kısma da taban bloğu denir. Bu iki blok arasındaki kaymanın miktarına atım adı verilir. Şekil 1.2' de gösterildiği gibi, fayların sınıflandırılması da atım yönlerine göre yapılır. Eğim atımlı, doğrultu atımlı ve yan atımlı olmak üzere başlıca 3 grup vardır (Ketin, 1994, Price, 1966, Ragan, 1985).



Şekil 1.2 : Fayların atım yönlerine göre başlıca çeşitleri. A: faylanmadan önceki durum. B: Eğim atımlı normal fay. C: Eğim atımlı ters fay. D: Doğrultu atımlı faylar. a: Sol yönlü. b: Sağ yönlü. E: Yan atımlı normal fay. F: Yan atımlı ters fay (Ketin, 1994)

Eğim atımlı fayda, kayma fay düzleminin eğimi boyunca gerçekleşir. Ayrıca, tavan bloğu taban bloğuna göre fay düzleminin eğimi yönünde, aşağı doğru hareket ettiğinde eğim atımlı normal bir fay, tavan bloğunun yukarı doğru hareketi ile de eğim atımlı ters bir fay oluşur.

Yan atımlı fayda, blokların hareketi yanlara doğru meydana gelir. Tavan bloğunun taban bloğuna nazaran oblik olarak aşağı veya yukarı doğru kaymasına göre de, yan atımlı fay normal veya ters olur.

Doğrultu atımlı fayda, blokların birbirine nazaran görelî hareketi fay düzleminin doğrultusu boyunca'dır. Karşı bloğun sağa ve sola doğru kaymış olmasına göre de, doğrultu atımlı fay sağ yönlü veya sol yönlü olur.

Faylar yer yapılarında büyük sorunlar yaratırlar. Küçük ölçekte, fay breşı tünel, yer altı ocaklarında, temellerde zayıf bölgeler oluşturarak zorluk çıkarır. Yer altı suyu için yol oluşturabilir veya kille dolu ise suyun geçişini tamamen engelleyerek tehlikeli düzeyde yüksek basınca ulaşmasına sebep olabilir. Büyük faylar düşük kesme dayanımına ait kayma yüzeyleri veya şev yenilme yüzeyleri oluşturur. Barajların hem temellerini zayıflatırlar hem de suyun sızması için doğal yollar meydana getirirler. Bu durum breşin akıntıyla taşınmasıyla gitgide daha da tehlikeli hale gelir (Priest, 1993).

1.1.2 Eklemler

Hiç hareketin olmadığı veya çok az olduğu kırık ve çatlaklara eklem denir (Price, 1966). Bütün kayaç türlerinde yer yüzünden 1 km derinliğe kadar her oryantasyonda ve birkaç milimetreden birkaç yüz metreye kadar varan boyutlarda eklemlere rastlanır (Priest, 1993).

Eklemler, birbirine yaklaşık olarak paralel olan gruplar, takımlar halinde bulunurlar. Eklemlerin bir takımı tabakalanma düzlemlerine paralel gelişir ve diğer yönlerde gelişmiş en az iki takım daha vardır. Magmatik ve metamorfik kayalarda 3 veya daha fazla düzenli eklem sistemi bulunur (Goodman, 1980). Düzenli, sistematik eklemler aynı tektonik aktivite periyodunda meydana gelen faylarla, antiklinallerle, senklinallerle ve kıvrımlarla uzaysal ve oryantasyonel ilişki gösterirler (Price, 1966, Ramsay, 1967, Whitten 1966).

Eklemler birçok şekilde meydana gelebilirler. Bunlardan bazıları çok belirgindir. Bazaltın soğuması sırasında ortaya çıkan gerilmeler sütunsal eklemler oluşturur. Günlük sıcaklık değişimi yüzeydeki kayalarda levha oluşturan eklemleri meydana

getirir. Çoğu eklem çeşitli genel jeolojik süreçler sonucunda meydana gelir. Sedimanter yataklarda farklı mekanik özelliğe sahip katmanlar deformasyona uğrayarak çatlaklar oluştururlar. Tektonik hareketler ve güneş ile ayın etkisiyle meydana gelen gelgitlerin yüzeye yakın kayalar üzerinde oluşturduğu periyodik gerilimler de eklemlerin oluşmasına sebep olur. Eklemlerin oluşumunun ve frekansının litoloji ve yatak kalınlığına bağlı olduğu görülmüştür (Priest, 1993).

1.1.3 Yataklanma Düzlemleri

Yataklanma tane boyutu, tane oryantasyonu, mineraloji veya sedimanter kayacın depolanması sırasındaki kimyası gibi faktörler sonucu oluşmuş bir yüzeydir. Her zaman süreksizlik meydana gelmez. Renkteki ufak bir değişikliğe rağmen kayaç bütün olarak kalabilir. Birçok sedimanter kayaçta yataklanma süreksizlik olarak bulunur.

Yataklanmalar genelde yatay ve düzlemseldirler. Bükülüp çevrilerek çok farklı şekil ve oryantasyona girebilirler. Gene de birbirlerine hep paraleldirler. Diğer süreksizliklerden farklı olarak hiçbir zaman kesişmezler. Sedimanter kayalarda en büyük süreksizliği oluştururlar. Bazen kilometrelerce genişliğe sahip oldukları görülür. Periyodik depolanma sonucunda genellikle eşit aralıklarla dağıldıkları görülür.

1.1.4 Çatlaklar, Fisürler ve Diğerleri

Çatlakları, Bridges (1975) görünür dokuyla paralel olmayan ayrı bir kırık olarak tanımlamıştır. Priest'a (1993) göre günlük konuşmada çok sık kullanıldığı için özel anlamlar yüklenmesi doğru değildir. Genel olarak süreksizlik manasında kullanılması uygun görülmüştür.

Fisürler için çok çeşitli tanımlar vardır. Fookes ve Dennis (1969) ve Fourmaintraux (1975) fisürü sürekli bir materyali ayrı birimlere ayırmayan süreksizlik olarak tanımlamışlardır. Goodman (1976) laboratuarda test edilebilecek kaya materyalinde bulunabilen çatlaklar olarak tanımlamıştır. Price (1966) içi boş olan veya kuvars ya da bazı karbonat materyali ile dolu olan çatlaklar olarak tanımlamıştır. Whitten ve Brooks (1972) içi dolu fisürlerin geometrileri, kompozisyonları ve formasyon modlarına göre sil, dayk gibi isimler aldığına işaret etmişlerdir. Priest'a (1993) göre fisür teriminin tanımı çok iyi yapılmadıkça kullanmaktan kaçınmak gerekmektedir.

2. SÜREKSİZLİK ÖLÇMELERİ

Bir yeri tanımlayabilmek için Priest ve Hudson'a (1976) göre 1000–2000 kadar süreksizliğin incelenmesi gerekir. 5–15 kadar farklı yerden 150-350 kadar ölçüm yapılması ana jeolojik yapı ve litolojilerin temsili için gereklidir. Litolojinin, süreksizlik karakterinin çok değişkenlik gösterdiği yerlerde ve mühendislik tasarımlarına daha fazla duyarlılık gösterilmesi gerekli olan durumlarda ölçüm sayısını artırmak gerekebilir.

Süreksizliklerde ölçülmesi gereken başlıca özellikler oryantasyon, boyut, frekans ve yüzey geometrisidir.

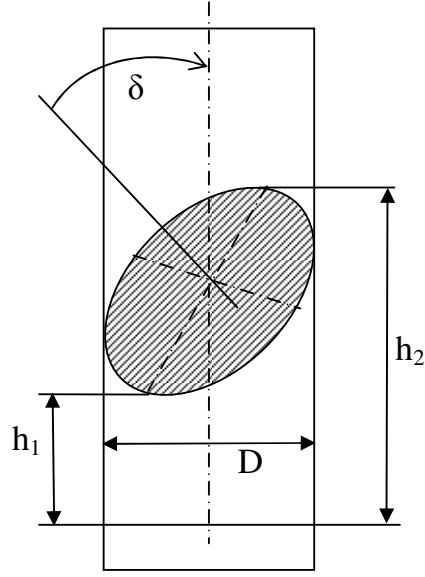
2.1 Sondaj

Sondajlar genellikle madencilik amacıyla cevher yatağını ve yantaşı tanımak, üç boyutlu görüntüsünü elde etmek amacıyla, kaya tipini ve mineral içeriğini tanımda kullanılır. Bunların dışında jeoteknik tasarımda kullanılmak üzere, süreksizlikler içeren kaya örneklerinin toplanmasında da kullanılabilir. Sondaj duvarı da görsel ve jeofiziksel olarak incelenebilir.

Sondaj yapılırken karşılaşılabilecek birçok sorun vardır. Karot çıkarılırken dönebilir ve süreksizlik oryantasyonunu belirlemek zorlaşır. Sondaj çapı küçük olacağı için süreksizlik boyutunu belirlemek çok zorlaşacak ve karotun elde edilmesi sırasında kırılmalara sebep olacaktır. Sondaj çamuru süreksizliği dolduran malzemeyi yıkayacak, boşlukları dolduracaktır.

Oryantasyon verilerini kaydetmek için Şekil 2.1' deki süreksizlik normali δ ölçülmelidir. Bunun için açölçer veya denklem (2.1) kullanılabilir. D karot çapı, h_1 referans alınan nokta ile süreksizliğin en alt noktası arasındaki mesafe, h_2 ise referans alınan nokta ile süreksizliğin en üst noktası arasındaki mesafedir.

$$\delta = \arctan\left(\frac{h_2 - h_1}{D}\right) \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 : Karot üzerindeki süreksizlik (Priest, 1993)

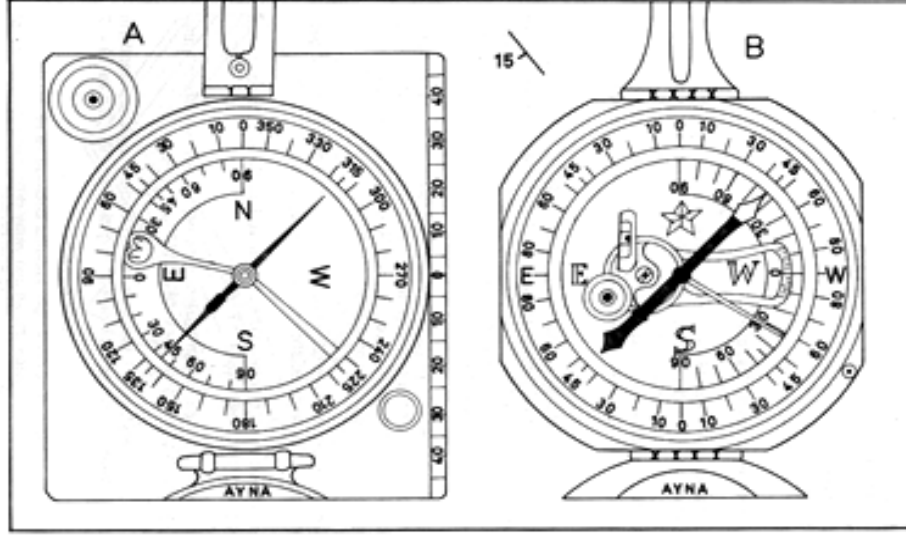
Süreksizlikler arası mesafe, süreksizlik yüzey geometrisi ve dolgu maddesi türü de kaydedilmelidir.

2.2 Gözlem Hattı

Kaya kütleinin mostra verdiği yerlerde uygulanabilir. Olabildiğince düz ve çatlaklar arası mesafe ve çatlak iz uzunluğuna göreceli olarak büyük bir yüzey seçilir. Kabaca 150–350 kadar süreksizlik içermeli ve bu süreksizliklerin en azından %50 ‘sinin izinin bittiği yer görülebilir olmalıdır. Seçilen yüzeyin ve buradaki süreksizliklerin incelenen kütleyi temsil ettiğinden emin olunmalıdır.

Şerit metrenin yüzeye sabitlenmesiyle gözlem hattı kurulmuş olur. Buradaki amaç, sondaj çapıyla sınırlı kalan gözlem alanını genişleterek, sondajlara benzer şekilde lineer ölçüm yapabilmektir.

Şerit metre ile kesişen çatlakların şerit metrenin başlangıç noktasına olan uzaklığı ölçülür. Patlatma sonucu veya üretim şekline bağlı olarak oluşan suni çatlaklar ile doğal çatlaklar karıştırılmamalıdır. Çok kırıklı bölgeler genel özelliğiyle kaydedilip vakit kaybedilmemelidir. Şerit metre ile süreksizliğin kesiştiği noktadan jeolojik pusula (Şekil 2.2) yardımıyla doğrultu ve eğim ölçülerek, oryantasyon verisi elde edilir.



Şekil 2.2 : Jeolog Pusulaları A: Alman Tipi Pusula B: Brunton Pusulası (Ketin, 1994)

2.3 Verilerin Programa Girilmesi

Programdaki veri giriş formu (Şekil 2.3) kullanılarak, gözlem hattının veya sondajın oryantasyon verisi ve uzunluğu girilir. Daha sonra sondajla/gözlem hattıyla ölçülen tüm veriler sırayla girilir (Şekil 2.4).

id	Label	Trend	Plunge	Uzunluk	mesafemodel	mesafemean	mesafesdev
0	SI	260	0	100	1	4.1440740740	4.0172169651
1	SI	259	0	32	1	1.735	1.5077612933
2	SI	262	0	103	3	1.6857377049	1.4279536162

Şekil 2.3 : Gözlem Hattı/Sondaj Özelliklerinin Girildiği Form

Distance	dd	da	id	slid	ndd	nda	Trace	takim
0.08	3	68	0	0	183	22	1.36	0
1.76	4	49	1	0	184	41	0.31	0
0.16	8	77	2	0	188	13	1.2	0
0.03	9	85	3	0	189	5	0.09	0
0.82	11	77	4	0	191	13	0.34	0
0.62	17	24	5	0	197	66	0.24	0
0.15	18	24	6	0	198	66	0.46	0
0.78	18	87	7	0	198	3	0.02	0
1.02	19	74	8	0	199	16	0.21	0
2.06	50	58	9	0	230	32	0.65	0
0.16	107	69	10	0	287	21	0.04	1
0.31	108	81	11	0	288	9	0.14	1
1.22	110	72	12	0	290	18	0.03	1
1.28	113	67	13	0	293	23	0.9	1
0.35	113	68	14	0	293	22	0.11	1
1.08	114	70	15	0	294	20	0.74	1
0.42	115	72	16	0	295	18	1.89	1
0.27	116	63	17	0	296	27	0.8	1
0.86	116	66	18	0	296	24	0.33	1
0.65	116	68	19	0	296	22	0.57	1
1.13	119	68	37	0	299	22	0.16	1
0.08	123	69	38	0	303	21	0.04	1
0.74	124	77	39	0	304	13	0.21	1

Şekil 2.4 : Süreksizlik Özelliklerinin Girildiği Form

Veriler XML formatlı dosyalarda saklanır. Şekil 2.5’ de örnek bir dosya yapısı verilmiştir. Dosyada “Catlaklar” etiketiyle süreksizlik özellikleri, “Scanlines” etiketiyle de gözlem hattı bilgileri girilir. Daha sonra bu verilerin işlenmesiyle elde edilecek olan çatlak takımı özellikleri de “JSets” etiketiyle dosyaya kaydedilir.

```

<?xml version="1.0" standalone="yes" ?>
<ds>
  <Catlaklar>
    <Distance>2.11</Distance>
    <dd>35</dd>
    <da>42</da>
    <id>0</id>
    <slid>0</slid>
    <ndd>215</ndd>
    <nda>48</nda>
    <Trace>2.06</Trace>
    <takim>0</takim>
  <Catlaklar>
  <Scanlines>
    <id>1</id>
    <Label>S1</Label>
    <Trend>259</Trend>
    <Plunge>0</Plunge>
    <Uzunluk>32</Uzunluk>
    <mesafemodel>1</mesafemodel>
    <mesafemean>1.7350000000000005</mesafemean>
    <mesafesdev>1.5077612933243314</mesafesdev>
  </Scanlines>
  <JSets>
    <jsetid>3</jsetid>
    <alfa>143</alfa>
    <beta>18</beta>
    <mesafemodel>3</mesafemodel>
    <mesafemean>6.5411428571428551</mesafemean>
    <mesafesdev>6.1465876575489249</mesafesdev>
    <IUModel>2</IUModel>
    <IUMean>4.0785714285714274</IUMean>
    <IUSdev>1.3695171816827891</IUSdev>
    <CBModel>2</CBModel>
    <CBMean>3.55891371623959</CBMean>
    <CBSdev>1.80574068386143</CBSdev>
    <adet>35</adet>
  </JSets>
</ds>

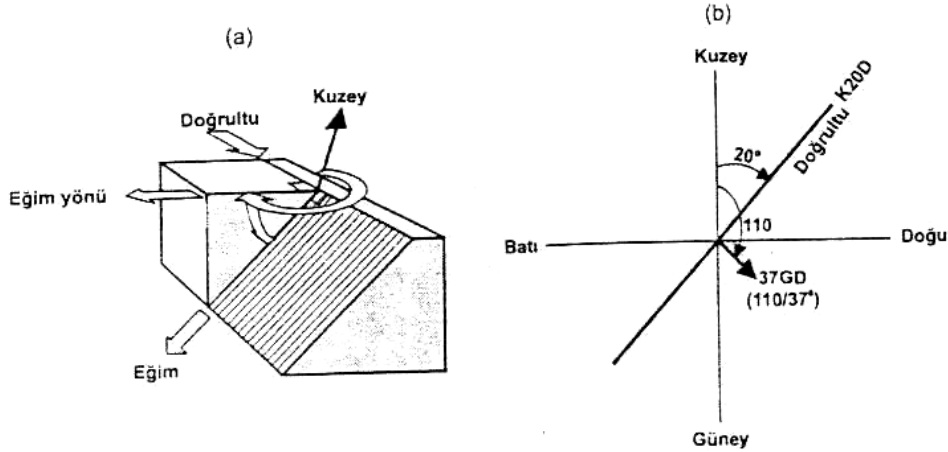
```

Şekil 2.5 : Verilerin Saklandığı XML Dosyası Örneği

3. SÜREKSİZLİK TAKIMLARININ BELİRLENMESİ

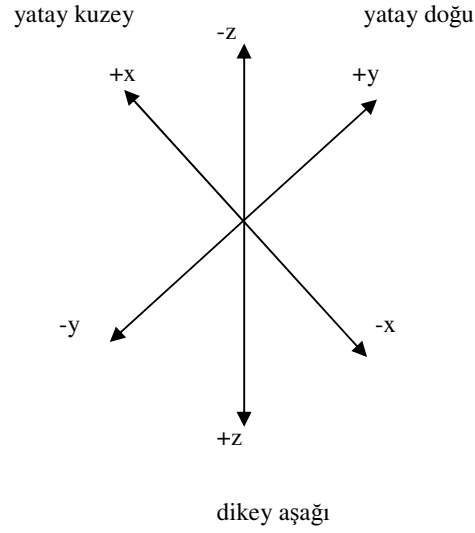
3.1 Süreksizlik Oryantasyonu

Süreksizlikler, yüzey ve şekil olarak genellikle kıvrımlı yapıdadırlar. Gene de belli bir ölçekte bir yüzey veya vektör ile oryantasyonları tanımlanabilir. Eğim yönü süreksizlik yüzeyinin kuzeyle saat yönünde yaptığı açı ile ifade edilir. 0^0 ile 360^0 arasında bir değer alabilir ve α ile gösterilir (Şekil 3.1). Eğim derecesi ise yatayla yaptığı açıdır. -90^0 ile $+90^0$ arasında değer alabilir. Süreksizliği aşağı yönde temsil eden, pozitif değer kullanılır. β ile gösterilir.



Şekil 3.1 : Doğrultu, eğim ve eğim yönü arasındaki ilişkiler (Ulusay ve Sönmez, 2002)

Oryantasyon verisi sağ el kartezyen koordinat sistemi kullanılarak vektör haline getirilmiştir (Şekil 3.2). Kuzey ($\alpha=0^0$) +x yönündedir. Pozitif y ise doğu yönünü göstermektedir ($\alpha=90^0$). Pozitif z ise eğim pozitif açılarını göstermektedir.



Şekil 3.2 : Koordinat Sisteminde Oryantasyon

Kartezyen koordinat sisteminde vektör başlangıç noktası 0 merkez noktasına yerleştirildikten sonra bitiş noktasının koordinatları u_x , u_y , u_z olarak yerleştirilerek temsil edilebilir. Vektörün uzunluğu aşağıdaki eşitlik (3.1) ile bulunabilir.

$$|u| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2} \quad (3.1)$$

Eğer $|u|=1$ ise vektör birim vektör, u_x , u_y , u_z ise vektörün yönünü belirleyen elemanlardır.

Eğim yönü ve eğim derecesi kartezyen koordinat sisteminden (3.2) ve (3.3) denklemleriyle hesaplanabilir.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{u_y}{u_x}\right) + Q \quad (3.2)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{u_z}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}}\right) \quad (3.3)$$

Q parametresi, α 'nın 0^0 - 360^0 arasında ve çeyrek dairelerden doğru olanında kalmasını sağlar. Aşağıdaki Tablo 3.1' den belirlenebilir.

Tablo 3.1. Q Parametresi

u_x	u_y	Q
≥ 0	≥ 0	0^0
< 0	≥ 0	180^0
< 0	< 0	180^0
≥ 0	< 0	360^0

Oryantasyon verisi de (3.4), (3.5) ve (3.6) denklemlerinin yardımıyla vektörler haline dönüştürülebilir.

$$u_x = |u| \cos \alpha \cos \beta \quad (3.4)$$

$$u_y = |u| \sin \alpha \cos \beta \quad (3.5)$$

$$u_z = |u| \sin \beta \quad (3.6)$$

Gül diyagramları oryantasyon verisini görselleştirmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Histogram grafiklerine benzer yapıda olan grafikte, belli açı aralığına sahip sınıflar oluşturularak bu eğim açısına sınıfına giren çatlak sayısı hesaplanır ve o sınıfa ait frekans bulunur. Frekansa bağlı büyüklükte dilimler halinde her sınıf 360^0 lik daire üstünde gösterilir. Bu grafikten süreksizliklerin yoğunlaştığı yönelimler tespit edilebilir. Gül diyagramının en büyük eksiği eğim açısı bilgisini içermemesidir. Bu sorunu aşabilmek için stereonetler kullanılmaktadır.

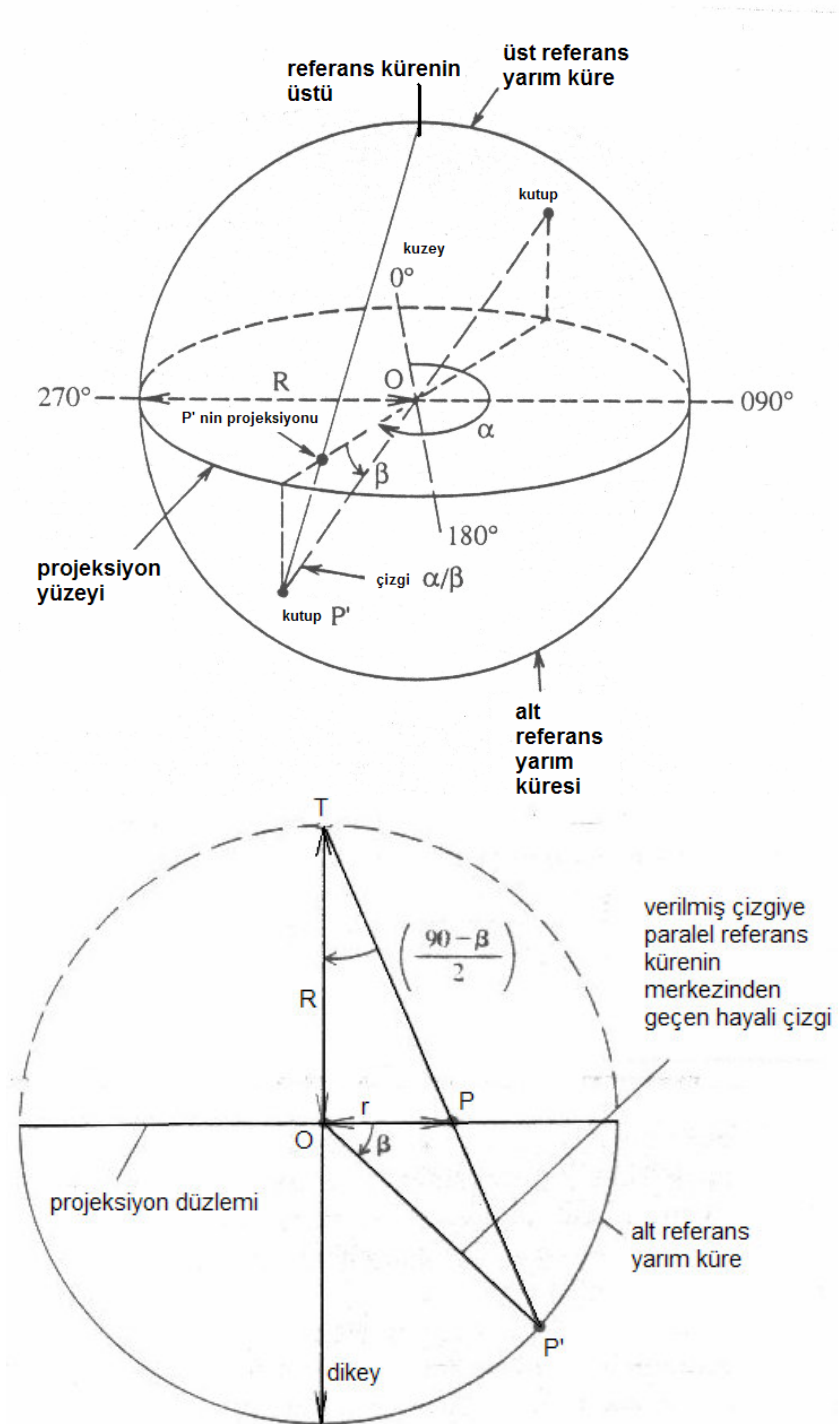
Stereonet üzerinde alt yarıküre eşit açılı projeksiyona göre, merkezden uzaklığı gösteren r ve β arasındaki ilişki denklem (3.7)'de verilmiştir. Şekil 3.3' te eşit açılı projeksiyonun yapılışı gösterilmiştir.

$$r = R \tan\left(\frac{90^0 - \beta}{2}\right) \quad (3.7)$$

Stereonet üzerinde alt yarıküre eşit alan projeksiyona göre, merkezden uzaklığı gösteren r ve β arasındaki ilişki denklem (3.8) 'de verilmiştir. Şekil 3.4'te eşit alanlı projeksiyonun çizimi verilmiştir.

$$r = R\sqrt{2} \cos\left(\frac{90^\circ + \beta}{2}\right)$$

(3.8)



Şekil 3.3 : Eşit Açılı Projeksiyon

$$\begin{aligned}
P_s &\propto A_s \\
A_s &= A \cos \delta \\
P_s &\propto A \cos \delta
\end{aligned} \tag{3.13}$$

Eğer $\delta=0^0$ ve $A_s=A$ olursa en yüksek kesişme olasılığı P_{sm} gerçekleşir. Eğer $\delta=90^0$ ve $A_s=0$ olursa en düşük kesişme olasılığı olan 0 gerçekleşir. Bu da aşağıdaki oranda (3.14) daha az yüksek δ açılara sahip süreksizlikle gözlem hattının kesişmesi demektir.

$$\frac{P_s}{P_{sm}} = \cos \delta \tag{3.14}$$

Yüksek δ açılı olup ta ölçülmüş olan süreksizliklere daha yüksek w ağırlıklandırması yapılarak bu hata azaltılabilir (3.15).

$$w = \frac{1}{\cos \delta} \quad \delta < 90^0 \tag{3.15}$$

Yalnız yüksek açılarda w çok artacağı için 10 gibi bir değerle sınırlandırmak uygun olacaktır.

Yow (1987) bu sorunla, oryantasyon verisinin alınmasında ortaya çıkan ε hatası arasında bağ kurarak normalize maksimum ağırlıklandırma faktörü hatası $w_{\varepsilon, \max}$ formülünü (3.16) geliştirmiştir.

$$w_{\varepsilon, \max} = \left(\frac{\cos \delta}{\sin(90^0 - \delta - \varepsilon)} - 1 \right) \cdot 100\% \tag{3.16}$$

Oryantasyonlar streonet ile gösterilirken her oryantasyon için bu ağırlıklandırma değerinin gösterilmesi gerekir. Bu veriyi görsel hale getirmek için kontürleme yapılır. Kontürleme sonucunda çatlak takımları kolayca ayırt edilebilir hale gelir. Yalnız bu yöntemin çok fazla dezavantajı vardır. Tamamen subjektiftir, takımın ortalama oryantasyonunu ve dağılımını vermez.

Bridges (1990) bu hatayı gidermek için arazi şartları el verdiğince birbirine dikey olan 2–3 gözlem hattının kullanılmasını önermektedir. Bu işlem hatanın tümünün olmasa da büyük çoğunluğunun giderilmesini sağlamaktadır.

3.2 Takımların Belirlenmesi İçin Algoritmalar

Çeşitli yöntemlerle takımlar objektif olarak belirlenebilir. Bunların başlıcaları istatistiksel, bulanık ve yapay sinir ağlarını kullanan yöntemlerdir. Genel olarak oryantasyonlar birim küre içersinde birim vektörler olarak incelenir. Birbirlerine olan açısal uzaklıklarına göre takımlara ayrılırlar.

3.2.1 İstatistiksel Yöntem

İstatistiksel yöntemde vektörleri temsil eden ortalama vektör bulunur ve standart sapma minimumunda tutularak vektörler aralarındaki açısal uzaklığa göre takımlara ayrılır. Oryantasyon verileri Formül (3.4), (3.5) ve (3.6) ile vektörel hale getirilir. İlk başta her vektör ayrı bir takım olarak kabul edilir. Aşağıdaki formülden (3.17) yararlanılarak takımlar arasındaki açı ve dolayısıyla mesafe bulunur.

$$\theta = \cos^{-1} |\vec{n}_i \cdot \vec{n}_j| \quad (3.17)$$

Sırayla birbirine en yakın olan takımlar birleşerek yeni takımlar oluşturulur. Oluşan yeni takımı temsil eden ortalama vektör Denklem (3.18) ve yeni takımdaki vektör sayısı Denklem (3.19) ile hesaplanır.

$$\vec{n}_k = (\sin \beta_k \sin \alpha_k, \sin \beta_k \cos \alpha_k, \cos \beta_k) = \frac{N_i \cdot \vec{n}_i + N_j \cdot \vec{n}_j}{|N_i \cdot \vec{n}_i + N_j \cdot \vec{n}_j|} \quad (3.18)$$

$$N_k = N_i + N_j \quad (3.19)$$

Denklem (3.20) ile açısal sapma hesaplanır.

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} [\cos^{-1}(\vec{n}_k \cdot \vec{n}_i)]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.20)$$

Bu işlem sonuna kadar gidildiğinde tüm vektörleri içeren tek bir takım elde edilmiş olur. Standart sapma değerlerine bakılarak veya stereonetteki görsel değerlendirme veya arazideki tecrübeli jeoloğun tespitine göre çatlak takım sayısı belirlenir. İşlem, istenen miktarda takım sayısına ulaşıldığında durdurulur. Algoritmanın akım şeması Ek A' da verilmiştir.

3.2.2 Bulanık K-Ortalaması

Bulanık K-Ortalaması algoritmasında N adet obje K adet kümeye paylaştırılır. Bu aşağıdaki formülün minimize edilmesiyle yapılır.

$$J_m(U, V) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^K (u_{ij})^m d^2(X_j, V_i) \quad K \leq N \quad (3.21)$$

$d^2(X_j, V_i)$ bize X_j ($j=1, \dots, N$) yani j-inci obje ile V_i ($i=1, \dots, K$) yani i-inci küme merkezi arasındaki mesafeyi verir.

$$d^2(X_j, V_i) = \sum_{p=1}^p (X_{jp} - V_{ip})^2 \quad (3.22)$$

Öklit uzayında uzaklık bu formül ile belirlenirken, birim kürenin yüzeyindeki uzaklık aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$d^2(X_j, V_i) = 1 - (X_j \cdot V_i)^2 \quad (3.23)$$

Bulanık K-Ortalaması algoritması küme merkezlerini yoğunluğun en fazla olduğu bölgeler olarak belirler.

$$\hat{V}_i = \frac{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m X_j}{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m} \quad (3.24)$$

Öklit uzayında bu formül ile küme merkezleri hesaplanır. Küresel verilerde ise aşağıdaki formül kullanılır.

$$S_i^* = \frac{1}{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m} \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m x_j x_j & \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m x_j y_j & \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m x_j z_j \\ \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m x_j y_j & \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m y_j y_j & \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m y_j z_j \\ \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m x_j z_j & \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m y_j z_j & \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m z_j z_j \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

x_j, y_j, z_j X_j vektörünün yön kosinüsleridir.

Matrisin öz vektör analizleri sonucunda üç adet öz değer elde edilir. Bunlar küçük değerden büyüğe doğru τ_{i1} , τ_{i2} ve τ_{i3} dür. Bunlara denk gelen öz vektörler sırasıyla ξ_{i1} , ξ_{i2} ve ξ_{i3} dür. ξ_{i3} öz vektörü en büyük öz değere sahip olduğu için i-inci kümenin merkezidir.

$$\hat{V}_i = \xi_{i3} \quad (3.26)$$

u_{ij} ; X_j nesnesinin, i-inci kümeye ne kadar ait olduğunu uzaklığa bağlı olarak 0 ile 1 arasındaki bir değerle verir.

$$u_{ij} = \frac{\left[\frac{1}{d^2(X_j, V_i)} \right]^{1/(m-1)}}{\sum_{k=1}^K \left[\frac{1}{d^2(X_j, V_k)} \right]^{1/(m-1)}} \quad (3.27)$$

m 1' den büyük bir sayıdır ve kümeye aitliğin bulanıklığını belirtir. 1' e ne kadar yakınsa üyelik ayrımı o kadar sert olmakta, diğer bir deyimle bulanıklık o ölçüde azalmaktadır.

Algoritma K adet küme merkezinin rastgele olarak belirlenmesiyle başlar. Daha sonra nesneler ile bu merkezlerin arasındaki mesafeler ve üyelik hesaplanır. Her küme için S matrisi hesaplanıp, buradan özvektör ve özdeğerler bulunur. En büyük öz değere denk gelen öz vektör yeni küme merkezidir. Yeni merkez esas alınarak yeniden mesafeler ve üyelikler hesaplanır.

$$\max_{ij} \|u_{ij} - \hat{u}_{ij}\| < \varepsilon \quad (3.28)$$

Önceden hesaplanan üyelik değerleri ile yeni hesaplanan üyelik değerleri arasındaki farkın mutlak değerine bakılır ve en yüksek çıkan fark tespit edilir. Eğer bu değer önceden belirlenen ε hata değerinden küçükse, istenen hata payıyla küme merkezi bulunmuş olur. Eğer hata payından daha büyük bir değer çıkarsa işlemler tekrarlanır. Ek A'da algoritmanın akım şeması verilmiştir.

3.2.2.1 Özdeğer ve Özvektör

$$A \cdot \vec{v}_i = \lambda_i \cdot \vec{v}_i \quad i = 1, \dots, n \quad (3.29)$$

A matrisi $n \times n$ boyutlu ve v vektörü $n \times 1$ boyutlu olmak üzere; (3.29) eşitliğini sağlayan sıfırdan farklı v vektörlerine, A matrisinin özvektörleri ve λ skalar değerlerine de A matrisinin özdeğerleri denir. (3.29) eşitliği aşağıdaki gibi de yazılabilir;

$$(A - \lambda_i \cdot I) \cdot \vec{v}_i = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (3.30)$$

v_i bilinmeyenler vektörü olarak ele alınırsa, (3.30) eşitliğinin homojen bir denklem sistemi olduğu anlaşılabılır. Bu durumda v vektörleri sıfır olamayacağından, homojen denklem sistemlerinin sıfırdan farklı bir çözümünün bulunabilmesi için katsayılar matrisinin determinantı sıfır olmalıdır.

$$\det(A - \lambda_i \cdot I) = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (3.31)$$

(3.31) eşitliğine “karakteristik denklem” adı verilir. Verilen A matrisinin özdeğerleri, (3.31) eşitliğinden çıkarılan n dereceli polinomun kökleridir. Özdeğerler bulunduktan sonra, (3.30) eşitliği kullanılarak özvektörler de bulunabilir. Eğer A matrisi simetrik ve elemanları gerçekte sayılar ise; özdeğerleri ve özvektörleri de gerçekte sayılar olup, özvektörleri de ortogonal olur (Akça ve Doğan, 2002).

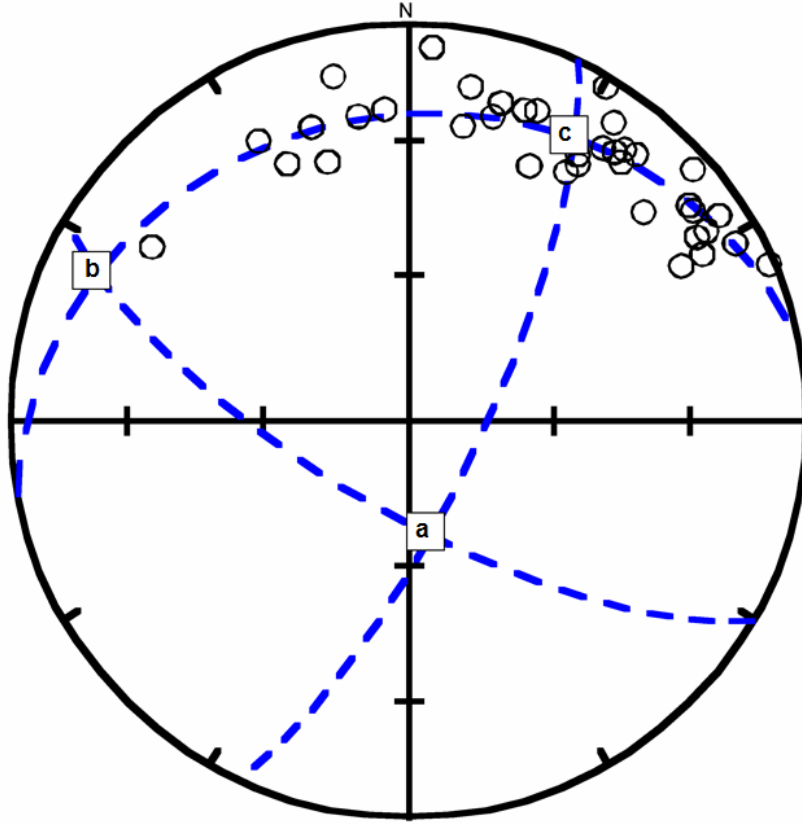
Şekil 3.4’te birim küredeki vektörlerin özvektörleri gösterilmiştir. Bu özvektörlerin özdeğerleri $a=0.46$, $b=7.11$ ve $c=29.42$ dir. a özvektörü, küredeki kuşağın kutbunu gösterir. b özvektörü, kuşak üstündeki yoğunluğun en düşük olduğu yeri verir. En büyük özdeğere sahip olan c özvektörü, yoğunluğun en fazla olduğu konumu ve ortalama vektörü gösterir. Bulanık K-Ortalaması algoritmasında özvektörlerin bu özelliği kullanılarak kümelerin ortalama vektörleri hesaplanır.

Özdeğer ve özvektörleri hesaplamak için en çok Power, Inverse Power, Rayleigh ve QR algoritmaları kullanılmaktadır. Bu algoritmaların tümü kodlanmıştır.

Power

$$A \cdot \vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.32)$$

Bu algoritmada, özvektörü bulunmak istenen A matrisi magnitudu 1’e eşit olan rastgele bir vektörle çarpılır (3.32 eşitliği). Elde edilen vektör kendi uzunluğuna bölünerek normalleştirildikten sonra tekrar A matrisi ile çarpılır. Bu işlem bir önceki işlemde elde edilen vektörle arasındaki fark yeterince azalıncaya kadar tekrarlanır. Elde edilen vektör en büyük özdeğere denk gelen özvektördür.



Şekil 3.5 : Eşit alan projeksiyonundaki vektörlerin özvektörleri

Inverse Power

σ , A matrisinin özdeğeri olmadığını kabul edersek, Power algoritmasındaki A yerine $(A - \sigma \cdot I)^{-1}$ kullanılırsa $(A - \sigma \cdot I)$ teriminin dominant öz vektörü elde edilir. Bu sayede Power algoritmasında yalnızca en büyük özdeğere ait özvektörün bulunabilmesi sorunu aşılmış olur. (3.33) eşitliğinden y vektörü elde edildikten sonra power algoritmasında olduğu gibi (3.34) eşitliği kullanılarak vektör normalleştirilir.

$$(A - \sigma \cdot I) \cdot y_i = x_{i-1} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.33)$$

$$x_i = y_i / \|y_i\| \quad i = 1, \dots, n \quad (3.34)$$

Rayleigh Quotient

$$r(x) = \frac{x^T A x}{x^T x} = \lambda \quad (3.35)$$

x özvektörünün özdeğeri Rayleigh Quotient (3.35 eşitliği) ile bulunabilir. Bu özellikten faydalınılarak özvektörler tespit edilebilir. Uzunluğu 1' e eşit olan rastgele bir vektör belirlenerek Rayleigh Quotient hesaplanır. (3.36) eşitliği ile y vektörü hesaplanır ve (3.37) ile normalize edilir. Tekrar Rayleigh Quotient hesaplanır ve öncekiyle arasındaki farka bakılır. Aradaki fark istendiği ölçüde azalıncaya kadar bu işlemler tekrarlanır.

$$(A - \lambda_{i-1} \cdot I) \cdot y_i = x_{i-1} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.36)$$

$$x_i = y_i / \|y_i\| \quad i = 1, \dots, n \quad (3.37)$$

QR

$$Q_i R_i = A_{i-1} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.38)$$

$$A_i = R_i Q_i \quad i = 1, \dots, n \quad (3.39)$$

$m \times n$ boyutlarındaki ($m \geq n$) bir kompleks matris (3.38) eşitliğindeki gibi $m \times n$ boyutlarındaki Q dikey matrisi ile $n \times n$ boyutlarındaki R üst üçgen matrisinin çarpımının sonucu olabilir. Eğer A matrisi (3.38) eşitliğindeki gibi Q ve R matrislerine ayrılır ve (3.39) eşitliğindeki gibi R ile Q çarpılarak yeni A matrisi elde edilir. Bir önceki iterasyonda elde edilen A matrisi ile sonraki arasındaki fark yeterince azalıncaya kadar bu işlem sürekli tekrarlanır. En sonunda elde edilen A matrisinin diyagonalındaki değerler özdeğerlerdir.

Bu yöntemde bazen sonuca ulaşmayabilir veya çok yavaş ilerler. Bunun için bazı değişiklikler yapılmıştır. 3.38 ve 3.39 eşitlikleri değiştirilerek 3.40 ve 3.41 eşitlikleri elde edilmiştir. μ , A matrisinin sağ alt köşesindeki 2×2 boyutlarındaki matrisinin en büyük özdeğeridir. Wilkinson Shift ismindeki bu yöntemle QR algoritması çok hızlı sonuca ulaşır.

$$Q_i R_i = A_{i-1} - \mu_i \cdot I \quad i = 1, \dots, n \quad (3.40)$$

$$A_i = R_i Q_i + \mu_i \cdot I \quad i = 1, \dots, n \quad (3.41)$$

4. SÜREKSİZLİK TAKIMLARININ ÖZELLİKLERİ

4.1 Süreksizlikler Arası Mesafe

Gözlem hatları ve sondajlar gibi lineer yöntemlerle süreksizlikler arası mesafe bilgisi araziden toplanabilir. Burada iki çeşit veriden söz edilebilir. Birincisi her denk geline süreksizliğin kaydedildiği toplam süreksizlikler arası mesafe, ikincisi aynı takıma ait süreksizliklerin arasındaki mesafedir. Süreksizlikler arası mesafe bilgisi ortalama değer veya frekans olarak verilebilir ancak bu oldukça yetersiz kalır. Bu bilginin histogram ile bir dağılım olarak verilmesi daha uygun olacaktır.

Yapılan çalışmalarda toplam süreksizlikler arası mesafenin negatif üssel olasılık dağılım eğrisi ile modellenebileceği tespit edilmiştir.

Rastgele yerleştirilmiş bir gözlem hattı ile süreksizliklerin kesişiminin rast gele olması mantıken de beklenen bir sonuçtur. Bu sonuç, süreksizliklerin konumundan olduğu kadar oryantasyonların değişkenliğinden de kaynaklanmaktadır. Bir gözlem hattı boyunca süreksizlikler arası mesafe rastgele olmazsa bile oryantasyonlardan dolayı gözlem hattının konumunun birkaç cm değiştirilmesiyle tekrar rastgele sonuç verecektir.

Eğer süreksizlik oluşumu bir hat boyunca rastgele ise, bir süreksizliğin gözlem hattı ile kesişmesi başka bir süreksizliğin kesişmesini etkilemeyeceği için, kesişmeler tek boyutlu Poisson sürecine uyar.

4.1.1 Poisson Süreci

Poisson dağılımı, belli bir alanda rassal olarak dağılan veya zaman içinde rassal olarak gözlemlenen olayların özel durumları için geliştirilmiş bir dağılımdır. Çok küçük gerçekleşme olasılığına sahip olayların tekrarlı deneyleri için uygun bir olasılık dağılımıdır. Zaman içinde birbirlerinden bağımsız olarak gerçekleşen olaylar ele alındığında, eğer belli bir zaman aralığında gerçekleşen olay sayısı “sadece ve sadece” ele alınan aralığın uzunluğuna bağlı, fakat başlangıç ve bitiş noktalarından bağımsız ise, incelenen olay sayıları Poisson dağılımı gösterir (Serper, 1996).

Belli bir alan içinde rassal olarak dağılan veya zaman içinde rassal olarak gözlenen olayların sayısı X , şu şartları sağlıyorsa “Poisson rassal değişkeni” adını alır:

- Farklı zaman aralıklarında veya farklı alanlarda ortaya çıkan olaylar bağımsızdır. Bu olayların meydana gelmeleri arasında ilişki yoktur.
- Çok küçük bir zaman aralığında veya çok küçük bir alanda ilgilenilen olay bir defa çıkabilmekte, birden fazla ortaya çıkması ise mümkün olamamaktadır.
- Çok küçük bir zaman aralığında veya çok küçük bir alanda ilgilenilen olayın bir defa ortaya çıkma olasılığı (p) değişmemekte ve $p < 0,05$ eşitsizliğine uymaktadır.
- Deney sayısı sonsuza yaklaşmaktadır, yani $n \rightarrow \infty$
- Belli bir zaman aralığında veya belli bir yerde ilgilenilen olayın ortalama ortaya çıkma sayısı λ sabittir. Ortalama niteliğindeki λ kesirli bir değere sahip olabilir.

Poisson olasılık fonksiyonu:

$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (x \geq 0) \quad (4.1)$$
$$P(x) = 0$$

x , ilgilenilen sonucun gözlenme sıklığını, λ aritmetik ortalamayı yani ilgilenilen sonucun zaman, alan veya miktar birimi içinde gözlenme olasılığını verir (Arıcı, 1991).

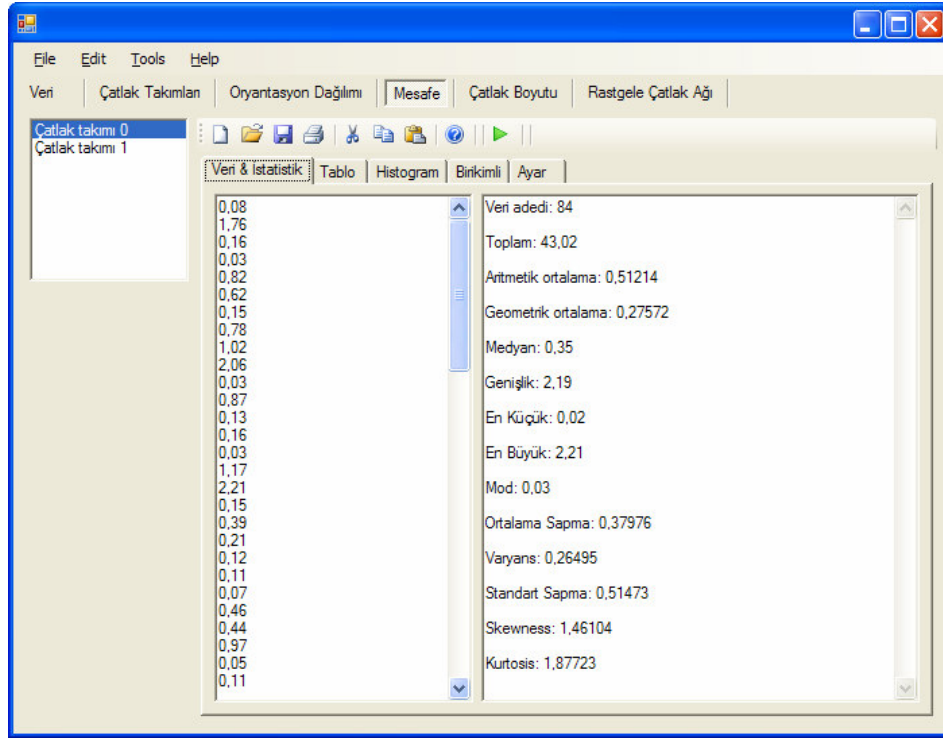
Programda her süreksizlik takımı için ayrı ayrı süreksizlikler arası mesafe verisi incelenerek, istatistiksel özellikleri belirlenir.

4.1.2 Süreksizlikler Arası Mesafenin İstatistiksel Olarak İncelenmesi

Veri adedi, toplam değer, aritmetik ortalama, medyan, genişlik, en küçük değer, en büyük değer, ortalama sapma, standart sapma, varyans, çarpıklık ve basıklık tespit edilir (Şekil 4.1).

Verilerin (X_i) toplamının, veri adedine (N) bölünmesiyle aritmetik ortalamayı ($\bar{X}$) elde ederiz.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (4.2)$$



Şekil 4.1 : Süreksizlikler Arası Mesafe Verisinin İstatistiksel Özellikleri

Ortalama sapma, terimlerin aritmetik ortalamadan mutlak sapmalarının aritmetik ortalamasıdır. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{N} \quad (4.3)$$

Standart sapma, terimlerin aritmetik ortalamadan cebirsel sapmalarının kareli ortalamasıdır. 4.4 denklemi ile hesaplanır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (4.4)$$

Çarpıklık, asimetri ölçüsü, dağılımın simetrikliğini, hangi tarafta yoğun olduğunu gösterir. Sonucun pozitif çıkması ortalamadan ortancadan büyük olduğunu gösterir.

$$\sum \left(\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right)^3 \left(\frac{N}{(N-1)(N-2)} \right) \quad (4.5)$$

Basıklık, dağılımın değişkenliğini verir. Sonuç pozitif çıkarsa dağılımın sivri yapıda olduğunu gösterir. 0 çıkması normal dağılımı gösterir.

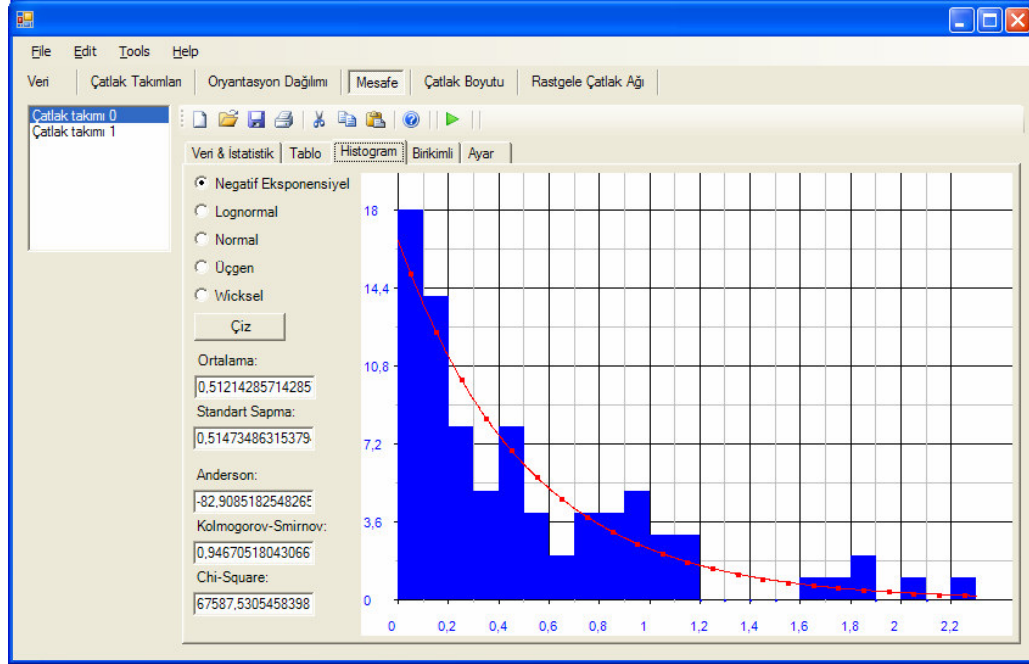
$$\frac{\sum (X_i - \bar{X})^4}{\left(\sum (X_i - \bar{X})^2 \right)^2} \left(\frac{n(n+1)(n-1)}{(n-2)(n-3)} \right) - \left(\frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \right) \quad (4.6)$$

Belirlenen sınıf aralığı ve başlangıç değerine göre Şekil 4.2'deki tablo hazırlanır. Frekans, frekansların yüzde olarak oransal miktarı ve artan-azalan frekans değerleri hesaplanır.

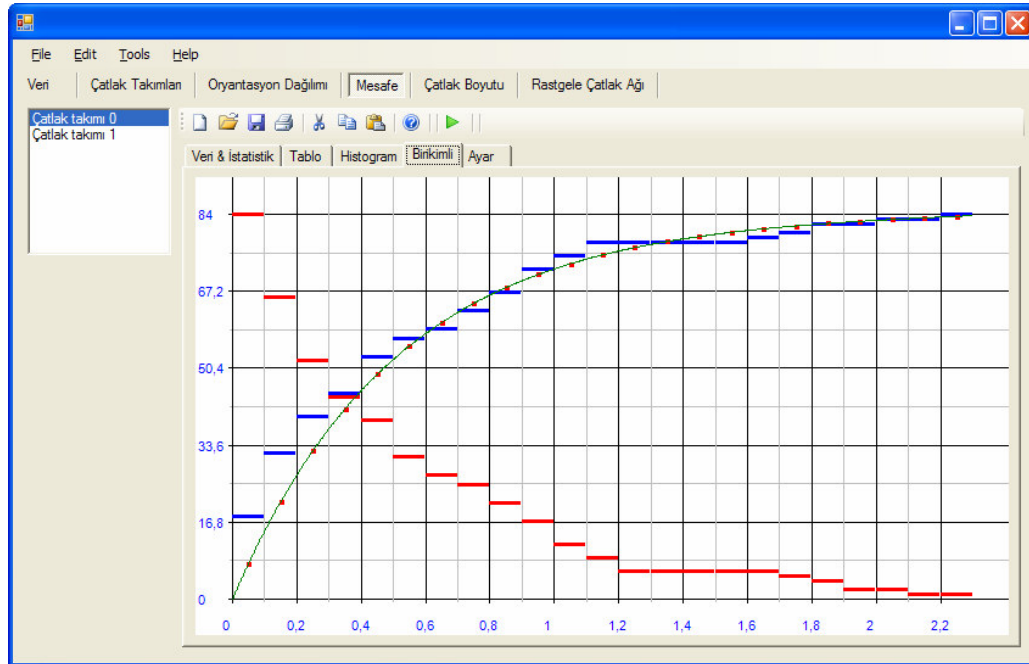
s	x	f	foran	artan	azalan
0/0,1	0,05	18	21,42857142857...	18	84
0,1/0,2	0,150000000000...	14	16,66666666666...	32	66
0,2/0,3	0,25	8	9,523809523809...	40	52
0,3/0,4	0,350000000000...	5	5,952380952380...	45	44
0,4/0,5	0,45	8	9,523809523809...	53	39
0,5/0,6	0,55	4	4,761904761904...	57	31
0,6/0,7	0,649999999999...	2	2,380952380952...	59	27
0,7/0,8	0,75	4	4,761904761904...	63	25
0,8/0,9	0,849999999999...	4	4,761904761904...	67	21
0,9/1	0,95	5	5,952380952380...	72	17
1/1,1	1,049999999999...	3	3,571428571428...	75	12
1,1/1,2	1,15	3	3,571428571428...	78	9
1,2/1,3	1,25	0	0	78	6
1,3/1,4	1,35	0	0	78	6
1,4/1,5	1,450000000000...	0	0	78	6

Şekil 4.2 : Süreksizlikler Arası Mesafe Verisinin Başlangıç Değeri ve Sınıf Aralığı Verilerek Frekansının Hesaplanması

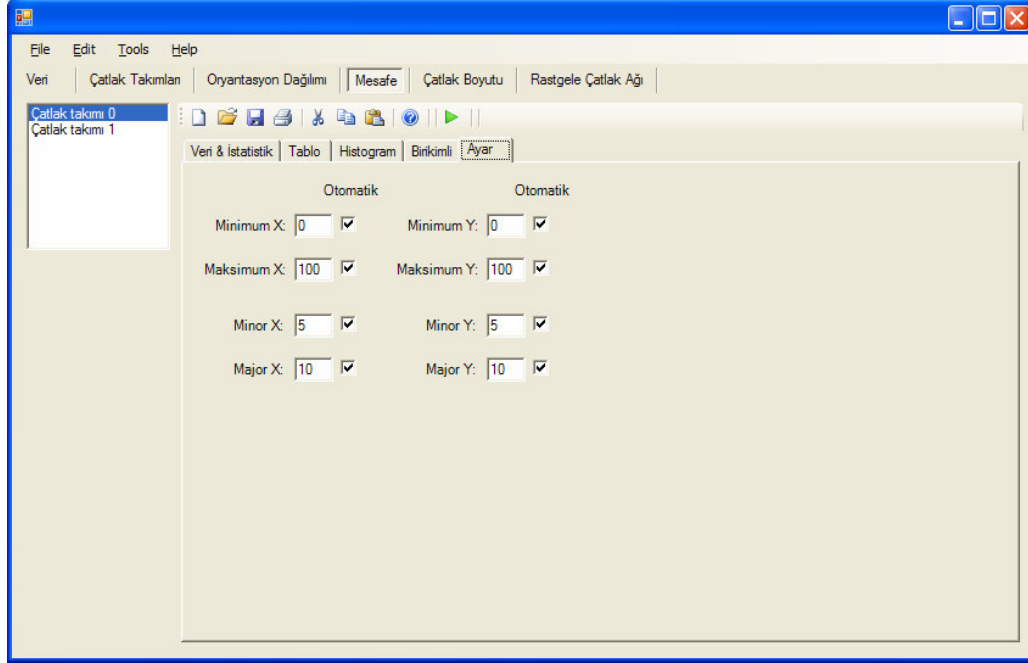
Tablo elde edildikten sonra histogram (Şekil 4.3) ve kümülatif histogram (Şekil 4.4) çizilir. Maksimum olabilirlik yöntemiyle standart sapma ve ortalama değer parametreleri hesaplanır. Olasılık dağılım fonksiyonları sırayla denenir. Görsel olarak hangi fonksiyonun grafiğe uygun olduğu anlaşılabilir. Daha objektif olarak uygun eğriyi seçmek için Kolmogorov-Smirnov, Ki-Kare ve Anderson yöntemleriyle eğri uyum testi yapılır. Fonksiyonlardan en düşük değerleri veren en uygun eğridir. Şekil 4.5'de grafik ile ilgili yapılabilecek ayarlar gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Süreksizlikler Arası Mesafe Verisinin Histogramı ve Bu Veriye Uygun Eğri



Şekil 4.4 : Süreksizlikler Arası Mesafe Verisinin Kümülatif Histogramı ve Bu Veriye Uygun Eğri



Şekil 4.5 : Histogram Grafiği ile İlgili Yapılabilcek Ayarlar

4.1.3 Olasılık Dağılım Eğrileri

Popülasyon hakkında, istatistiksel değerler bir çok bilgiyi içerse de, popülasyonun dağılımını histogram ile görselleştirerek vermek çok daha açıklayıcı olacaktır. Histogramda ordinat eksenini üzerinde frekans değeri $N(x)$, absis üzerinde x değerleri vardır. n örnek sayısı arttıkça $N(x)$ in x bir fonksiyonu olarak yumuşakça değiştiği gözlenir. Ayrıca aynı popülasyondan farklı örnekler seçilmesi halinde gene benzer grafik elde edilir. Sütunların üstlerindeki merkez noktalar birleştirilerek dağılımı temsil eden polinomal eğri çizilebilir.

Verilen x ve sınıf aralığı Δ için $N(x)$, örnek sayısı n değerine orantılıdır.

$$R(x) = \frac{N(x)}{n} \quad (4.7)$$

$R(x)$, merkezi x üzerinde olan sınıf aralığındaki relatif frekansı verir. Sınıf aralığı Δ küçük değerlerde $R(x)$ ile orantılıdır.

$$f(x) = \frac{N(x)}{n\Delta} \quad (4.8)$$

$f(x)$, merkezi x üzerinde olan birim sınıf aralığındaki relatif frekansı verir. Bu yüzden olasılık yoğunluk fonksiyonu veya olasılık yoğunluk dağılımı olarak adlandırılır.

Önceki formül aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$N(x) = n\Delta f(x) \quad f(x) \geq 0 \quad (4.9)$$

$f(x)$ şekli verir ve örnek sayısı ile sınıf aralığından bağımsızdır. $N(x)$ ve n boyutsuz sayılardır. Dağılımın anlaşılması açısından şekli veren $f(x)$ çok daha önemlidir.

Verilen örneklerle göre $N(x)$ ' i tam olarak hesaplamak için çok parametrelili polinomal bir $f(x)$ seçilebilir. Bunun faydası olmayacaktır çünkü $N(x)$ seçilen sayıların rastgele değişikliğinden etkilenir. Örnek sayısı azaldıkça bu etki daha da artar. Bunun yerine fiziksel sürece uygun daha basit bir $f(x)$ seçilerek, örneklerin bu model çevresinde dağıldığı, değişkenlik gösterdiği kabul edilir. Örnekteki verilerden kolayca hesaplanabilecek bir-iki parametrelili modeller seçilmeye çalışılır.

Δ değeri çok küçük alınır ve dx ile ifade edilirse, x ' ten $x+dx$ ' e kadar olan aralıkta bir değer alındığında frekansının $R(x)=N(x)/n$ olması beklenir.

$$P(x) = \frac{N(x)}{n} \quad 0 \leq P(x) \leq 1 \quad (4.10)$$

$$\frac{N(x)}{n} = f(x)dx \quad (4.11)$$

$$P(x) = \int f(x)dx \quad (4.12)$$

Bu formül yalnızca sürekli değişkenlerde kullanılabilir. Süreksizlikler arası mesafe ve iz uzunlukları da süreklidir. 0'dan sonsuza kadar bir değer alabilirler. Formül 4.12'den elde edilen olasılık değerlerinin toplamı 1 olur.

$$\int_0^{\infty} f(x)dx = 1 \quad (4.13)$$

0'dan x 'e kadar olan olasılıkların toplamı $F(x)$, geçici bir değişken kullanılarak bulunabilir.

$$F(x) = \int_0^x f(y)dy \quad (4.14)$$

Formül 4.14’de geçici değişken olan y ile kümülatif olasılık dağılımı $F(x)$ bulunmuştur.

Tablo 4.1’ de en sık kullanılan olasılık dağılım eğrileri verilmiştir.

Tablo 4.1. Olasılık Dağılımları (Priest, 1993, Mathab ve diğ., 1995)

Dağılım		Ortalama	Varyans
Negatif üssel	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad 0 \leq x \leq \infty$	$1/\lambda$	$1/\lambda^2$
Uniform	$f(x) = \frac{1}{a} \quad 0 \leq x \leq a$	$a/2$	$a^2/12$
Üçgen	$f(x) = \frac{2(a-x)}{a^2} \quad 0 \leq x \leq a$	$a/3$	$a^2/18$
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty \leq x \leq \infty$	μ	σ^2
Wicksell	$f(x) = \frac{\pi x}{2\mu_x^2} e^{-\frac{\pi x^2}{4\mu_x^2}} \quad 0 \leq x \leq \infty$	μ_x	
Lognormal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad 0 \leq x \leq \infty$	$\mu_1 = e^{(\mu+0.5\sigma^2)}$	$\mu_1^2(e^{\sigma^2} - 1)$
Weibull	$f(x) = \left(\frac{k}{\lambda}\right)\left(\frac{x}{\lambda}\right)^{(k-1)} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$	$\mu = \lambda\Gamma(1 + \frac{1}{k})$	$\lambda \ln(2)^{1/k}$
Gamma	$f(x) = x^{k-1} \frac{e^{-\frac{x}{\theta}}}{\Gamma(k)\theta^k}$	$k\theta$	$K\theta^2$

Mathab ve diğ. (1995) tarafından, Tablo 4.2’ de bugüne kadar yapılan çalışmalarda doğada rastlanan süreksizlikler arası mesafe ve iz uzunluğu olasılık dağılım eğrileri verilmiştir. Kendi yaptıkları çalışmalarda ise süreksizlikler arası mesafe için en sık olarak sırayla Lognormal, Weibull ve Gamma Dağılımlarına rastlamışlardır. Normal ve Üssel dağılım elde edememişlerdir. İz uzunlukları için ise Weibull, Lognormal, Gamma ve Üssel dağılımlara rastlamışlardır. Normal dağılıma ise rastlamamışlardır.

Tablo 4.2. Çeşitli çalışmalar sonucunda, doğada rastlanan süreksizlikler arası mesafe ve iz uzunluğu olasılık dağılım eğrileri (Mathab ve diğ., 1995)

Referans	Dağılım	
	Süreksizlikler arası mesafe	İz uzunluğu
Robertson (1970)	-	Üssel
McMahon (1971)	-	Lognormal
Bridges (1976)	Lognormal	Lognormal
Call et al. (1976)	Üssel	Üssel
Priest and Hudson (1976)	Üssel	-
Baecher et al.(1977)	Üssel	Lognormal
Cruden (1977)	-	Üssel
Barton (1978)	Lognormal	Lognormal
Hudson and Priest (1979)	Üssel	-
Wallis and King (1980)	Üssel	-
Priest and Hudson (1981)	Normal	Üssel
Segall and Polard (1983)	-	Hiperbolik
Dershowitz (1984)	-	Gamma
Sen and Kazi (1984)	Lognormal	-
Rouleau and Gale (1985)	Normal, Üssel, Weibull	Lognormal, Üssel
Bardsley et al.(1990)	Weibull	
Sen and Eissa (1992)	Üssel, lognormal	-
		-

4.1.4 Olasılık Dağılım Eğrisi Uygunluk Testleri

Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling en yaygın kullanılan olasılık dağılım eğrisi uygunluk testleridir. Birbirlerine göre üstünlükleri vardır.

4.1.4.1 χ^2 Testi

Ki-Kare dağılımı ilk olarak 1900'lü yıllarda Pearson tarafından ortaya atılmıştır (Aytaç, 1999). Uygunluk, bağımsızlık, varyans, homojenlik ve bağımlı grupların testinde oldukça sık kullanılır (Kartal, 1998). İki veya daha fazla veri seti arasında önemli farkın olup olmadığını belirlemede kullanılabilecek bir istatistiksel analiz yöntemidir. Beklenen değer ile gözlenen değer bu yöntemle kıyaslanabilir (Bircan, 2003).

Bir rastgele değişkene ait N elemanlı bir örnek m adet sınıfa ayrılarak her bir sınıftaki N_i eleman sayısı hesaplanır. Seçilen olasılık dağılım fonksiyonuna göre aynı sınıf aralıklarında bulunma olasılıkları p_i 'dir. Np_i rastgele değişkenin dağılımının seçilen dağılıma uyması halinde i- inci sınıfa düşecek eleman sayısıdır.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(N_i - Np_i)^2}{Np_i} \quad (4.15)$$

Yukarıdaki formül ile test istatistiği hesaplanır. Örneklem dağılımı asimptotik olarak serbestlik derecesi = m-1-n olan Ki-Kare dağılımıdır (n parametre sayısı). Bütün sınıf aralıklarında gözlenen eleman sayısının (N_i) teorik sayıya (Np_i) eşit olması halinde Ki- kare=0 olacaktır. Ki-Kare değeri de aradaki farkların artmasıyla artar. Ki-Kare değeri m-1-n serbestlik derecesinde aşılma olasılığı alfa olan Ki-Kare alfa değerinden küçükse, gözlenen dağılım seçilen teorik dağılıma uygun kabul edilir.

4.1.4.2 Kolmogorov-Smirnov

Ki-Kare uygunluk testlerinin alternatifi olan Kolmogorov-Smirnov testi, Kolmogorov tarafından 1933 yılında önerilmiştir. Kolmogorov, tek örnek için uyum iyiliği testini önermiştir. 1939 yılında ise Smirnov tarafından iki bağımsız örnek için uyum iyiliği testi geliştirilmiştir.

Ki-Kare testinin uygulanabilmesi için beklenen frekansların 5'ten büyük olması beklenir. Kolmogorov-Smirnov de ise böyle bir şart olmadığı için kolayca uygulanabilir. Ki-Kare testinde beklenen frekansların 5'ten büyük olması için ya

örneklerin büyük hacimli olması ya da sınıfların birleştirilmesi gerekir. Beklenen frekanslar için alt limit söz konusu değildir (Bircan, 2003).

$$\Delta = \max_i |F(x_i) - F^*(x_i)| \quad (4.16)$$

Kolmogorov-Smirnov gözlenen verilerin birikimli frekans dağılımının teorik bir dağılıma uygunluğunu test eder. Burada $F^*(x_i)$ gözlenen düzenlenmiş örnekten $F^*(x_i)=i/N$ formülüyle hesaplanan birikimli frekans dağılımı ordinatlarıdır. $F(x_i)$ ise seçilen teorik birikimli dağılım fonksiyonunun aynı x_i 'lere karşı gelen ordinatlarıdır. Buna göre Δ istatistiği gözlenen ve teorik birikimli dağılımların arasındaki farkların en büyüğüdür.

4.1.4.3 Anderson-Darling

Yaygın kullanılan testlerden biridir. Kümülatif eğrilerin (w_i) karşılaştırılması esasına dayanır. Test ne kadar düşük değer verirse eğri o kadar veriye uygundur (Bury, 1999).

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) [\ln(w_i) + \ln(1-w_{n-i+1})] \quad (4.17)$$

4.2 Çatlak Geometrisi

Çatlak boyutu ve geometrisi, belirlenmesi en zor parametredir. Net olarak belirlenebilmesi için tüm kayacın parçalanarak, incelenmesi gerekir. Bu pratik ve ekonomik değildir. Çatlak şekilleri, çok bloklu bir kayada kesişen çatlakların sınırları oluşturduğu karmaşık poligon şekiller alacaktır. Bu çatlak boyutlarının belirlenmesini daha zorlaştırmaktadır. Warburton (1980) ve Baecher (1977) sorunu çözmek için çatlak şekillerinin dairesel olarak kabul edilmesini önermiştir.

Bu kabul sayesinde, çatlak boyutlarıyla ilgili olarak elde edilen tek veri olan iz uzunluk ölçümlerinden yararlanılabilir. Kayaç yüzeyindeki iz uzunlukları, yüzey ile kesişen dairelerin kesişimleri olacaktır ve buradan iz uzunluğu dağılım eğrisi kullanılarak çatlak çapı dağılım eğrisi elde edilebilir.

4.2.1 Çatlak Çapları Dağılım Eğrisinin Elde Edilmesi

Warburton süreksizlik merkezlerinin 3 boyutlu Poisson sürecine hacimsel frekans λ_v ile uyduğunu, yüzey normalinin çatlak takımı normali ile $(\pi/2) - \delta$ açısı yaptığını kabul etmiştir.

4.12 denklemine göre, rast gele seçilmiş bir süreksizlik $c(s)ds$ olasılığında $s+ds$ aralığında değişmek üzere bir çapa sahiptir. Birim kaya kütleğinde süreksizlik sayısı $\lambda_v c(s)ds$ dir. Süreksizliklerden çapı s ile $s+ds$ aralığında kalan, yüzeyin iki yönünden de merkezi en fazla $(s/2)\cos\delta$ kadar olanlar kesişirler.

Daire çapları s , daire çap dağılımı $c(s)$ ve kümülatif dağılımı $C(s)$ olarak kabul edilir. $C(s)$ ’ te geçici değişken t kullanılır ve 0 ile s arasında integrali alınır:

$$C(s) = \int_0^s c(t)dt \quad (4.18)$$

$$\text{Alan: } a = \pi s^2 / 4 \quad (4.19)$$

Çapları s ile $s+ds$ arasında kalan Ortalama olarak birim alan yüzeyi kesen süreksizliklerin sayısı N_s aşağıda verilmiştir.

$$N_s = s \cos \delta \lambda_v c(s)ds \quad (4.20)$$

Çapı 0 ile sonsuz arasında değişen birim alanı kesen süreksizliklerin ortalama sayısı N_a , 4.20 denkleminin integralinin alınmasıyla bulunur.

$$N_a = \int_0^\infty \lambda_v \cos \delta s c(s)ds \quad (4.21)$$

$\mu_x = \int_0^\infty xf(x)dx$ bu formülden ortalama süreksizlik çapı μ_s elde edilir.

$$\mu_s = \int_0^\infty sc(s)ds \quad (4.22)$$

$$N_a = \lambda_v \cos \delta \mu_s \quad (4.23)$$

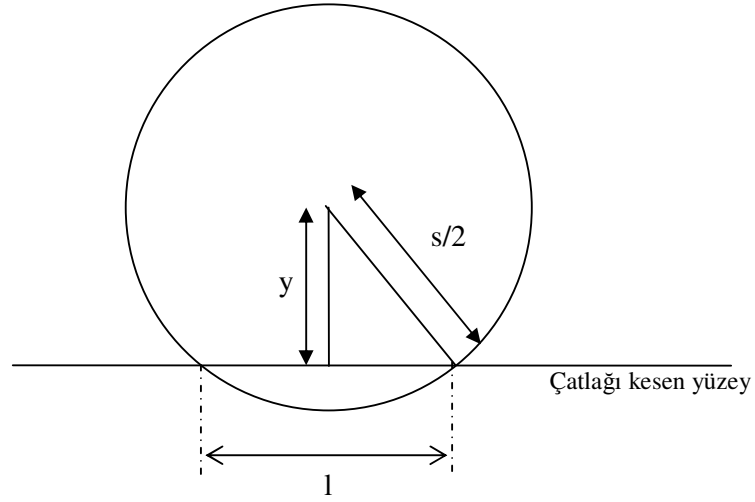
N_a : Bir çatlak takımı için birim alandaki beklenen iz uzunluğu sayısı

N_s/N_a : İz uzunluklarının relatif frekansını yani çapları s ile $s+ds$ arasında değişen dairelerin kirişlerini verir .

$$\frac{N_s}{N_a} = \frac{s}{\mu_s} c(s) ds \quad (4.24)$$

$\frac{N(x)}{n} = f(x)d(x)$ formülünden s çaplı dairelerin yüzey üzerindeki kirişlerinin olasılık yoğunluk dağılım eğrisi $k(s)$ elde edilir.

$$k(s) = \frac{s}{\mu_s} c(s) \quad (4.25)$$



Şekil 4.6 : Süreksizlik Kesiti

N_s/N_a (relatif frekans) ile $2dy/s$ oranını çarparak, P_{sy} yani disk çapı s ile $s+ds$ arasında değişen ve merkezleri y ile $y+dy$ arasında değişen toplam iz uzunluğu sayısı oranı elde edilir.

$$P_{sy} = \frac{2}{\mu_s} c(s) ds dy \quad (4.26)$$

Şekil 4.6'daki y 'nin formülü:

$$y = 0,5\sqrt{s^2 - l^2} \quad (4.27)$$

Buradan:

$$dy = \frac{-l dl}{2\sqrt{s^2 - l^2}} \quad (4.28)$$

P_{sy} formülünden faydalananarak P_{sl} 'i yani disk çapı s ile $s+ds$ arasında değişen ve kirişi l ile $l+dl$ arasında değişen toplam iz uzunluğu sayısı oranı elde edilir.

$$P_{sl} = \frac{1}{\mu_s} c(s) ds \frac{l dl}{\sqrt{s^2 - l^2}} \quad (4.29)$$

l ile $l+dl$ aralığında değişen kirişlerin toplam sayısının oranı P_l , l ile sonsuz aralığında P_{sl} formülünün integralinin alınmasıyla bulunur.

$$P_l = \frac{l dl}{\mu_s} \int_l^\infty \frac{c(s) ds}{\sqrt{s^2 - l^2}} \quad (4.30)$$

Bu da yüzey boyunca iz uzunlukları olasılık yoğunluk dağılımı $f(l)$ i verir:

$$f(l) = \frac{l}{\mu_s} \int_l^\infty \frac{c(s) ds}{\sqrt{s^2 - l^2}} \quad (l \leq s) \quad (4.31)$$

4.2.2 Algoritma

Priest (2004) tarafından, $f(l)$ iz uzunluğu olasılık yoğunluk dağılımından Formül 4.31 aracılığıyla $c(s)$ süreksizlik çapı olasılık yoğunluk dağılımını elde etmek için kolayca uygulanacak bir algoritma geliştirilmiştir. Ek A' da bu algoritmanın akım şeması verilmiştir.

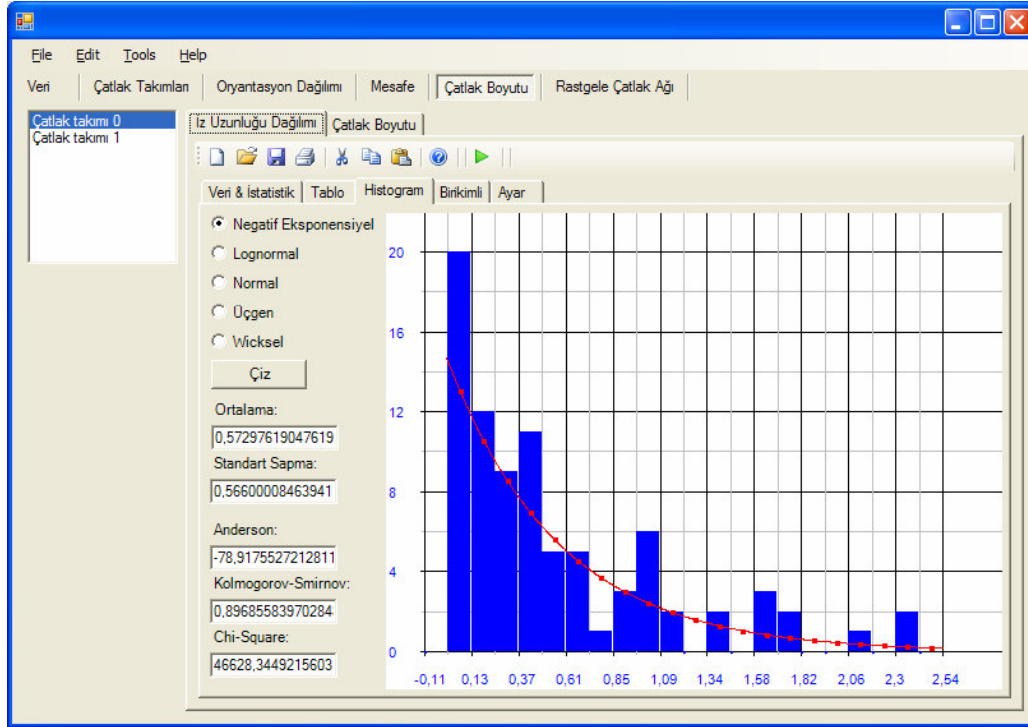
Elde edilen $f^*(l)$ eğrisi, araziden elde edilen verilerden elde edilen $f(l)$ fonksiyonu arasındaki fark en küçük kareler yöntemiyle fonksiyon haline getirilir.

$$\sum (f(l) - f^*(l))^2 \quad (4.32)$$

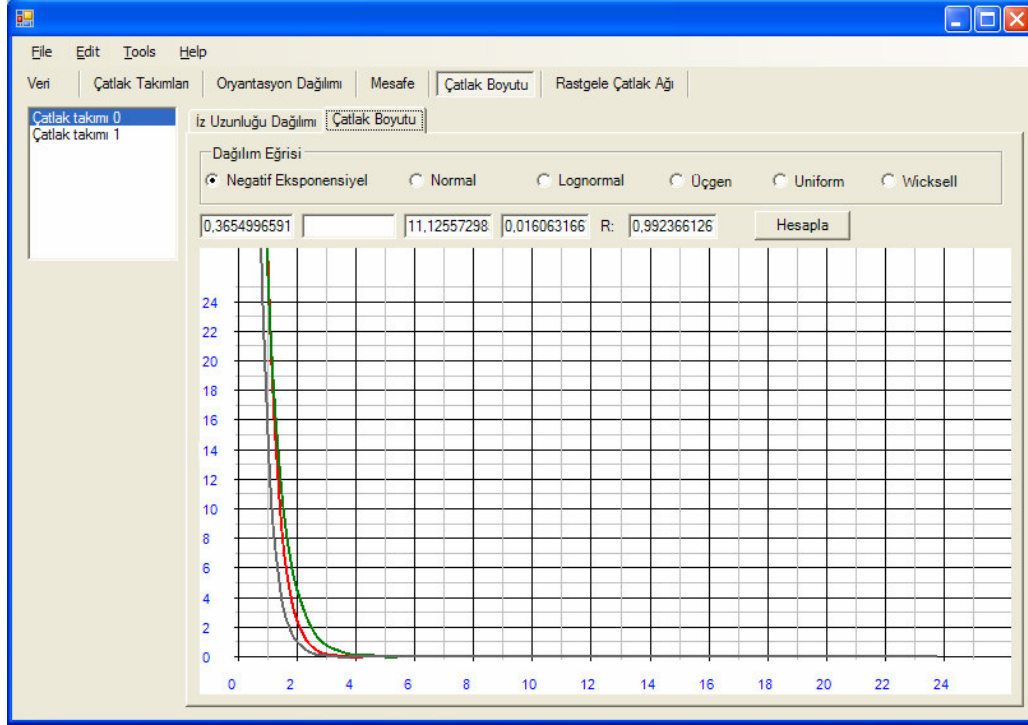
En uygun parametrelerle $c(s)$ fonksiyonu seçildiğinde, bu fonksiyon minimum olur. Optimizasyon yöntemleri kullanılarak fonksiyonu minimum yapan $c(s)$ 'e ait parametreler tespit edilebilir.

4.2.3 Program Arabirimi

İz uzunluğu verisi istatistiksel olarak incelenip uygun olasılık dağılım eğrisi $f(l)$ ile tanımlandıktan sonra (Şekil 4.7) bu algoritma ile uygun çap dağılım eğrisi $c(s)$ bulunmaya çalışılır. Sırayla $c(s)$ için her olasılık yoğunluk dağılımı denenir. R korelasyon sayısına bakılarak en uygun model seçilir. Şekil 4.8’ de kırmızı eğri arazi verisinden elde edilmiş verilere uygun dağılımdır. Gri eğri seçilmiş olan $c(s)$ eğridir. Yeşil eğri $c(s)$ eğrisinin 4.27 formülüne yerleştirilmesiyle elde edilen $f(l)$ eğrisidir. Yeşil eğri ile kırmızı eğrinin 0.9923’lük bir korelasyona sahip olmaları sonucunda gri ile gösterilen 0.36 ortalama değerli negatif üssel dağılıma sahip eğrinin çatlak çapları dağılımı olarak kabul edilebilir.



Şekil 4.7 : İz Uzunluğu Histogramı ve Olasılık Yoğunluk Dağılımı



Şekil 4.8 : İz Uzunluğu Olasılık Yoğunluk Dağılımından Faydalanılarak Elde Edilen Süreksizlik Çapı Dağılım Eğrisi

4.2.4 Optimizasyon Yöntemleri

Optimizasyon yöntemleri, sayısal yöntemler kullanarak fonksiyonların minimum oldukları yerde değişkenlerin aldığı değerleri tespit eder. Golden Section, Newton, Conjugate Gradient ve Levenberg-Marquardt algoritmaları en sık kullanılan yöntemlerdendir.

4.2.4.1 Golden Section

Fibonacci Sayı Serisi, son iki sayının toplanmasıyla bir sonraki sayının elde edildiği seridir.

$$Fib(i) = \begin{cases} Fib(i) = 0 & i = 0 \\ Fib(i) = 1 & i = 1 \\ Fib(i) = Fib(i-2) + Fib(i-1) & i > 1 \end{cases} \quad (4.33)$$

Art arda gelen Fibonacci Sayılarının oranına bakıldığında sayılar arttıkça oranın altın oranına yani yaklaşık olarak 1.618034'e yaklaştığı görülür.

$$\phi = \lim_{i \rightarrow \infty} \frac{Fib(i)}{Fib(i-1)} \quad (4.34)$$

Formül 4.35 kullanılarak altın oranı bulunabilir.

$$\phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad (4.35)$$

Buradan hareketle Fibonacci Sayısını hesaplamada kullanabilecek 4.36 denkleminde ulaşılabilir.

$$Fib(i) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\left(\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^i - \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^i \right) \quad (4.36)$$

Golden Section yöntemi tek değişkenli fonksiyonlarda kullanılır. Belirlenen bir aralıkta fonksiyonun minimum olduğu değer bulunur. Arama yapılan bölge sürekli daraltılarak minimum noktası bulunmaya çalışılır. Sınırı belirleyen büyük sayı $x1 \Delta$ kadar azaltılırken, küçük sayı $x2 \Delta$ kadar arttırılır. Fonksiyona yeni elde edilen $x1$ ve $x2$ değerleri yerleştirilerek hangisinin daha büyük olduğu tespit edilir. Eğer $x1$ 'de fonksiyon daha büyük sonuç verirse $x1$ tekrar Δ kadar azaltılır. Eğer $x2$ 'de fonksiyon daha büyük çıkarsa $x1$ Δ kadar arttırılır. Bu işlem, arama yapılan bölge yeterince küçülünceye kadar yani $x1$ ve $x2$ minimum noktasına belirlenen hata payı kadar yaklaşıncaya kadar devam eder. Burada önemli olan Δ değerinin büyüklüğüdür. Eğer Δ çok küçük seçilirse çok fazla iterasyon yapılarak minimum bulunabilir. Δ ne kadar büyük olursa hata miktarı da o kadar artar. Fibonacci Sayılarının ve Altın Oranının kullanılmasıyla bu sorunun üstesinden gelinmiştir.

$x1$ ve $x2$ sayıları arasındaki mesafe ardışık iki Fibonacci Sayısının birbirine oranının tersi ile çarpılırsa elde edilen değer $x1$ ve $x2$ birbirine yaklaştıkça azalır. Bir başka deyişle minimum noktasına yaklaştıkça atılan adımlar küçültülerek çok daha hassas olarak minimum noktası bulunabilir. Minimum noktasına uzaktayken de zaman kaybetmeden büyük adımlarla hızla minimuma yaklaşılr.

Fibonacci Sayıları çok büyükken oranları altın orana yaklaştığı için Modifiye Edilmiş Fibonacci Yöntemi'nde veya diğer adıyla Golden Section Yöntemi'nde Fibonacci Sayılarının 5'den büyük olanlarında ardışık sayılar arası oran hesaplanmadan doğrudan altın oran kullanılarak işlem sayısı azaltılır.

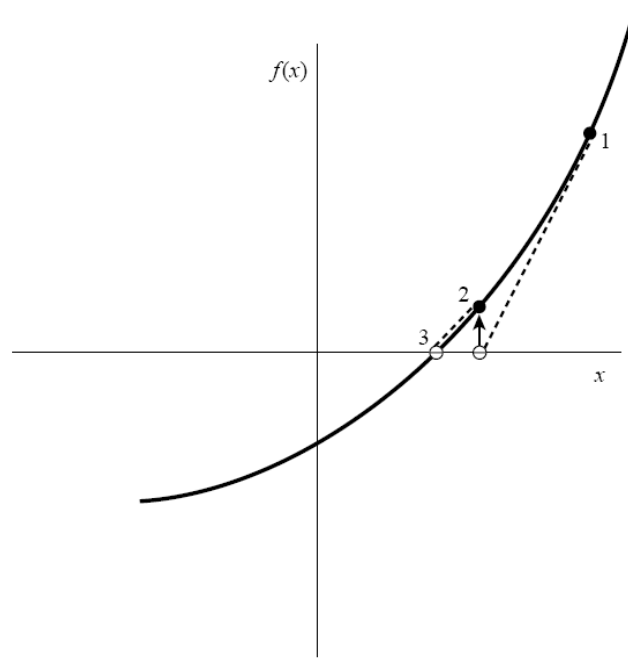
4.2.4.2 Newton

Newton metodunda x_i noktasında türev alınarak fonksiyonun eğimi bulunur ve eğimin tanjantının x eksenini kestiği yerde y değerine bakılır. Eğer fonksiyonun değeri sıfır olursa fonksiyonun kökü bulunmuş olur. Sıfır olmaması durumunda çıkan x_{i+1} değeri ile formül 4.37'deki işlem tekrarlanır. Şekil 4.9' da 2 adımda fonksiyonun kökü elde edilmiştir.

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad i \geq 0 \quad (4.37)$$

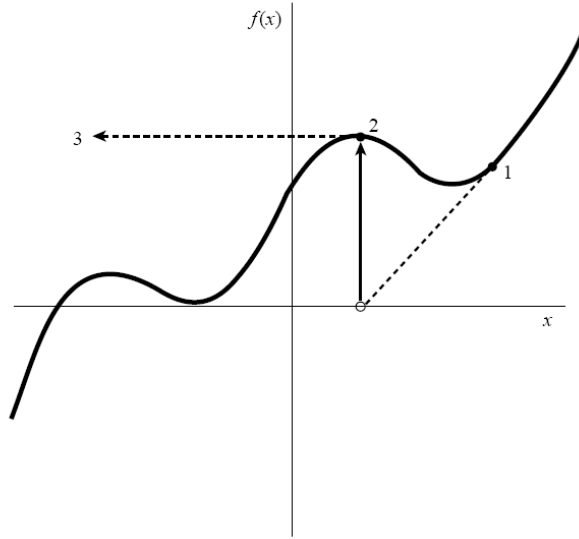
Fonksiyonların minimum noktasını bulurken de bu sayısal yöntemden faydalanabilir. Fonksiyonun türevinin sıfıra eşit olduğu nokta o fonksiyonun minimum noktasıdır. Fonksiyonun türevinin kökü formül 4.38'ü kullanarak Newton Yöntemi'yle aranır, fonksiyonu minimum yapan değişkenin değeri de elde edilmiş olur.

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f'(x_i)}{f''(x_i)} \quad i \geq 0 \quad (4.38)$$



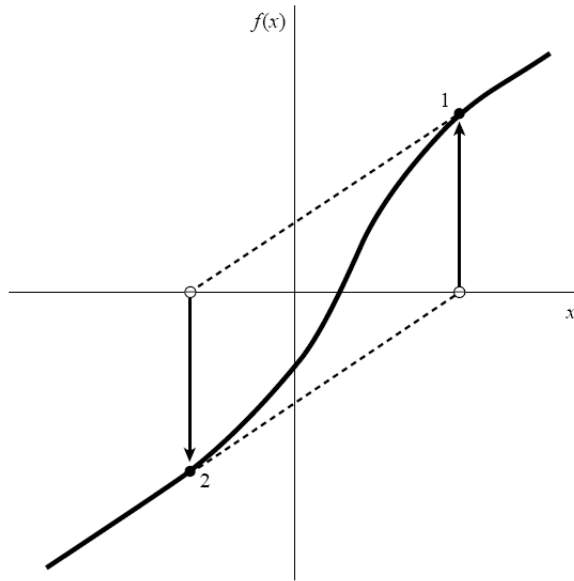
Şekil 4.9 : Newton Yöntemiyle Köke Ulaşılması

Newton yönteminin iki önemli dezavantajı vardır. Her noktada her fonksiyonun türevini almak mümkün olmayabilir. Tanjant çizgisi kökten çok uzakta bir yeri kesebilir ve algoritma tekrara girebilir (Şekil 4.10, 4.11). En büyük avantajı, çok az sayıdaki iterasyonla hemen sonuca ulaşabilmesidir.



Şekil 4.10 : Newton yönteminin kökü bulamadığı bir durum

Kısayol Show Desktop.Ink



Şekil 4.11 : Newton yönteminin tekrara girdiği bir durum

Sayısal yöntemlerde türevin tanımından yararlanılarak formül 4.39' daki yöntemle türev alınır.

$$f'(x) \approx \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (4.39)$$

Teoride h, 0'a ne kadar yaklaşırsa, türev de o kadar doğru alınmış olur. Uygulamada ise, yuvarlanma hataları nedeniyle $h=10^{-5}$ olarak alınmalıdır. Daha küçük değerler hatalı sonuç vermektedir.

$$f'(x) \approx \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} \quad (4.40)$$

4.40 denkleminde iki nokta arasındaki ortalama eğim hesaplandığı için 4.39 denkleminde göre daha doğru sonuç elde edilir.

İkinci dereceden ve üçüncü dereceden türev alma yöntemleri 4.41 ve 4.42 denklemleri ile verilmiştir.

$$f''(x) \approx \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x-h) - 2f(x) + f(x+h)}{h^2} \quad (4.41)$$

$$f'''(x) \approx \lim_{h \rightarrow 0} \frac{-f(x-2h) + 3f(x-h) - 3f(x) + f(x+h)}{h^3} \quad (4.42)$$

Newton Yöntemi tek boyutlu olduğu gibi çok boyutlu fonksiyonlarda da kullanılabilir. Bunun için Gradient ve Hessian Matrislerinin hesaplanması gerekmektedir.

4.43 denkleminde gösterildiği gibi, Gradient Matrisi elemanları f fonksiyonunun kısmi türevleri olan sütun matrisidir.

$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right) \quad (4.43)$$

Hessian Matrisi 4.44 denkleminde gösterildiği gibi f fonksiyonunun ikinci dereceden kısmi türevlerinin kare matrisidir.

$$Hf = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_n} \end{bmatrix} \quad (4.44)$$

İkinci dereceden kısmi türevi sayısal yöntemle hesaplamak için 4.45 formülü kullanılır.

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} = \frac{f\left(\left(\frac{f(x_1+h)-f(x_1-h)}{h}\right)+h\right) - f\left(\left(\frac{f(x_1+h)-f(x_1-h)}{h}\right)-h\right)}{h} \quad (4.45)$$

4.34 formülüne Gradient ve Hessian Matrislerini yerleştirince 4.46 formülü elde edilir.

$$x_{i+1} = x_i - \frac{\nabla f(x_i)}{Hf(x_i)} \quad i \geq 0 \quad (4.46)$$

4.46 denklemini Hessian Matrisinin tersinin alınmasıyla 4.47 şeklinde yazılabilir.

$$x_{i+1} = x_i - [Hf(x_i)]^{-1} \nabla f(x_i) \quad i \geq 0 \quad (4.47)$$

m x p boyutlarındaki A matrisi ile p x r boyutlarındaki B matrisinin çarpımı AB=C olarak 4.48' de verilmiştir. C matrisi m x r boyutlarında olur. 4.49' de matris çarpım algoritması verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1r} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2r} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{p1} & b_{p2} & \cdots & b_{pr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1r} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2r} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mr} \end{bmatrix} \quad (4.48)$$

$$c_{ik} = \sum_{j=1}^p a_{ij} b_{jk} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ k = 1, 2, \dots, r \end{matrix} \quad (4.49)$$

Sol üstten başlayan diyagonalinde bir ve diğer hücrelerinde sıfır bulunan matrise birim matris denir. I_n , n x n boyutlarında birim matristir.

$$I_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.50)$$

$AB = I$ eşitliğinde A ile B matrisleri birbirlerinin tersi olduğu için çarpımları birim matrisi verir. $AB = I$ eşitliğinde B'yi bulmak için Gauss-Jordan yöntemiyle $[A \ I]$ Augmented Matrisi çözülürse A'nın tersi bulunmuş olur.

$$[A \ I_p] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1p} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2p} & 0 & 1 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mp} & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad m = p \quad (4.51)$$

4.47'ye Gauss Jordan'ın uygulanmasıyla 4.52 elde edilir.

$$[I_p \ B] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1p} \\ 0 & 1 & \ddots & \vdots & b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2p} \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mp} \end{bmatrix} \quad m = p \quad (4.52)$$

Gauss Algoritması:

$l = p - 1$

$q = p + 1$

For $i = 1, 2, \dots, l$

$h = i + 1$

For $j = h, h + 1, \dots, p$

$m = a_{ji} / a_{ii}$

For $k = h, h + 1, \dots, q$

$a_{jk} = a_{jk} - ma_{ik}$

For $i = p, p-1, \dots, 1$

$d = a_{iq}$

For $j = i + 1, i + 2, \dots, p$

$$d = d - a_{ij}b_j$$

$$b_i = d / a_{ii}$$

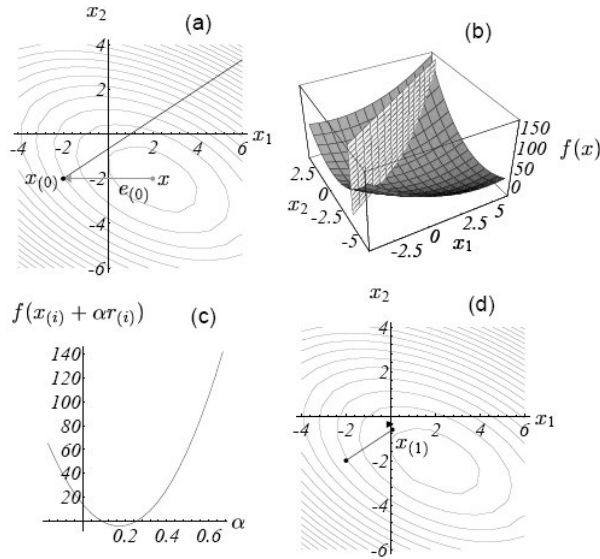
4.2.4.3 Steepest Descent

Steepest Descent Yöntemi'nde verilen noktanın eğiminin en fazla olduğu yön fonksiyonun gradienti ile bulunur. e miktarınca bu yönde ilerlenir. $e > 0$ olacak şekilde küçük bir rakamdır. e 'nin çok küçük seçilmesi iterasyon sayısını e 'nin büyük seçilmesi ise hata payını artırır.

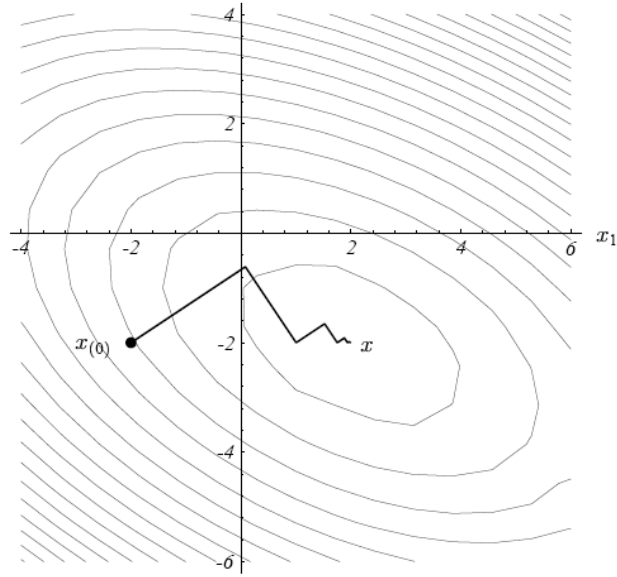
$$x_{i+1} = x_i - e f'(x_i) \quad (4.53)$$

$$x_{i+1} = x_i - e \nabla f(x_i) \quad (4.54)$$

Şekil 4.12' de yöntem tarif edilmiştir. -2,-2 noktasından başlanır ve en eğimin en fazla olduğu yönde ilerlenir (a). Fonksiyonun en küçük olduğu nokta aranır. Yüzeylerin kesişimi parabol oluşturur (b-c). En alt noktadaki gradient bir önceki adımdaki gradientin dikidir (d). Bu sayede o yöndeki minimum noktası bulunabilir. Aynı işlemlerin tekrarlanmasıyla Şekil 4.13'deki gibi minimuma doğru ilerlenir.



Şekil 4.12 : Steepest Descent Yöntemi



Şekil 4.13 : Steepest Descent Yöntemi

4.2.4.4 Levenberg-Marquardt

$$x_{i+1} = x_i - (Hf + \lambda I)^{-1} \nabla f \quad (4.55)$$

Yukarıdaki formülde λ kontrol için kullanılır. Eğer çok küçük bir değer olursa fonksiyon tamamen Newton yöntemine dönüşür. Eğer çok büyürse Steepest Descent yöntemine dönüşür.

$$x_{i+1} = x_i - (Hf)^{-1} \nabla f \quad (4.56)$$

$$x_{i+1} = x_i - \frac{1}{\lambda} \nabla f \quad (4.57)$$

Her adımda hata miktarı kontrol edilir. Eğer hata artarsa λ da artırılır. Eğer hata azalır λ da azaltılır. Böylece minimum noktasından uzakken, Steepest Descent yakinken Newton kullanılmış olur.

Marquardt bu yöntemi birim matris yerine Hessian matrisinin diagonal değerlerini alarak daha etkili hale getirmiştir.

$$x_{i+1} = x_i - (Hf + \lambda \text{diagonal}(H))^{-1} \nabla f \quad (4.58)$$

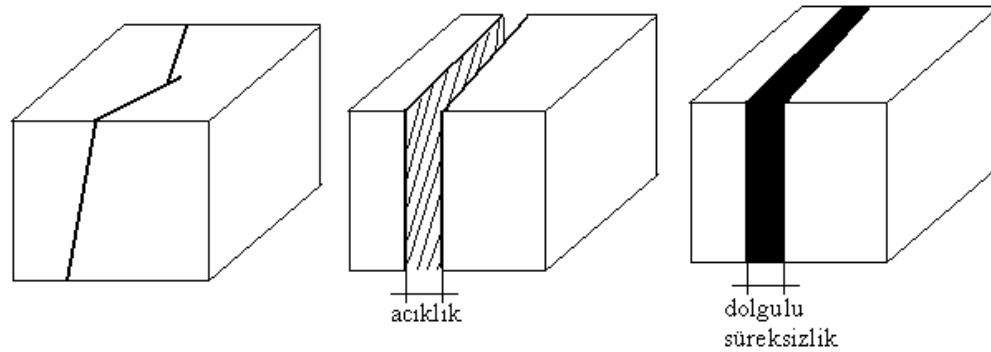
Newton ve Steepest Descent yöntemlerinin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Steepest Descent'te bulunulan noktadaki eğim arttıkça adımları küçültmek gerekir yoksa minimum noktasından uzaklaşılabilir. Eğimin az olduğu yerde adımları büyütmek gerekir yoksa minimum noktasına ulaşılması çok uzun sürer. Oysa her şartta sabit miktarda ilerlendiği için bunun tam tersi uygulanmış olmaktadır.

4.3 Diğer Özellikler

Süreksizliklerin sahip olduğu diğer başlıca özellikler açıklık, pürüzlülük, dalgalılık, dolgu ve su geliridir. Bu bilgiler de programa veri olarak girilebilir, yalnız çatlak geometrisini etkilemezler. Su geliri tahmini, kaya kütlelerinin dayanımı gibi hesaplamalarda kullanılırlar.

4.3.1 Açıklık

Birbirine komşu iki süreksizlik arasındaki dik mesafeye süreksizlik açıklığı denilmektedir. Süreksizlik açıklıkları kapalı, açık ve dolgulu olmak üzere 3'e ayrılmaktadır (ISRM, 1981). Bu üç açıklık türü Şekil 4.14.'de görülebilir.



Şekil 4.14 : Süreksizliklerdeki Açıklık Türleri (Ulusay ve Sönmez, 2002)

ISRM (1981) süreksizlik açıklıklarını sözel olarak Tablo 4.3' de verildiği şekliyle sınıflandırmıştır.

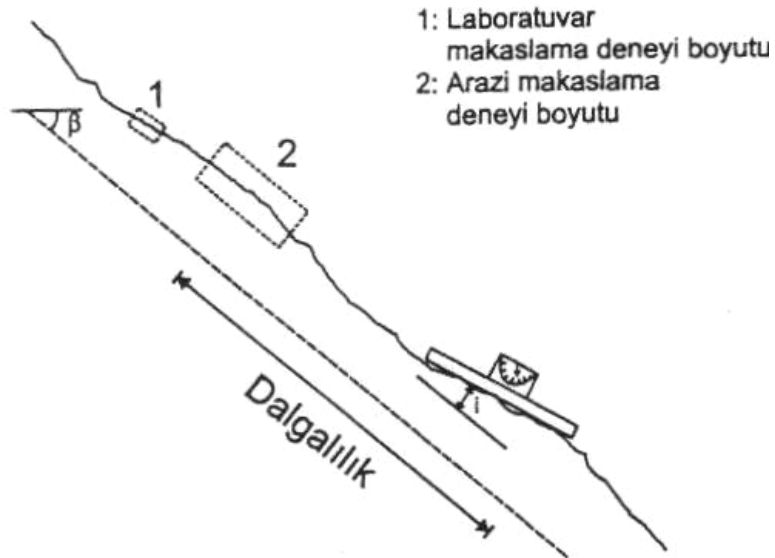
ISRM (1981) tarafından, her süreksizlik seti için ortalama açıklık değerinin tespit edilmesi ortalama açıklık değerinden daha büyük açıklık değerine sahip olan süreksizliklerin lokasyon ve yönelimleri ile tanımlanmaları önerilmiştir.

Tablo 4.3. Süreksizlik Açıklıklarının Sınıflandırılması (ISRM, 1981)

Açıklık	Sınıflar	
<0,1 mm	Çok Sıkı	Kapalı
0,1-0,25 mm	Sıkı	
0,25-0,5 mm	Kısmen Açık	
0,5-2,5 mm	Açık	Boşluklu
2,5-10 mm	Orta Derecede Geniş	
>10 mm	Geniş	
1-10 cm	Çok Geniş	Açık
10-100 cm	Aşırı Geniş	
>100 cm	Boşluklu	

4.3.2 Pürüz, Dalga

Süreksizliklerde küçük ölçeklerdeki düzlemsellikten sapmalar pürüzlülük olarak tanımlanırken daha büyük ölçekteki salınımlara dalgalılık denilmektedir (Şekil 4.15). Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, pürüzlülük ile kesme dayanımı arasında önemli ilişkiler bulunmaktadır.



Şekil 4.15 : Pürüzlülük ve Dalgalılığın Gösterilmesi (ISRM, 1981)

Pürüzlülük küçük ölçekteki kayanın laboratuvar deneyi sırasında bulunacak olan kesme dayanımı değeri üzerinde etkili iken, dalgalılık kesme deformasyonunun yönü üzerinde etkili olmaktadır (ISRM, 1981).

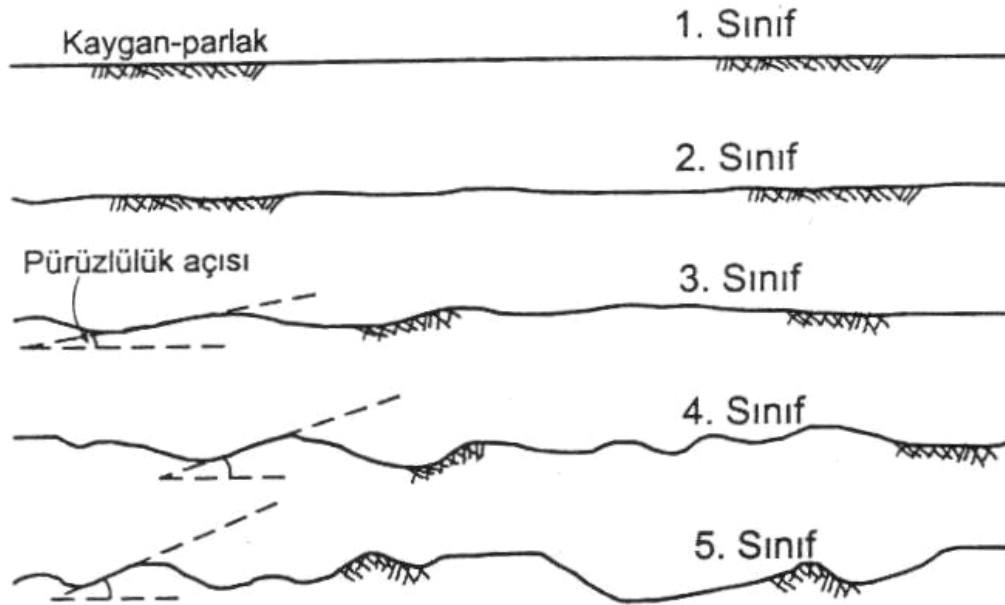
Pürüzlülük değeri arazide veya laboratuvarında yapılan ölçümlerden elde edilir. ISRM (1981) standartlarına göre pürüzlülük, lineer profil yöntemi, kumpas ve disk klinometre yöntemi ve fotogrametrik yöntem ile tayin edilebilir. Tüm bu yöntemler mostra üzerinde gerçekleştirilebilir. Bunun yanında hem ekonomik külfet getirmektedir, hem de zaman alıcı olmaktadır. Ancak, pürüzlülük tayinini arazi gözlemleri sonucunda nicel olarak gerçekleştirmek de mümkündür. Bu sayede, pürüzlülük tayini hem hızlı hem de ucuz bir şekilde yapılmaktadır.

ISRM (1981) standartlarına göre tanımlama işlemi iki temel ölçeğe dayandırılarak gerçekleştirilir. Bunlardan biri küçük ölçek olup boyutu cm seviyesindedir, diğeri ise orta ölçek olup boyutu m seviyesindedir. Her iki ölçek için de tanımlama işlemi 3 ayrı sınıf dikkate alınarak gerçekleştirilir. Küçük ölçekteki sınıflar, pürüzlü, düz ve kaygan, büyük ölçekteki sınıflar ise basamaklı, dalgalı ve düz olmak üzere toplam 9 ayrı gruba ayrılır (Şekil 4.17).

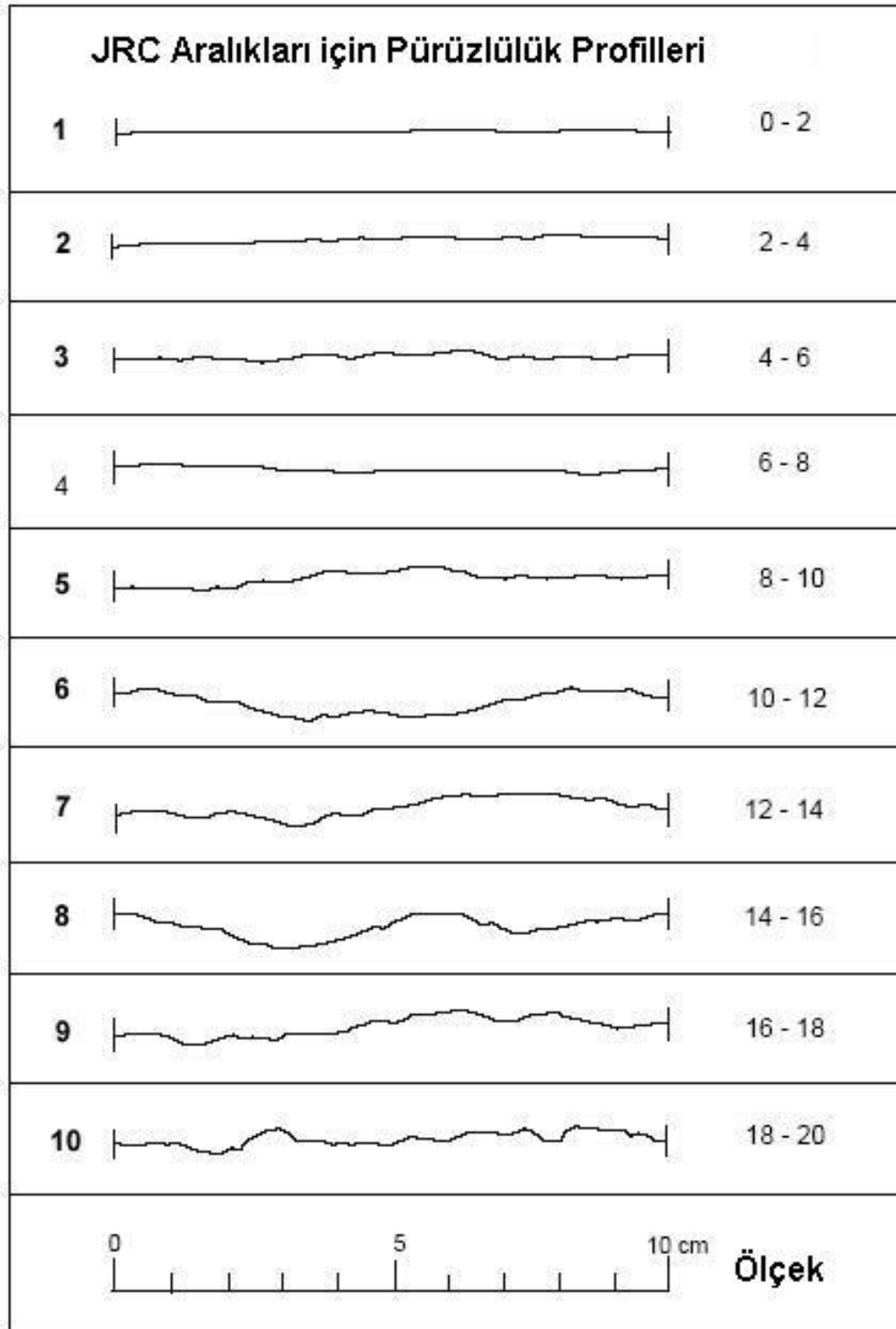
1979' da Golder Hoek ve derneği tarafından yapılan çalışmada ise arazideki profiller sürülen profiller ile eşleştirilir (Şekil 4.16) ve Tablo 4.4.'de verilen sınıflama yardımıyla incelenilen süreksizliğin sınıfı tayin edilir.

Tablo 4.4. Golder Hoek ve Derneğine (1979) göre pürüzlülük ve dalgalılık sınıflamaları (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Tanımlama		Sınıf
Pürüzlülük	Kaygan-parlak	1
	Düz	2
	Pürüzlü	3
	Çıkıntılı	4
	Basamaklı	5
Dalgalılık	Düzlemsel	1
	Az dalgalı	2
	Dalgalı	3
	Kavışlı	4
	Kıvrımlı	5



Şekil 4.16 : Pürüzlülük Profilleri (Ulusay ve Sönmez, 2002)



Şekil 4.17 : Pürüzlülük Pprofilleri (ISRM, 1981)

Benzer şekilde Barton ve Choubey (1977)' de kaya kütle sınıflama sistemlerinde kullanılmak üzere, pürüzlülük profilleri geliştirmişlerdir (Şekil 4.18). Bu sınıflamada 10 adet ayrı profil oluşturulmuş ve her bir profil için çatlak pürüzlülük katsayısı (JRC) tayin edilmiştir.

Palmström (1995) yaptığı çalışmada ise, çatlağın dalgalılık ve düzlüğünü belirledikten sonra, pürüzlülüğün belirlenmesi yoluna gitmiştir. Dalgalılığın kestirimi için arazi çalışması sırasında, L uzunluğa sahip bir cetvel süreksizlik boyunca yerleştirilir ve çatlak yüzeyindeki en derin dik mesafe, a, tespit edilir, daha sonra Tablo 4.5 kullanılarak dalgalılık faktörü (J_w) kestirilir (Sharma ve Saxena, 2002).

$$U = \frac{a_{\max}}{L_j} \quad (4.59)$$

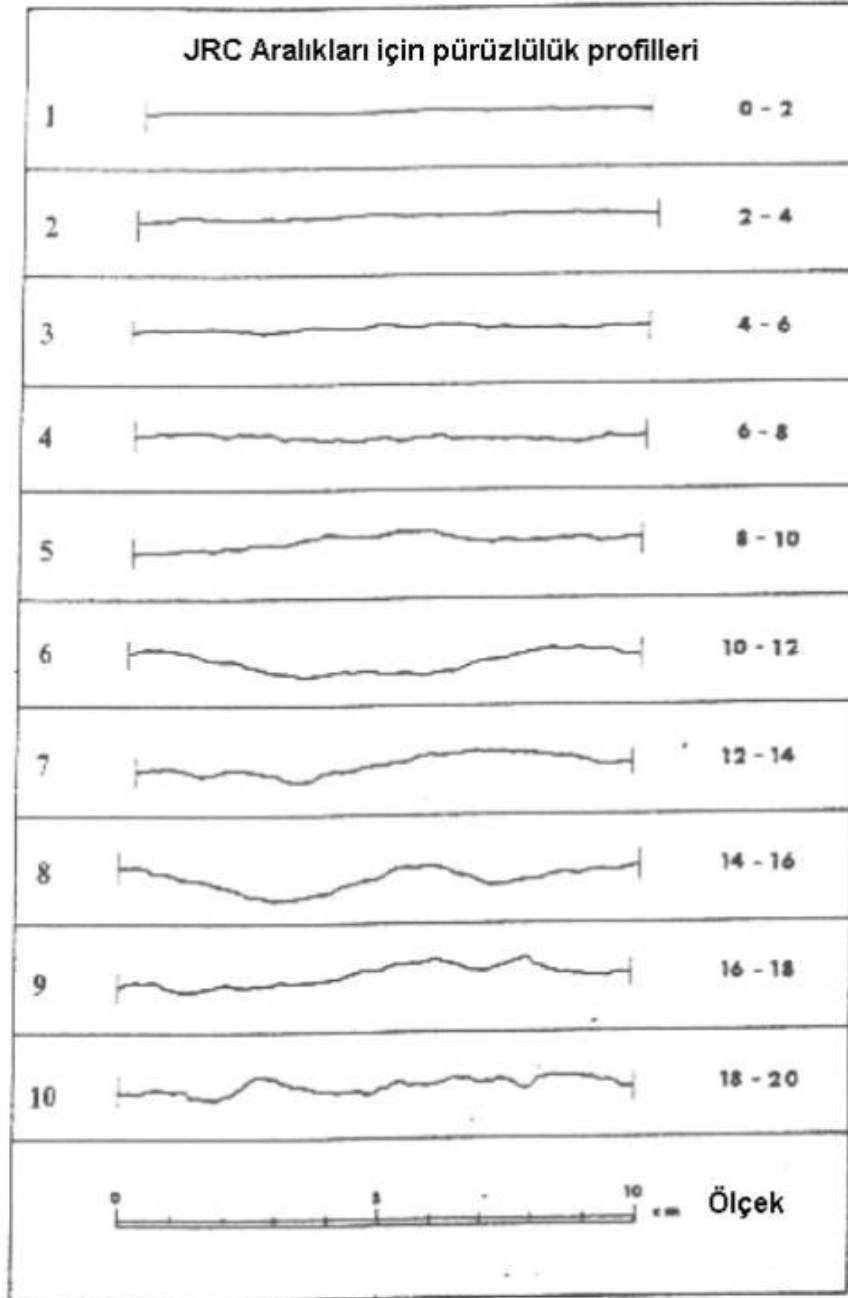
Tablo 4.5. Çatlak dalgalılığının belirlenmesi (Sharma ve Saxena, 2002).

Sınıf	Dalgalılık U (%)	Dalgalılık Faktörü (J_w)
Bağlanma		3
Basamaklı		2,5
Büyük dalgalı	> % 3	2
Küçük Dalgalı	0,3 – 3	1,5
Düz	< 0,3	1

Dalgalılığının bulunmasından sonra, düzlük de Tablo 4.6' da verilen tanımlamalardan hareket edilerek tayin edilir.

$$JR = J_s \times J_w \quad (4.60)$$

Bu iki parametrenin tespit edilmesinden sonra, çatlak pürüzlülüğü, iki parametrenin çarpılması ile elde edilir. Çatlak pürüzlülüğünün aşağıda verilen eşitlik ile bulunması hem uygulaması kolay olan hem de güvenilirliği yüksek olan bir sonuç ortaya çıkar.



Şekil 4.18 : Pürüzlülük Profilleri (Barton ve Choubey, 1977)

Tablo 4.6. Çatlak pürüzlülüğünün karakterizasyonu (Palmström , 1995)

Sınıf	Tanımlanması	Düzlük Faktörü, J _s
Çok Pürüzlü	Birbirine yakın dik basamaklar vardır, çatlak yüzeyinde iniş çıkışlar vardır.	3
Pürüzlü	Bir miktar iniş çıkışlar ve basamaklar vardır, pürüzlülük kolayca görülebilir, çatlak yüzeyi çok aşındırıcıdır.	2
Az Pürüzlü	Çatlak yüzeyindeki pürüzlülük ayırt edilebilir ve hissedilebilir.	1,5
Düz	Yüzey düzdür ve dokunulduğunda hissedilebilir.	1
Parlak	Görülebilir bir parlaklık vardır veya çok düzgün yüzey bazen klorit veya özel talk mineralleri ile kaplanmıştır.	0,75
Parlak ve Kaygan	Parlak bir yüzeyi vardır bunun oluşmasının sebebi fayda meydana gelen sürtünme veya diğer hareketler olabilir.	0,6-1,5

4.3.3 Dolgu

Birbirine komşu, aralarında açıklık bulunan iki süreksizlik arasındaki mesafeyi dolduran malzeme dolgu denilir. Dolgu mekanik olarak kayaç malzemesinden çok daha düşük dayanıma sahiptir. Dolgu malzemesinin arazi çalışmaları sırasında tespit edilmesi gereken özellikleri ISRM (1981) standartlarınca belirlenmiş olup aşağıda özetlenmiştir.

- Genişlik:* Ortalama dolgu genişliği en küçük ve en büyük kalınlıklarının ölçülmesinden sonra tespit edilmelidir. Alınan ölçümlerin ortalaması, gözlenen dolgunun ortalama genişliğini verecektir.
- Bozunma derecesi:* Kaya kütleindeki boşlukların dolgu malzemesi ile dolması işlemi, malzemenin çeşitli etkiler sonucunda özelliklerinin değişip bu boşluğu doldurması ile gerçekleşmektedir. Bu durumda dolgu malzemesi kayaç malzemesinin bozunması ile elde edilmektedir. ISRM (1981) iki farklı tanım getirerek dolgu malzemesinin kayaç malzemesinden hangi oranda saptığını tespit etmektedir. Bunlar ayrılmış ve parçalanmış olur, ayrılmış dolguda kayaç malzemesinin orijinal dokusu korunmuş ancak kısmen veya tamamen

minerallerin bozunması söz konusu olmuş ve davranışı toprak zemine benzemiştir. Parçalanmış dolgu malzemesinde ise, kayaç malzemesi gene orijinal dokusunu korumuş ancak malzemenin kırılması sonucunda boşluk dolgu malzemesi ile dolmuştur. Minerallerde ise herhangi bir bozunma söz konusu değildir.

- c) *Mineraloji*: Dolgu malzemesinin Montmorillonit grubu şişen killer ve benzeri malzemeler içermesi durumunda, uzun süreli stabilite problemleri açısından minerolojik analiz, ince tane oranının saptanması, su içeriğinin araştırılması gereklidir.
- d) *Tane boyutu*: Dolgu malzemesini oluşturan tanelerin boyutları elek analizleri ile tespit edilerek dolgu malzemesinin karakterizasyonu Wentworth skalasına göre gerçekleştirilir. Ancak, elek analizi için gerekli olan malzeme miktarının her durumda elde edilmesi mümkün olmayabilir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Tablo 4.7. Wentworth Skalası (ISRM, 1981)

Sınıf	Boyut (mm)
Çok Büyük Taş	200-600
Kaldırım Taşı	60-200
İri Çakıl	20-60
Orta Çakıl	6-20
İnce Çakıl	2-6
İri Kum	0,6-2
Orta Kum	0,2-0,6
İnce Kum	0,06-0,2
Silt, Kil	<0,06

Bu skala ile dolgu malzemesinin türünü sözel olarak tayin etmek mümkündür. Daha sonra bu tarz malzemenin olası dayanımı kestirilebilir.

- e) *Dolgunun dayanımı*: Dolgu malzemesinin dayanımı arazide yapılacak olan basit gözlem ve uygulamalar ile geniş bir aralıkta kestirilebilir. Özellikle numune almanın zor olduğu durumlarda ISRM (1981) tarafından önerilen Tablo 4.7'yi

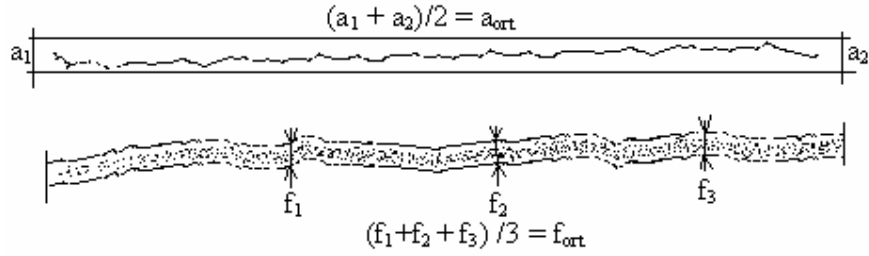
kullanmak akılcıdır. Ancak dayanımın yüksek olduğu ve numune almanın mümkün olduğu yerlerde sadece gözlemlerden hareket ederek sonucu kestirmek hatalı sonuçlara yol açacaktır.

- f) *Önceki yer değiştirme*: Dolgulu bir süreksizlikte daha önceden herhangi bir kesme hareketinin olup olmadığının araştırılması önemlidir. Bu hareketin sonucunda kesme deformasyonları ve yer değiştirmeleri meydana gelecektir. Bu ise, dolgu malzemesinin üzerinde kaygan ve parlak yüzeylerin olması ile kestirilebilir.
- g) *Su içeriği ve geçirgenlik*: Dolgulu bir süreksizliğin su içeriği ve geçirgenliği yine ISRM (1981) tarafından önerilen ve Tablo 4.8.' da tanımlanmıştır.

Tablo 4.8. Dolgulu süreksizliklerde su durumuna göre sınıflandırma (ISRM, 1981)

Sınıf	Tanım
W ₁	Malzeme aşırı derece konsolide olmuş ve kurudur. Geçirgenlik çok düşük olduğu için önemli su akışı gözlenmez.
W ₂	Malzeme nemlidir ancak serbest su yoktur.
W ₃	Malzeme yaştır ve yer yer su damlacıkları görülür.
W ₄	Malzeme yıkanmış olduğunu göstermektedir. Ancak sürekli su akışı gözlenmez.
W ₅	Dolgu malzemesi bölgesel olarak yıkanmıştır ve yıkanma kanalları boyunca belirgin su akışı bulunmaktadır.
W ₆	Dolgu malzemesi tamamen yıkanmıştır ve çok yüksek su basıncı mevcuttur.

Dolgu malzemesi, bahsedildiği üzere ana kayaktan ve süreksizliklerden daha düşük kesme dayanımına sahiptir. Eğer, Şekil 4.19'da gösterilen dolgu malzemesinin kalınlığı, pürüzlülüğünün genliğinden daha büyükse süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımı dolgunun kesme dayanımı tarafından tayin edilir (Ulusay ve Sönmez, 2002).



Şekil 4.19 : Dolgu Malzemesinin Kalınlığı (Ulusay ve Sönmez, 2002)

4.3.4 Su Durumu

Yeraltı su durumu yeraltı yapılarının stabiletilerini etkilemesi açısından son derece önemlidir. Su akışı süreksizlikler arasındaki birbirleri ile bağlantıları olan açıklıklarda gerçekleşmektedir. Bunun yanında yeraltı su seviyesi, gerek kayaç malzemesinin gerekse kaya kütlelerinin dayanımını etkilemektedir. Öyle ki, akiferin altında bulunan malzeme suya doymun hale gelmektedir. Böyle bir malzemenin gerilmeleri efektif gerilmeler olarak belirlenmelidir. Bunun yanında, süreksizlik açıklıklarından akan su, süreksizlik yüzeylerini bozundurmakta ve bu yüzeylerin kesme dayanımlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle eğim yönüne ve çatlakların yönlerine bağlı olarak su miktarının fazla olması, suyun yüksek bir basınçla açılan boşluğa püskürmesine veya sürekli belli bir hızda akışına neden olacaktır ki, bu durumda yeraltı yapılarının stabilitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Akiferin belirlenmesi ve çeşitli deneylerin yapılması amacıyla sondaj çalışmaları gerçekleştirilir. Ancak, bunun yanında ISRM (1981) tarafından belirlenen kriterlerce kaya kütleindeki su durumunun tahmini arazi çalışmaları ile de mümkün olmaktadır.

Söz konusu inceleme dolgulu ve dolgusuz olmak üzere her iki tip süreksizlik için de gerçekleştirilebilir ve yapılan çalışmanın sonucunda açılan boşluğa sızan suyun sınıflaması gerçekleştirilir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. Su sızıntısının sınıflandırılması (Ulusay ve Sönmez, 2002)

Sınıf	Tanımlama
4.3.5 Dolgusuz Süreksizlikler	
1	Süreksizlik yüzeyi kapalı ve kuru akış yok.
2	Yüzey ve su akışına dair bir gösterge yok.
3	Yüzey kuru ancak su akışı olduğuna dair kanıtlar var, örn. yosunlanma.
4	Yüzey nemli ancak akış yok.
5	Yüzeyde damlalar halinde sızıntı var ancak sürekli bir akış söz konusu değil
6	Yüzeyde sürekli bir akış var. Bu akış lt/dk olarak ölçülebilir veya basıncı düşük, orta, yüksek olarak tanımlanabilir.
4.3.6 Dolgulu Süreksizlikler	
1	Dolgu malzemesi aşırı derecede konsolide olmuş geçirgen olmadığı için su akışı söz konusu değil.
2	Dolgu ıslak, yer yer su damlacıkları mevcut.
3	Dolgu malzemesi su damlacıkları ile ıslanmış.
4	Dolgu malzemesinin yıkanmış-ıslanmış olduğuna dair ipuçları mevcut ve sürekli su akışı var.
5	Dolgu malzemesi yerel olarak yıkanmış taşınmış ve yıkanma kanalları boyunca dikkate değer miktarda su akışı var.
6	Dolgu malzemesi tamamen taşınmış, su basıncı yüksek.

ISRM (1981) kaya kütlelerinde suyun tanımlanması için başka bir sınıflama daha geliştirmiştir. Bu sınıflama, özellikle tünel kazısı sonrasında kaya kütleindeki çatlaklardan gelen suyun tanımlanması amacıyla kullanılmaktadır (Tablo 4.10).

Tablo 4.10 : Kaya kütlelerinde su sızıntısının sınıflandırılması (Ulusay ve Sönmez, 2002)

Sınıf	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok.
2	Çok az miktarda sızıntı mevcut.
3	Orta derecede akış söz konusu, sürekli akışın gözleendiği süreksizlikler belirlenmeli.
4	Önemli miktarda akış, sürekli akışın gözleendiği süreksizlikler belirlenmeli.
5	Nadir olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir.

5. RASTGELE ÇATLAK AĞLARININ OLUŞTURULMASI

Kaya kütleindeki süreksizlik ağını oluşturan popülasyondan alınan örneklerle kaya kütleindeki çatlakların karakteristiğini temsil eden grafiksel veya sayısal bir modelini oluşturmak için rastgele çatlak ağları oluşturulur. Süreksizlik özelliklerinin çoğunun olasılık yoğunluk fonksiyonları ile tanımlanabilmesi bu yöntemin temelini oluşturmaktadır. Hudson ve La Pointe (1980), Long (1983) ve Priest ve Samaniego (1983) su geliri modellemesinde, Priest ve Samaniego (1988) blok stabilitesinde rastgele çatlak ağlarını ilk kullananlar olmuşlardır.

Rastgele çatlak ağlarını oluşturabilmek için şu parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır:

- Çatlak takımlarının sayısı, ortalama oryantasyonları ve oryantasyon dağılımları.
- Her takımın, birim hacimdeki çatlak merkezi sayısını gösteren, frekansı.
- Çatlak merkezlerinin dağılım düzeni. Rastgele olup Poisson sürecine uyabilir veya uzaysal değişkenliğe sahip olabilir.
- Her takım için çatlak şekli ve boyut dağılımı.

Şu kabuller yapılmaktadır:

- Belirli sayıda tanımlanabilir çatlak takımı mevcuttur.
- Her takımdaki süreksizlik oryantasyonları Fisher Dağılımı ile karakterize edilip Fisher Sabiti ile kontrol edilmektedir.
- Çatlaklar her boyutta rastgele bulunur.
- Çatlaklar dairesel disklerdir. Çap dağılımları sürekli dağılım eğrileri ile karakterize edilebilir.

Hesaplamalara kaya kütleinin boyutları girilerek başlanır. Her çatlak takımı için belirlenmiş olan hacimsel çatlak sayısından o kütle için kaç çatlak üretilmesi gerektiği tespit edilir. Çatlak merkezlerinin poisson koordinatlarına göre belirlenmesi gerekmektedir. 0 ile 1 arasında uniform olarak dağılmak üzere rastgele sayılar

belirlenir. Koordinat sınırları x_{g1} , x_{g2} , y_{g1} , y_{g2} ve z_{g1} , z_{g2} arasında kalacak şekilde x_r , y_r , z_r çatlak merkezi koordinatları belirlenir.

$$x_r = x_{gl} + R_{U,l}^i (x_{g2} - x_{g1}) \quad (5.1)$$

$$y_r = y_{gl} + R_{U,l}^{i+1} (y_{g2} - y_{g1}) \quad (5.2)$$

$$z_r = z_{gl} + R_{U,l}^{i+2} (z_{g2} - z_{g1}) \quad (5.3)$$

Çatlakların rastgele sapma açısı, çatlak takımının Fisher Sabiti kullanılarak Fisher Dağılımından rast gele seçilir. Çatlak çap dağılım eğrisine uygun olarak rastgele çapları çatlak merkezlerine atanır. Sanal gözlem hatları yerleştirilerek, oluşturulan süreksizliklerin, süreksizlikler arası mesafe dağılımına uygunluğu kontrol edilir. Bu işlemler sonucunda kaya kütesini temsil eden geometrik model elde edilir.

Tablo 5.1. Dağılımlara Uygun Rastgele Sayı Üretmek için Denklemler (Priest, 1993)

Dağılım	
Uniform	$f(x) = \frac{1}{a} \quad 0 \leq x \leq a$ $R_{U,a}^{i+1} = a R_{U,1}^{i+1}$
Negatif Üssel	$R_{E,\lambda}^i = \frac{-\ln(1 - R_{U,1}^i)}{\lambda}$
Normal	$R_{N,0,1}^i = \cos(2\pi R_{U,1}^i) \sqrt{-2 \ln(R_{U,1}^{i+1})}$ $R_{N,0,1}^k = \sin(2\pi R_{U,1}^i) \sqrt{-2 \ln(R_{U,1}^{i+1})}$
Lognormal	$R_{L,\mu,\sigma}^i = e^{(R_{N,\mu,\sigma}^i)}$

Tablo 5.1 de uniform, negatif üssel, normal ve lognormal dağılımlara uygun rast gele sayı üretmek için kullanılan denklemler verilmiştir.

Elde edilen çatlak haritasının gösterimi için Microsoft Direct-X kullanılmıştır. Süreksizlikler silindir olarak çizilmiştir. Silindirlerin kalınlığı süreksizliklerin

açıklığı, çapları da süreksizlik çapı olarak girilmiştir. Silindir merkezleri süreksizlik merkezlerine yerleştirildikten sonra, önce y eksenini boyunca alfa açısı kadar, x eksenini boyunca da beta açısı kadar çevrilmiştir. Her takıma farklı renk verilerek birbirlerinden ayırt edilmeleri sağlanmıştır.

Diğer programlar tarafından da haritaların açılıp kullanılabilmesi için VRML standartında dosya çıktısı alınmaktadır. DirectX'te olduğu gibi silindirler kullanılmaktadır. Alınan çıktılar istenilen programın dosya formatına dönüştürülerek kullanılabilir. Şekil 5.1'de kaya kütlelerinin ve bir adet süreksizliğin tanımlanmış olduğu örnek bir dosya verilmiştir.

```
#VRML V2.0 utf8
Transform {
translation 50 50 50
children [Shape {
  geometry Box {
    size 100 100 100}
  appearance Appearance {
    material Material { diffuseColor 0.9 0.9 0.9 transparency
0.5 }}}}]
Transform {
translation 71 53 77
rotation 0 1 0 0.785398185253143
children [Transform {
rotation 0 0 1 0.785398185253143
children [Shape {
  geometry Cylinder {
    radius 5
    height 0.2}
  appearance Appearance {
    material Material { diffuseColor 0 0 1 }
    }}}}]
Transform {
translation 71 53 77
rotation 0 1 0 0
children [Transform {
rotation 0 0 1 1.57079637050629
children [Shape {
  geometry Cylinder {
    radius 5
    height 0.2}
  appearance Appearance {
    material Material { diffuseColor 1 0 0 }
    }}}}]
}}]}
```

Şekil 5.1 : Örnek VRML çıktısı

6. UYGULAMA

Tekmar şirketine ait, Bilecik'teki mermer ocağında süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. Ocakta tel kesme makineleri ile blok üretimi yapılmaktadır. Blok alma verimi %15 civarındadır. Ocakta blok alınamayan bölgelere denk gelinmektedir. Süreksizliklerin modellenerek bu bölgelerin önceden tespit edilmesi zaman kayıplarını azaltacak ve maliyetleri düşürecektir.

Ölçümler gözlem hatları kullanılarak iki basamakta yapılmıştır. 100 m'lik, 103 'lik ve 32 m'lik üç adet gözlem hattı kurulmuştur. Jeolojik pusula ve şerit metre yardımıyla gerekli veriler toplanmıştır. Daha sonra bu veriler programa girilerek işlenmiştir.

Şekil 6.1'deki ekranda gözlem hatlarının uzunluk ve oryantasyon bilgileri girilmiştir. Her gözlem hattıyla ölçülen süreksizlik özellikleri ayrı ayrı kaydedilmiştir (Şekil 6.2). Çatlak takımları belirlenip, süreksizliklerin hangi takıma ait olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.3).

Çatlak Takımı: 0

Çatlak Adedi: 16

Sapma: 0,377

a: 219

B: 59

Çatlak Takımı: 1

Çatlak Adedi: 20

Sapma: 0,411

a: 280

B: 7

Çatlak Takımı: 2

Çatlak Adedi: 54

Sapma: 0,508

a: 37

B: 47

Çatlak Takımı: 3

Çatlak Adedi: 35

Sapma: 0,484

a: 143

B: 18

Her çatlak takımına ait süreksizlikler arası mesafe (Şekil 6.4, 6.7, 6.10 ve 6.13), iz uzunluğu (Şekil 6.5, 6.8, 6.11 ve 6.14) ve çap dağılım eğrileri (Şekil 6.6, 6.9, 6.12 ve 6.15) belirlenmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar Tablo 6.1’de verilmiştir (Şekil 6.16). Bu bilgilerden yararlanılarak süreksizlik haritası üretilmiştir (Şekil 6.17). Şekil 6.18 ve 6.19’da bu haritanın üç boyutlu görünümü verilmiştir.

Tablo 6.1 : Çatlak Takımlarının Özellikleri

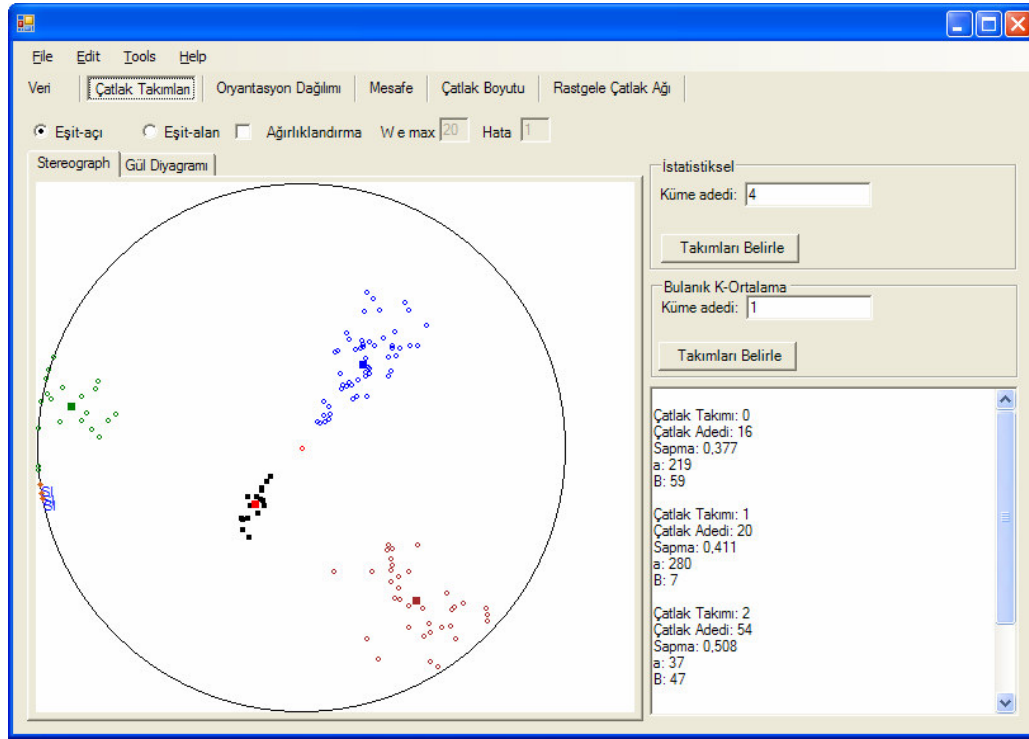
Çatlak Takımı	Alfa	Beta	Adet	Mesafe		
				Model	Ortalama	S. Sap.
0	219	59	16	Negatif Üssel	11,695	12,582
1	280	7	20	Lognormal	11,478	7,110
2	37	47	54	Negatif Üssel	4,144	4,017
3	143	18	35	Lognormal	6,541	6,146
Çatlak Takımı	İz Uzunluğu			Çatlak Çapı		
	Model	Ortalama	S. Sap.	Model	Ortalama	S. Sap.
0	Normal	4,382	2,044	Wicksell	4,227	0,340
1	Normal	3,369	1,111	Normal	3,367	1,056
2	Lognormal	4,820	2,754	Lognormal	1,342	0,491
3	Normal	4,078	1,369	Normal	3,558	1,805

id	Label	Trend	Plunge	Uzunluk	mesafemodel	mesafemean	mesafesdev
0	SI	260	0	100	8	4.1440740740	4.0172169651
1	SI	259	0	32	1	1.735	1.5077612933
2	SI	262	0	103	3	1.6857377049	1.4279536162
*							

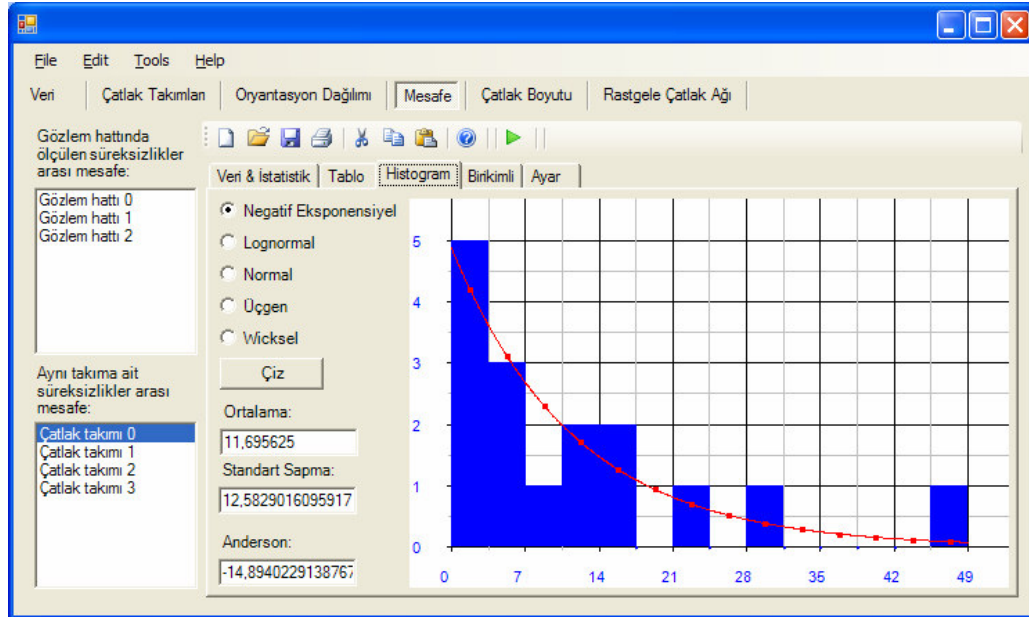
Şekil 6.1 : Gözlem Hatlarıyla İlgili Bilgiler

Distance	dd	da	id	slid	ndd	nda	Trace	takim
2.11	35	42	0	0	215	48	2.06	0
2.96	100	90	2	0	280	0	2.7	1
3.66	200	42	3	0	20	48	2.68	2
4.7	201	43	4	0	21	47	2.22	2
8.09	101	88	5	0	281	2	3.21	1
9.45	320	83	6	0	140	7	3.53	3
11.45	321	86	7	0	141	4	2.35	3
11.93	202	50	8	0	22	40	4.03	2
13.33	203	65	9	0	23	25	2.47	2
13.75	322	59	10	0	142	31	3.36	3
18.52	204	48	11	0	24	42	4.46	2
18.68	102	89	12	0	282	1	3.33	1
18.98	205	59	13	0	25	31	2.86	2
24.01	206	64	14	0	26	26	2.38	2
24.19	207	22	15	0	27	68	5.75	2
28.1	208	35	16	0	28	55	3.36	2

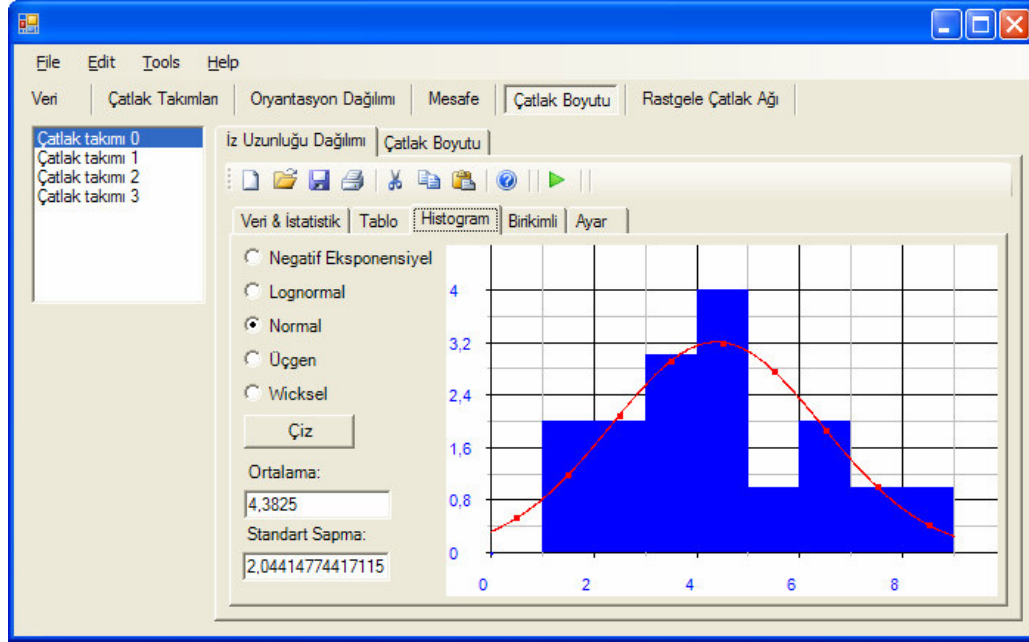
Şekil 6.2 : Süreksizlik Özellikleri



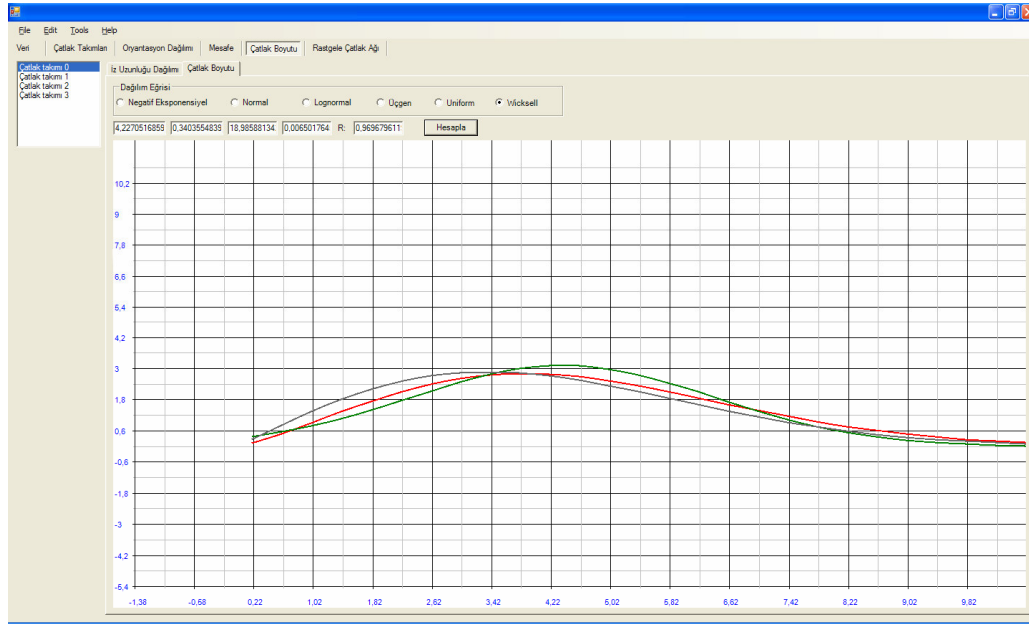
Şekil 6.3 : Süreksizlik Takımları



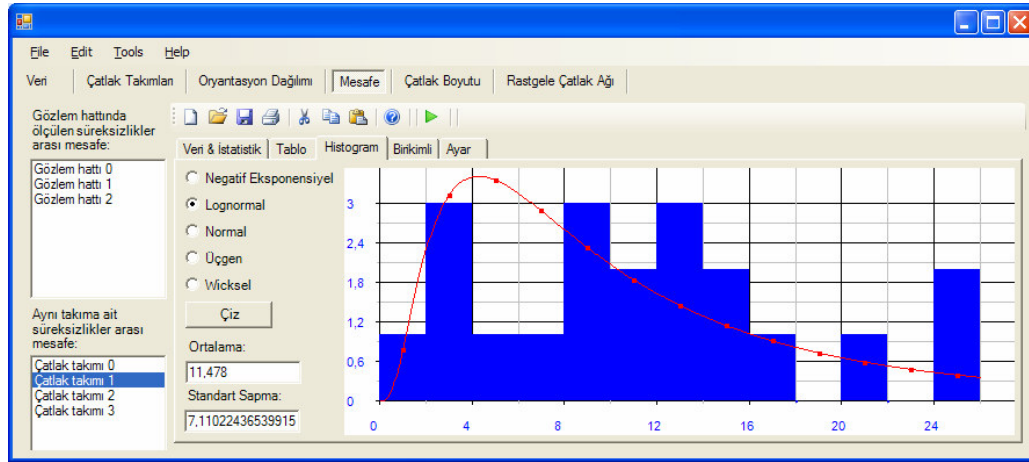
Şekil 6.4 : Çatlak Takımı 0 Mesafe Dağılımı



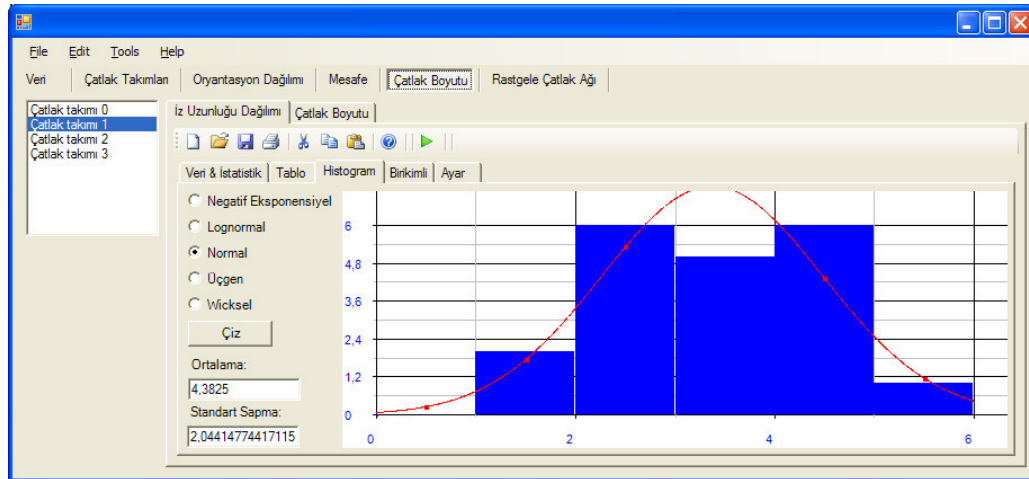
Şekil 6.5 : Çatlak Takımı 0 İz Uzunluğu Dağılımı



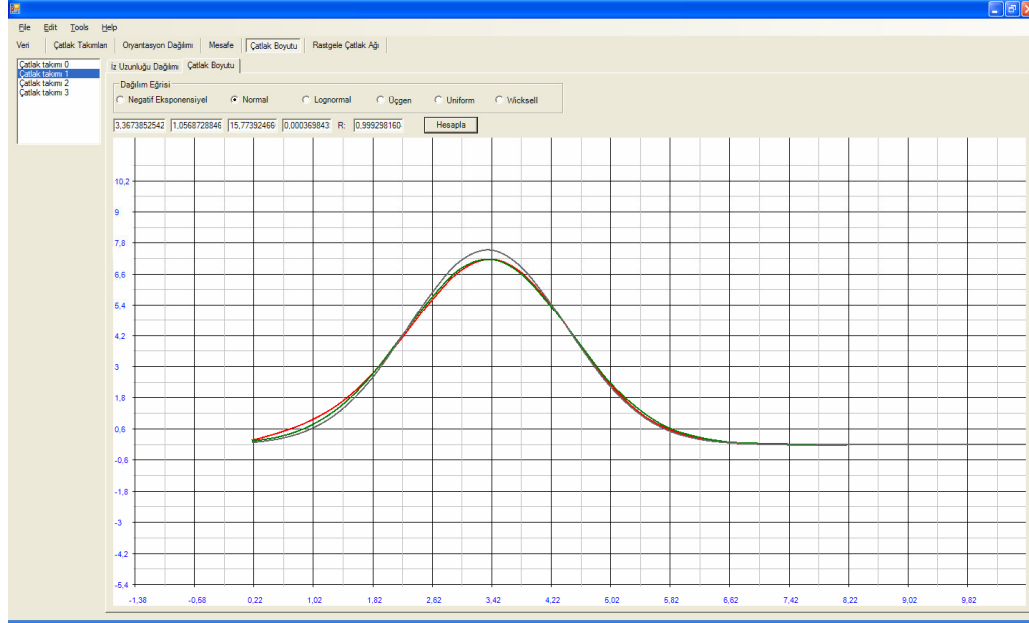
Şekil 6.6 : Çatlak Takımı 0 Süreksizlik Çapı Dağılımı



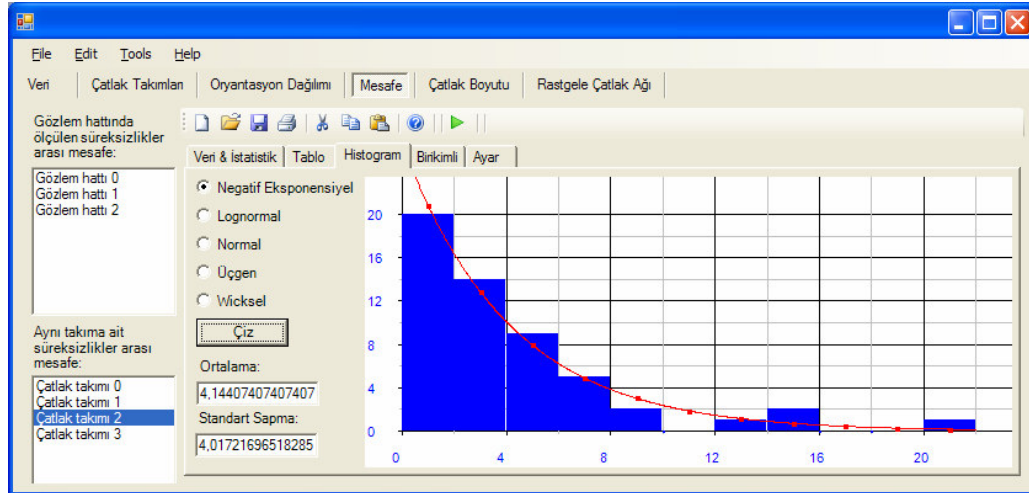
Şekil 6.7 : Çatlak Takımı 1 Mesafe Dağılımı



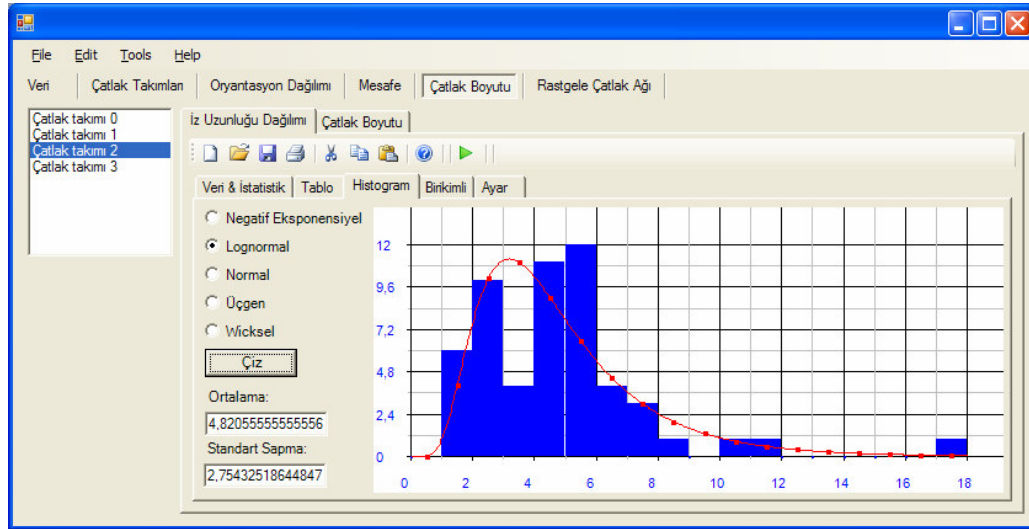
Şekil 6.8 : Çatlak Takımı 1 İz Uzunluğu Dağılımı



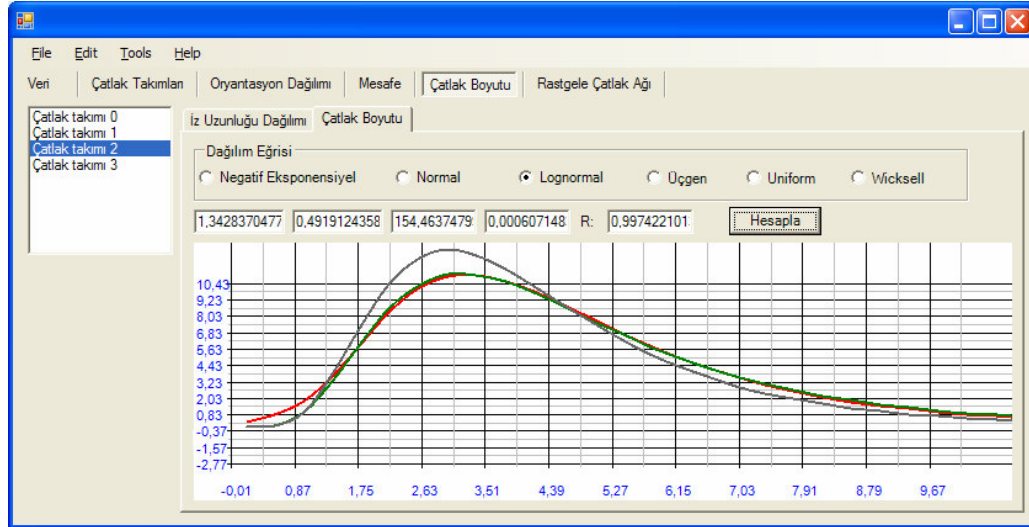
Şekil 6.9 : Çatlak Takımı 1 Süreksizlik Çapı Dağılımı



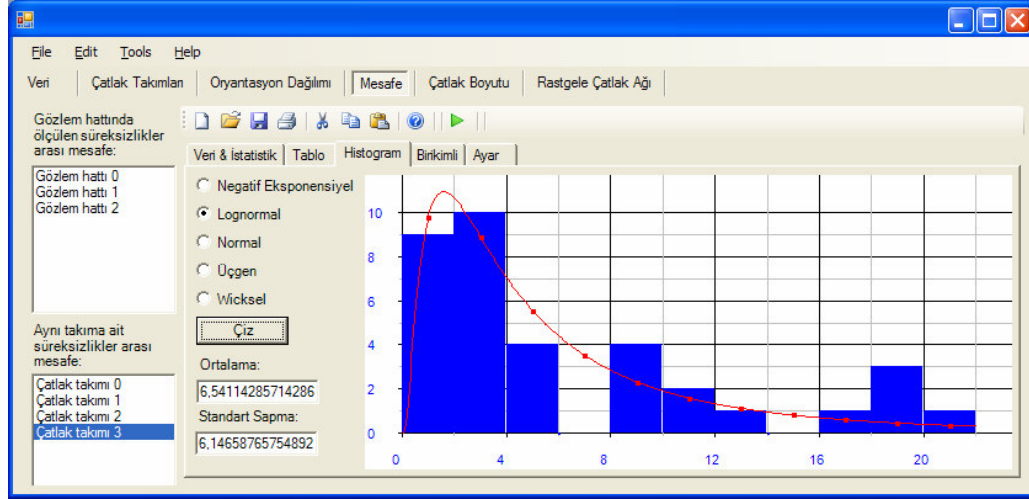
Şekil 6.10 : Çatlak Takımı 2 Mesafe Dağılımı



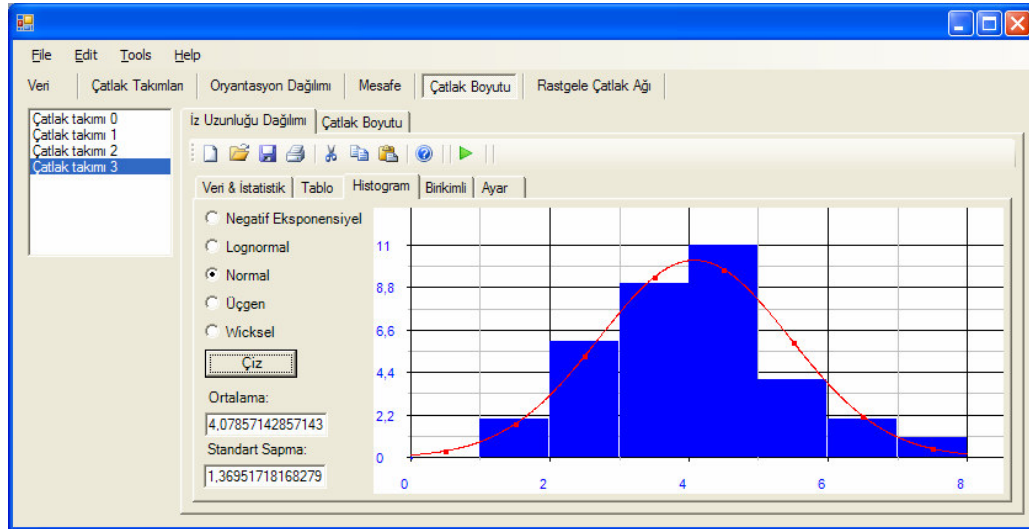
Şekil 6.11 : Çatlak Takımı 2 İz Uzunluğu Dağılımı



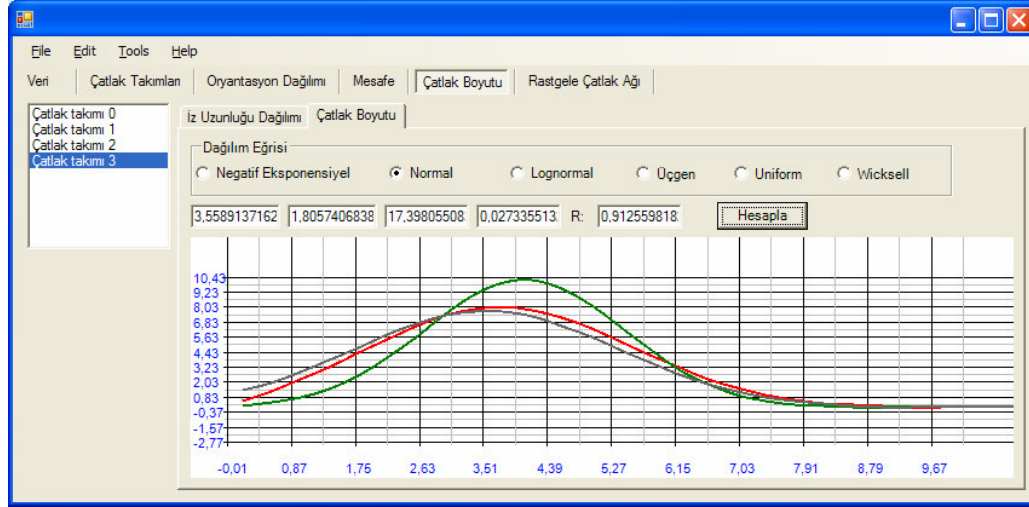
Şekil 6.12 : Çatlak Takımı 2 Süreksizlik Çapı Dağılımı



Şekil 6.13 : Çatlak Takımı 3 Mesafe Dağılımı



Şekil 6.14 : Çatlak Takımı 3 İz Uzunluğu Dağılımı



Şekil 6.15 : Çatlak Takımı 3 Süreksizlik Çapı Dağılımı

File

Edit

Tools

Help

Veri

Çatlak Takımları

Oryantasyon Dağılımı

Mesafe

Çatlak Boyutu

Rastgele Çatlak Ağı

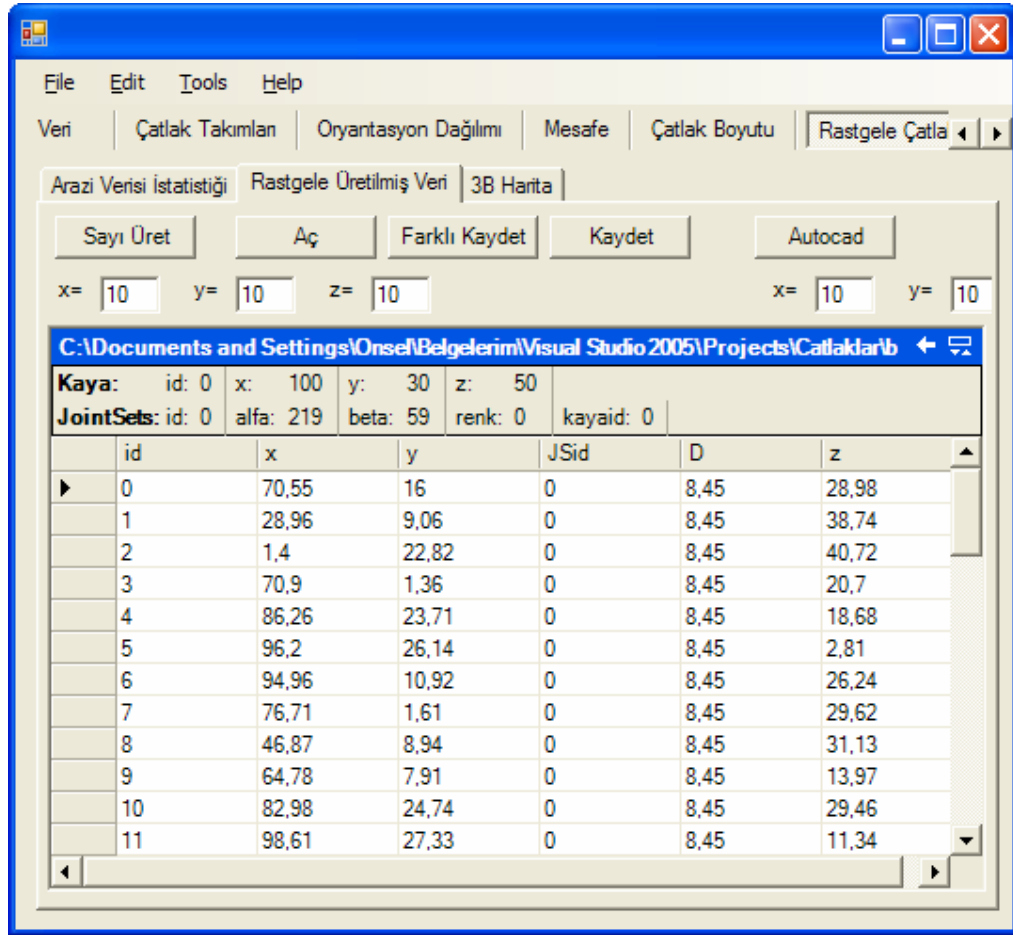
Arazi Verisi İstatistiği

Rastgele Üretilmiş Veri

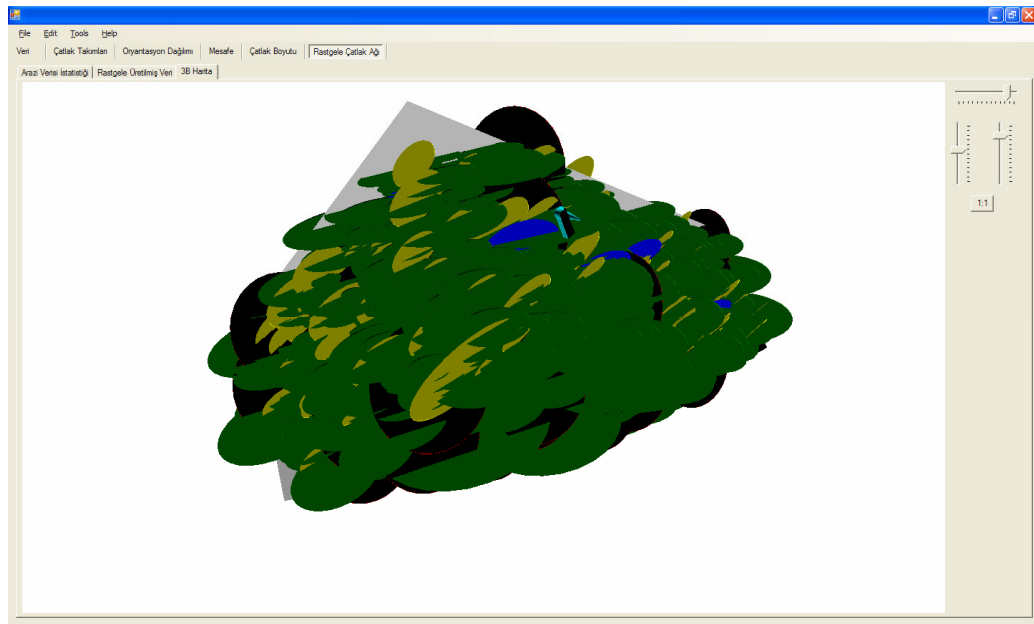
3B Harita

	isetid	alfa	beta	mesafemodel	mesafemean	mesafesdev	IUModel	IUMean	IUSdev	CBModel	CBMean	CBSdev	adet
	0	219	59	1	11.695625	12.58290160	2	4.3825	2.044147744	6	4.227051685	0.340355483	16
	1	280	7	3	11.478	7.110224365	2	3.3695	1.111501947	2	3.367385254	1.056872884	20
	2	37	47	1	4.144074074	4.017216965	3	4.820555555	2.754325186	3	1.342837047	0.491912435	54
*	3	143	18	3	6.541142857	6.146587657	2	4.078571428	1.369517181	2	3.558913716	1.805740683	35

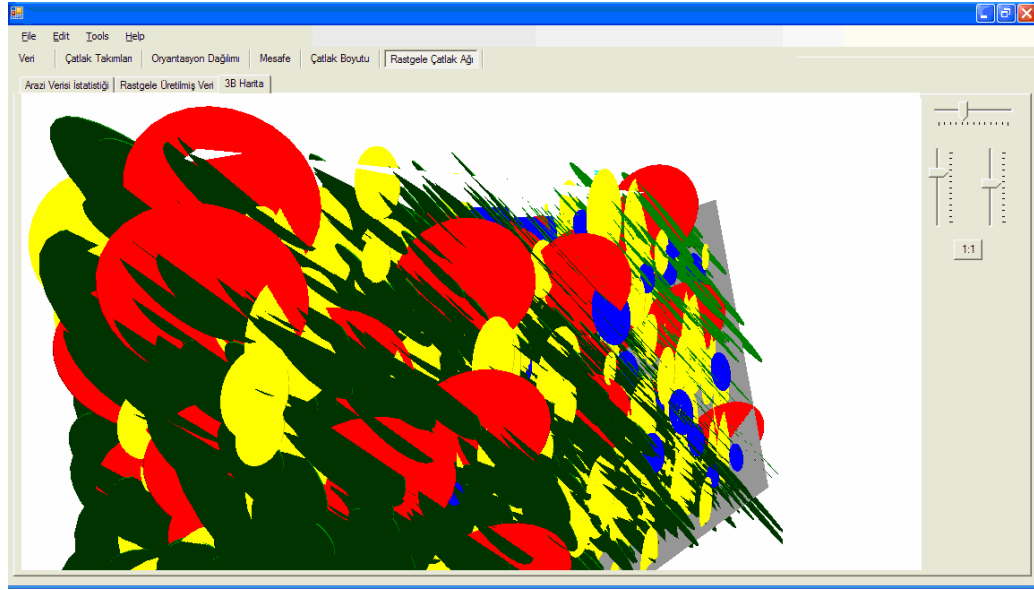
Şekil 6.16 : Takımların Özellikleri



Şekil 6.17 : Rastgele Üretilmiş Süreksizlikler



Şekil 6.18 : Rastgele Üretilmiş Süreksizlik Ağının Üç Boyutlu Görüntüsü



Şekil 6.19 : Rastgele Üretilmiş Süreksizlik Ağının Üç Boyutlu Görüntüsü

7. SONUÇ

Bu çalışmada, kaya kütleğinde bulunan süreksizlikler, süreksizliklerin sahip olduğu istatistiksel bilgileri kullanan bir yazılım ile modellenmiştir. Yazılımın çalışma aşamaları şöyle özetlenebilir:

- Gözlem hattı kullanılarak toplanan, iz uzunluğu, oryantasyon, süreksizlikler arası mesafe gibi verilerin yazılımın veri tabanına girilmesi
- Kaya kütleğinde bulunan çatlak takımlarının tespit edilmesi
- Takımların istatistiksel özelliklerinin araştırılması
 - Çatlaklar arası mesafe dağılımının belirlenmesi
 - Çatlak iz uzunluğu dağılımının belirlenmesi
 - İz uzunluk dağılımından yararlanılarak, çatlak çap dağılımının tespit edilmesi
- Rastgele çatlaklar üretilerek süreksizlik modelinin gerçekleştirilmesi
- Modelin üç boyutlu haritayla görsel hale getirilmesi

Bu aşamalar sonucunda elde edilen model ile çalışma sahasındaki süreksizlikler hakkında detaylı bilgilere sahip olmak mümkün hale gelir. Bu bilgilerin maden üretim ve planlamada son derece önemli olacağı bir gerçektir.

Doğaltaş ocaklarında süreksizlik haritaları dikkate alınarak üretim planlaması yapıldığında:

- Blok dağılım eğrisi elde edilebileceği için ocaktan elde edilebilecek blok miktarı, üretim verimi hesaplanabilir
- Blok veriminin çok düştüğü yerler tespit edilerek buralarda üretim yapılmaz
- Üretim yönü süreksizliklerle çakışmayacak şekilde paralel seçilirse:

- Süreksizliklerle sınırlanan bloklar kesime ihtiyaç duyulmadan kolayca kütleden ayrılabilir, üretim hızı artar, kesim maliyeti düşer
- Üretilen bloklar süreksizliklerle kesişmeyeceği için blok alma verimi artar

KAYNAKLAR

- Akca, M. D. ve Dogan, S.,** 2002. Sayısal Görüntülerde Ana Bileşenler Dönüşümü, *Harita Dergisi*, **129**, 1-15.
- Arıcı, H.,** 1991. İstatistik Yöntemler ve Ugulamalar, Meteksan, Ankara.
- Aytaç, M.,** 1998. Matematiksel İstatistik, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa.
- Baecher, G. B., Lanney, N. A. ve Einstein, H. H.,** 1977. Statistical description of rock properties and sampling, *Proc. 18th U.S. Symposium on Rock Mechanics*, Colorado School of Mines, Keystone, CO, 5C1-5C8.
- Bardsley, W. E., Major, T. J., ve Selby, M. J.,** 1990. Note on a Weibull property for joint spacing analysis, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **27**, 133-134.
- Barton, C. M.,** 1978. Analysis of joint traces, *Proc. 19th U.S. Symp. on Rock Mechanics*, Mackay School of Mines, Reno, NV, 38-41.
- Barton, N. ve Choubey, V.,** 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice, *Rock Mechanics*, 1-54.
- Bircan, H., Karagöz, Y. ve Kasapoğlu, Y.,** 2003. Ki-Kare ve Kolmogorov Smirnov Uygunluk Testlerinin simülasyon ile elde edilen veriler üzerinde karşılaştırılması, *C. Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, **4**, Sayı 1.
- Bridges, M. C.,** 1976. Presentation of fracture data for rock mechanics, *Proc. 2nd Australia-New Zealand Conf. On Geomechanics*, Brisbane, 144-148.
- Bridges, M. C.,** 1990. Identification and characterisation of sets of fractures and faults in rock, *Proceedings of the International Symposium on Rock Joints*, Loen, Norway, Balkema, Rotterdam, 19-26.
- Bury, K.,** 1999. Statistical Distributions in Engineering, Cambridge University Pres, Cambridge.

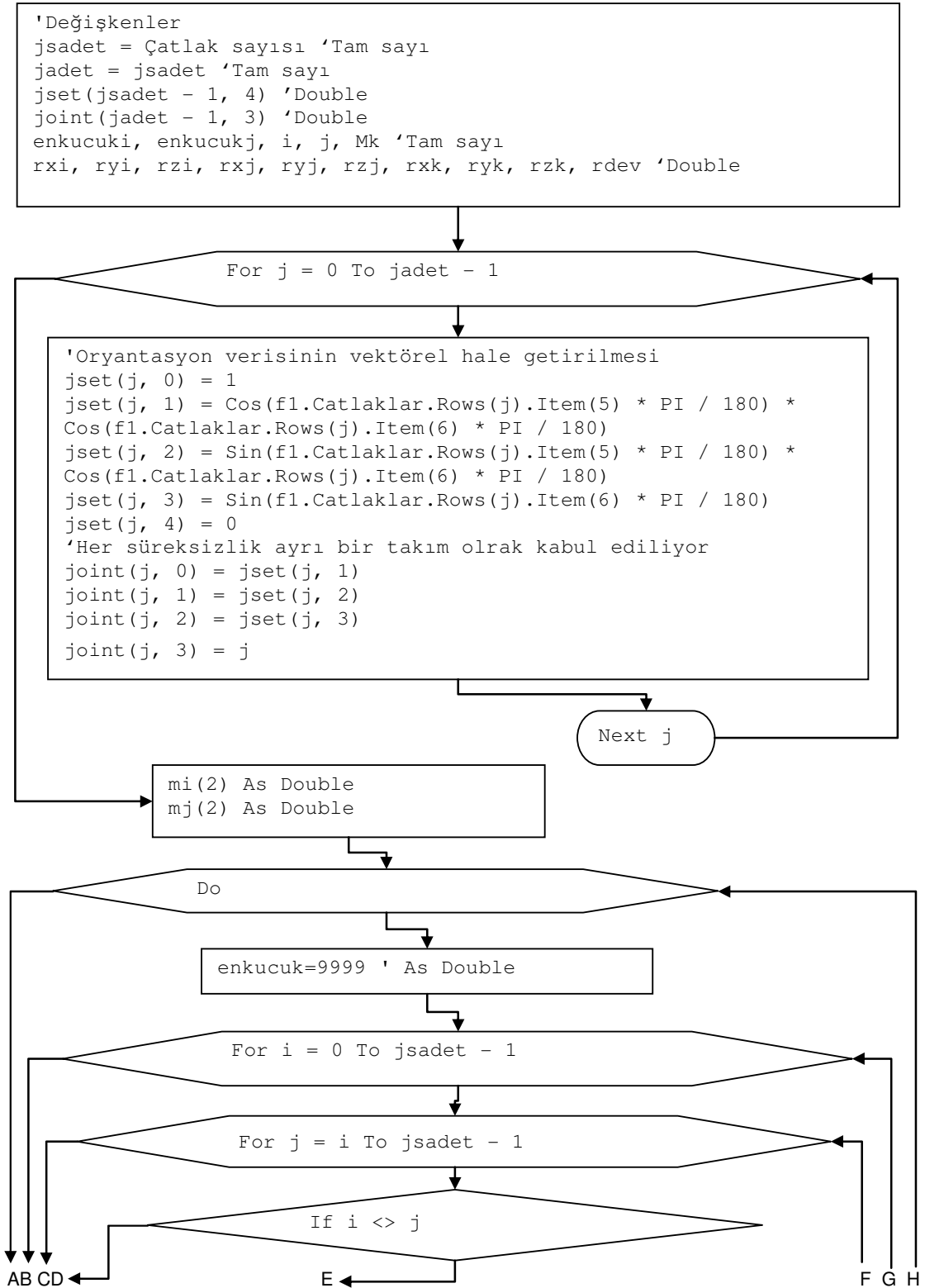
- Call, R. B., Savely, J. ve Nicholas, D. E.,** 1977. Estimation of joint set characteristics from surface mapping data, *Proc. 17th U.S.Symposium on Rock Mechanics*, Univ. of Utah, 2B2-1 - 9.
- Cruden, D. M.,** 1977. Describing the size of discontinuities, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **14**, 133-137.
- Dershowitz, W. S.,** 1984. Rock joint systems, *Doktora Tezi*, M.I.T., Cambridge, Massachusettes.
- Fookes, P. G. ve Denness, B.,** 1969. Observational studies on fissure patterns in Cretaceous sediments of South-East England, *Geotechnique*, **19**, No. 4, 453-77.
- Fourmaintraux, D.,** 1975. Quantification des discontinuites des roches et des massifs rocheux, *Rock Mechanics*, **7**, 83-100.
- Gedik, İ.,** 1985. Genel Jeoloji, K. Ü. Basımevi, Trabzon.
- Goodman, R. E.,** 1976. Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks, *West*, St. Paul.
- Goodman, R. E.,** 1980. Introduction to Rock Mechanics, Wiley, New York.
- Hudson, J. A. ve Priest, S. D.,** 1979. Discontinuities and rock mass geometry, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **16**, 339-362.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM) working groups,** 1981. Rock characterization, testing and monitoring, Brown E.T., editor, Pergamon Press, New York.
- Kartal, M.,** 1998. Hipotez Testleri, Şafak Yayınevi, Erzurum.
- Ketin, İ.,** 1994. Genel Jeoloji, İTÜ Vakfı yayınları, İstanbul.
- Mathab, A., Xu, S., Grasso, P. ve Kendorski, F. S.,** 1995. Use of alternative distributions for characterizing joint extent and spacing, *Fractured and Jointed Rock Masses*, Balkema, Rotterdam.
- McMahon, B.,** 1971. A statistical method for the design of rock slopes, *Proc. 1st Australia-New Zealand Conf. On Geomechanics*, 314-321.

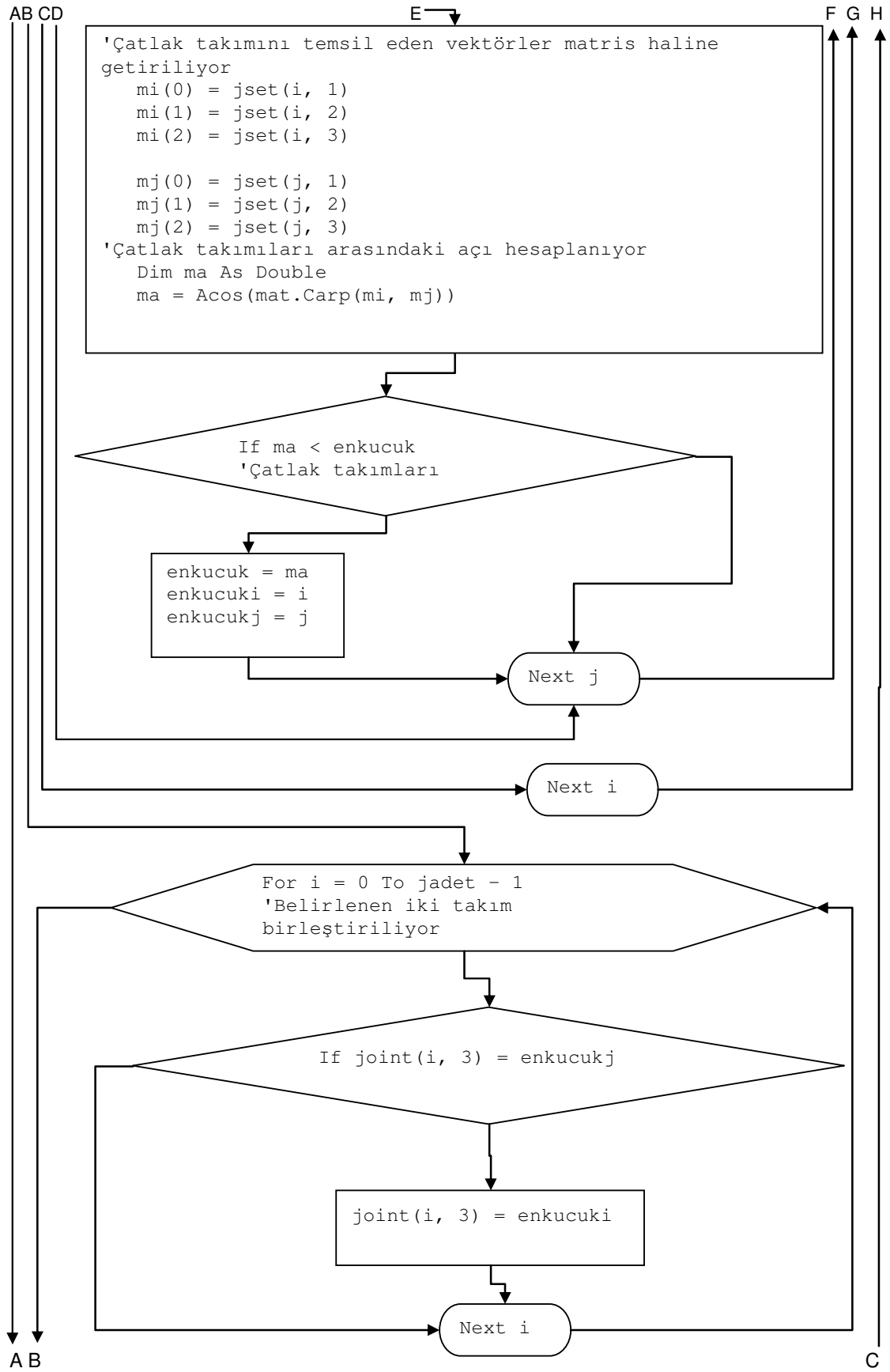
- Palmström, A.**, 1995. RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. *Doktora Tezi*, Oslo Uni., Norveç.
- Price, N. J.**, 1966. Fault and Joint Development in Brittle and Semi-Brittle Rock, Pergamon, Oxford.
- Priest, S. D.**, 1993. Discontinuity Analysis for Rock Engineering, Chapman & Hall, London.
- Priest, S. D.**, 2004. Determination of Discontinuity Size Distributions from Scanline Data, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **37**, 347-368.
- Priest, S. D. ve Hudson, J. A.**, 1976. Discontinuity spacings in rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, **13**, 135-48.
- Priest, S. D. ve Hudson, J. A.**, 1981. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **21**, 203-212.
- Priest, S. D. ve Samaniego, J. A.**, 1983. A model for the analysis of discontinuity characteristics in two dimensions, *Proceedings of 5th ISRM Congress*, ISRM, Melbourne, F199-F207.
- Priest, S. D. and Samaniego, J. A.**, 1988. The statistical analysis of rigid block stability in jointed rock masses, *Proceedings of 5th Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*, The Institution of Engineers Australia, Sydney, 398-403.
- Ramsay, J. G.**, 1967. Folding and Fracturing of Rocks, McGraw-Hill, New York.
- Robertson, A.**, 1970. The interpretation of geologic factors for use in slope theory, *Proc. Symp. on The Theoretical Background to the Planning of Open Pit Mines*, Johannesburg, South Africa, 55-71.
- Segall, P. ve Poflard, D. D.**, 1983. Joint formation in granitic rock of Sierra Nevada, *Geological Society of America Bulletin*, **94**, 563-575.
- Sen, Z. ve Eissa, E. A.**, 1992. Rock Quality Charts for log-normally distributed block sizes, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **29**, 1-12.

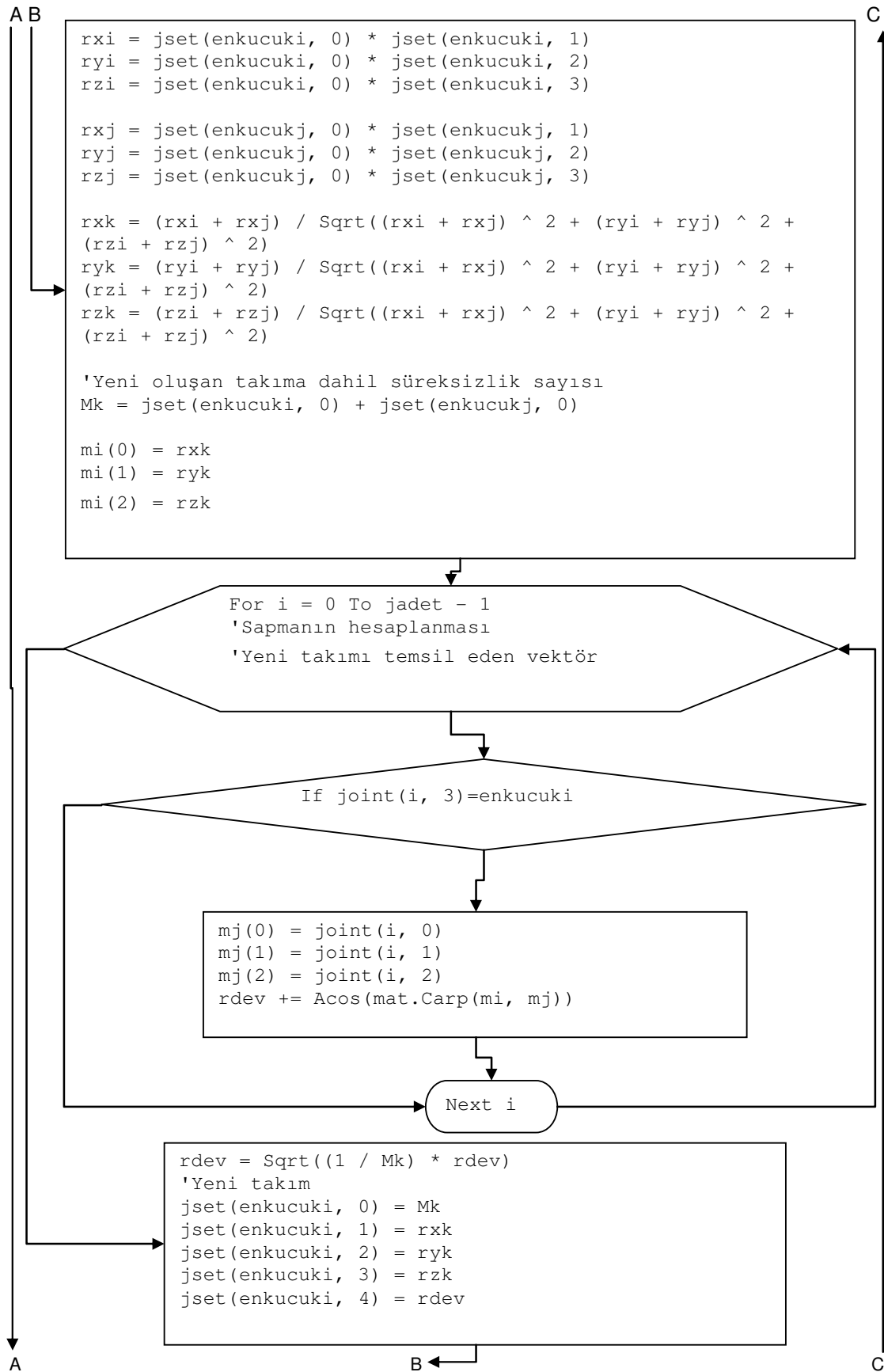
- Sen, Z. ve Kazi, E. A.,** 1984. Discontinuity spacing and RQD estimates from finite length scanlines, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **21**, 203-212.
- Serper, Ö.,** 1996. Uygulamalı İstatistik 1, Filiz Kitapevi, İstanbul.
- Sharma, V. M., ve Saxena, K. R.,** 2002. In-situ characterization of rocks, Balkema, Hindistan.
- Ulusay, R., ve Sönmez, H.,** 2002. Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri, TMMOB Jeoloji Muh. Odası, Ankara.
- Wallis P. F. ve King, M.S.,** 1980. Discontinuity spacings in a crystalline rock, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*
- Warburton, P. M.,** 1980. A stereological interpretation of joint trace data, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, **17**, 181-90.
- Warburton, P. M.,** 1980. Stereological interpretation of joint trace data: influence of joint shape and implications for geological surveys, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, **17**, 305-16.
- Whitten., D. G. A. ve Brooks, J. R. V.,** 1972. A Dictionary of Geology, Penguin, Harmondsworth.
- Whitten, E. H. T.,** 1966. Structural Geology of Folded Rocks, Rand McNally and Co.
- Yow, J. L.,** 1987. Blind zones in the acquisition of discontinuity orientation data, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, Technical Note, **24**, No. 5, 317-8.

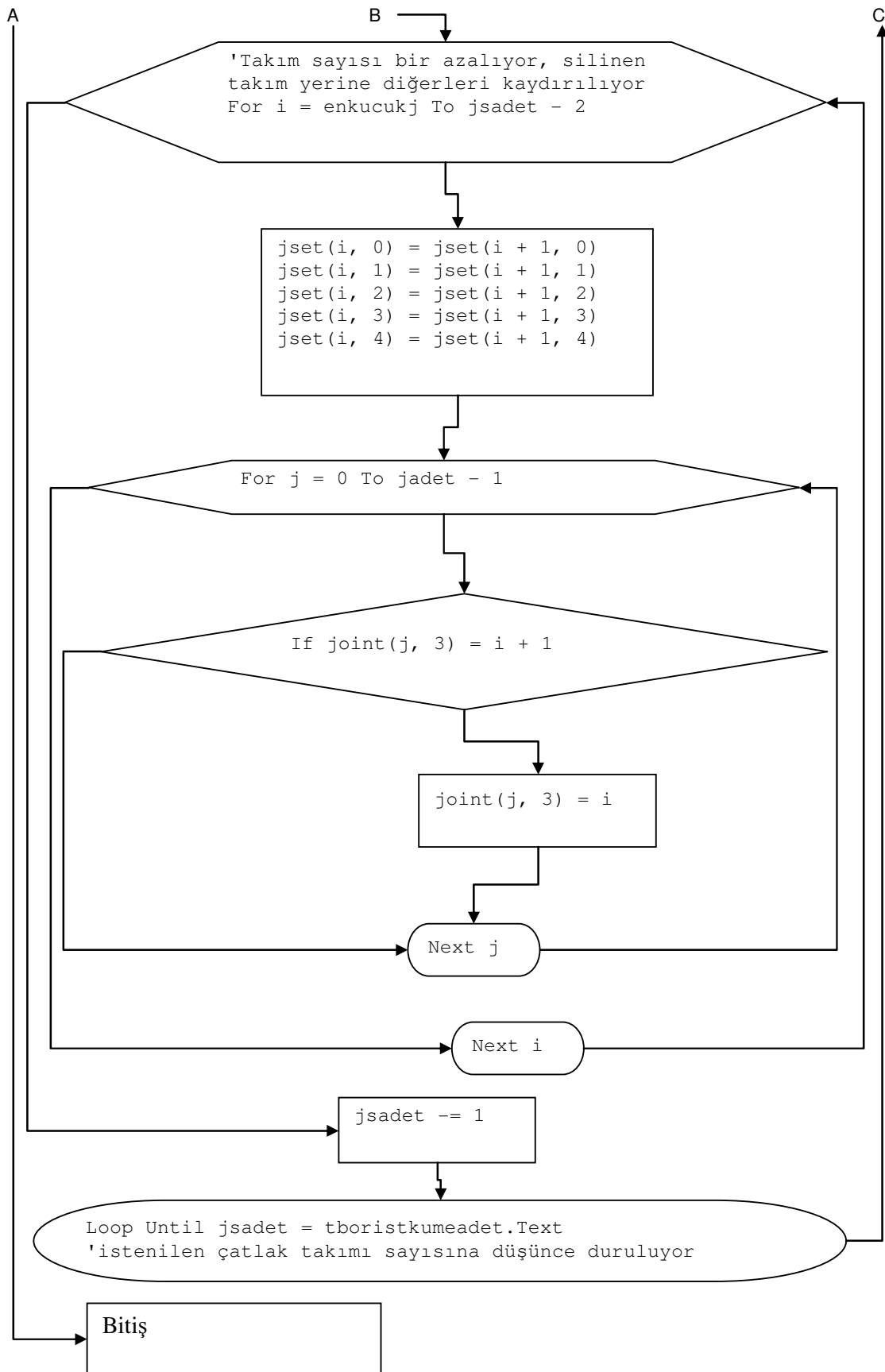
Ek_A

İstatistiksel Kümeleştirme

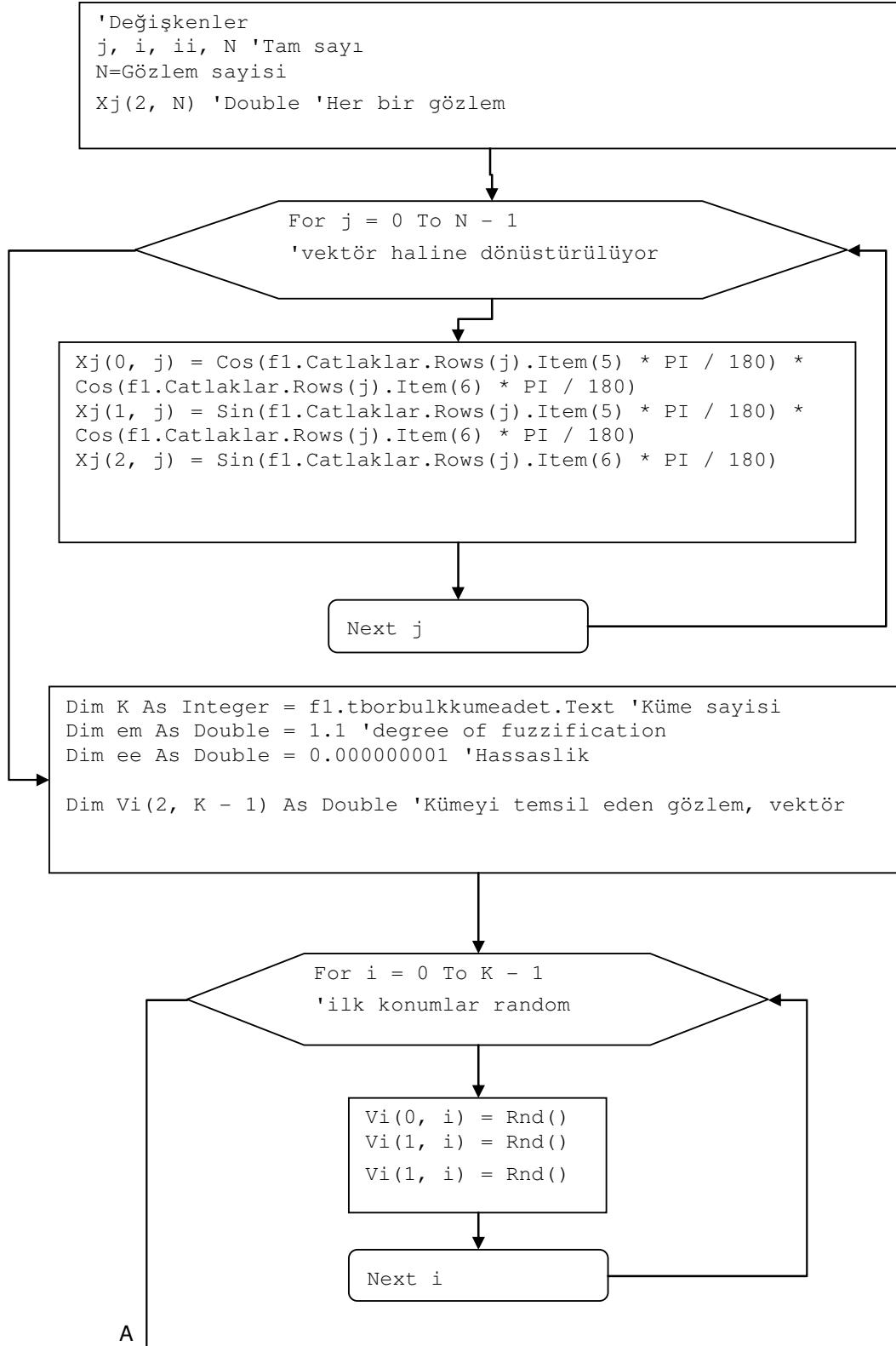


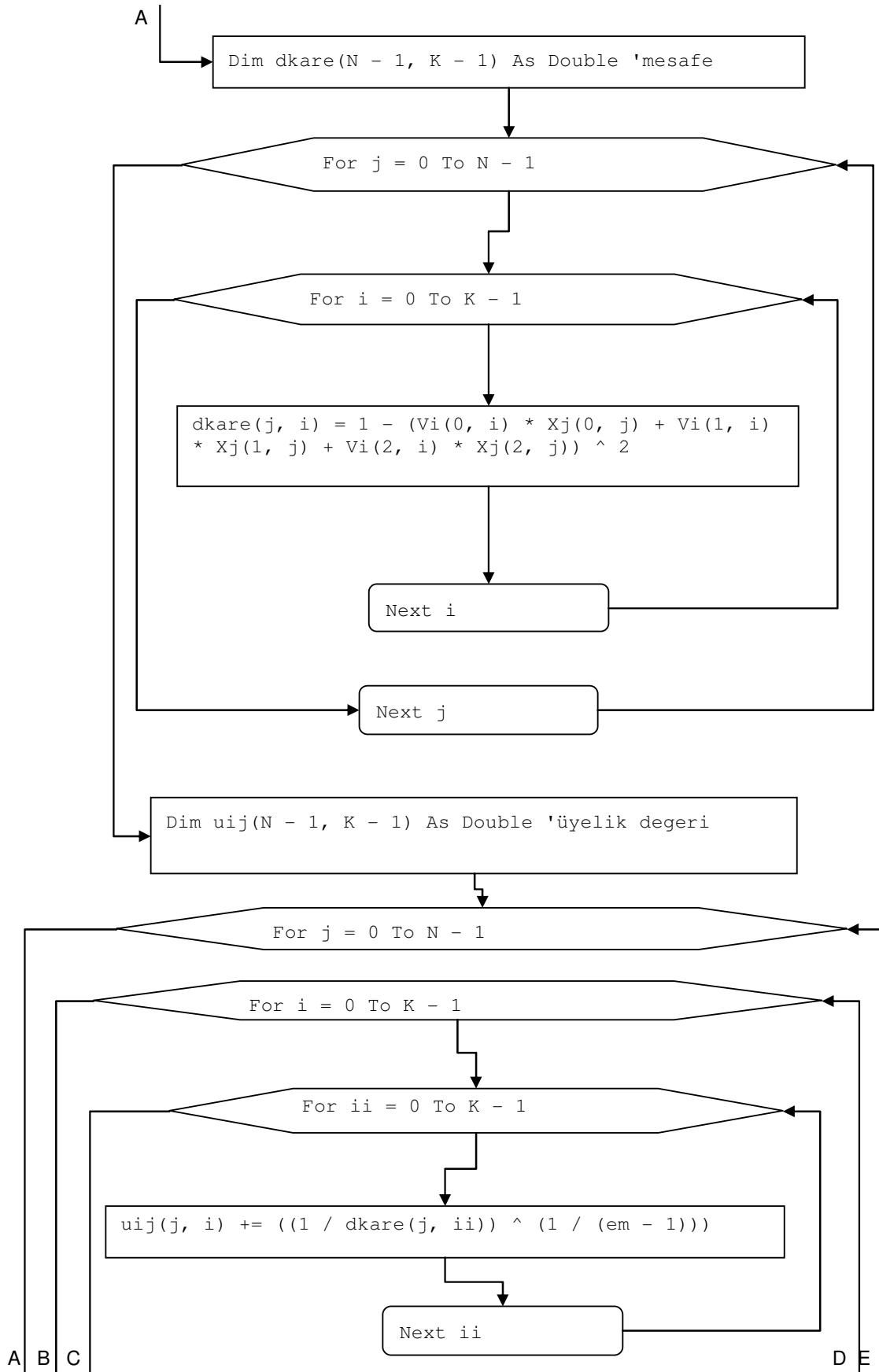


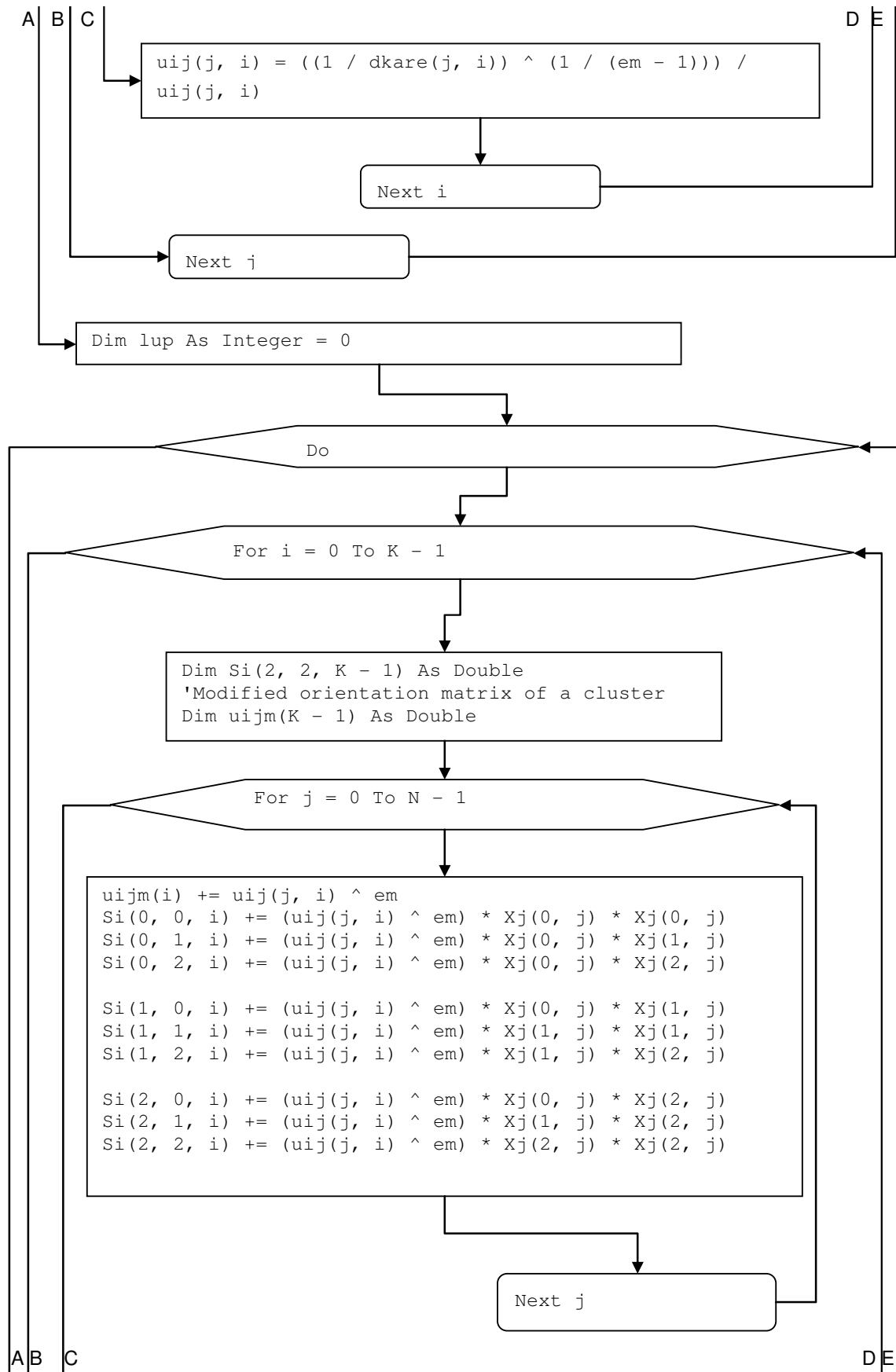


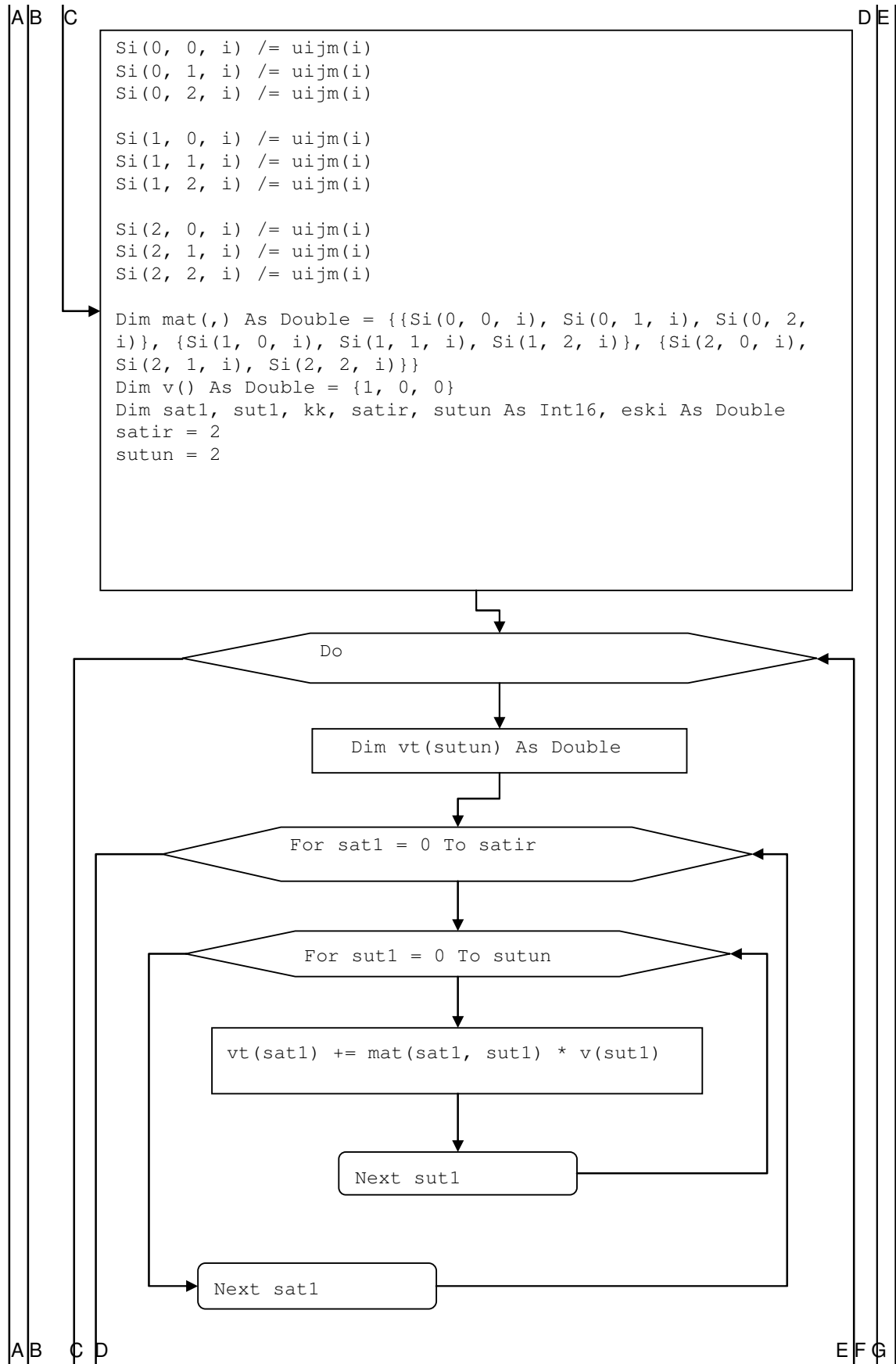


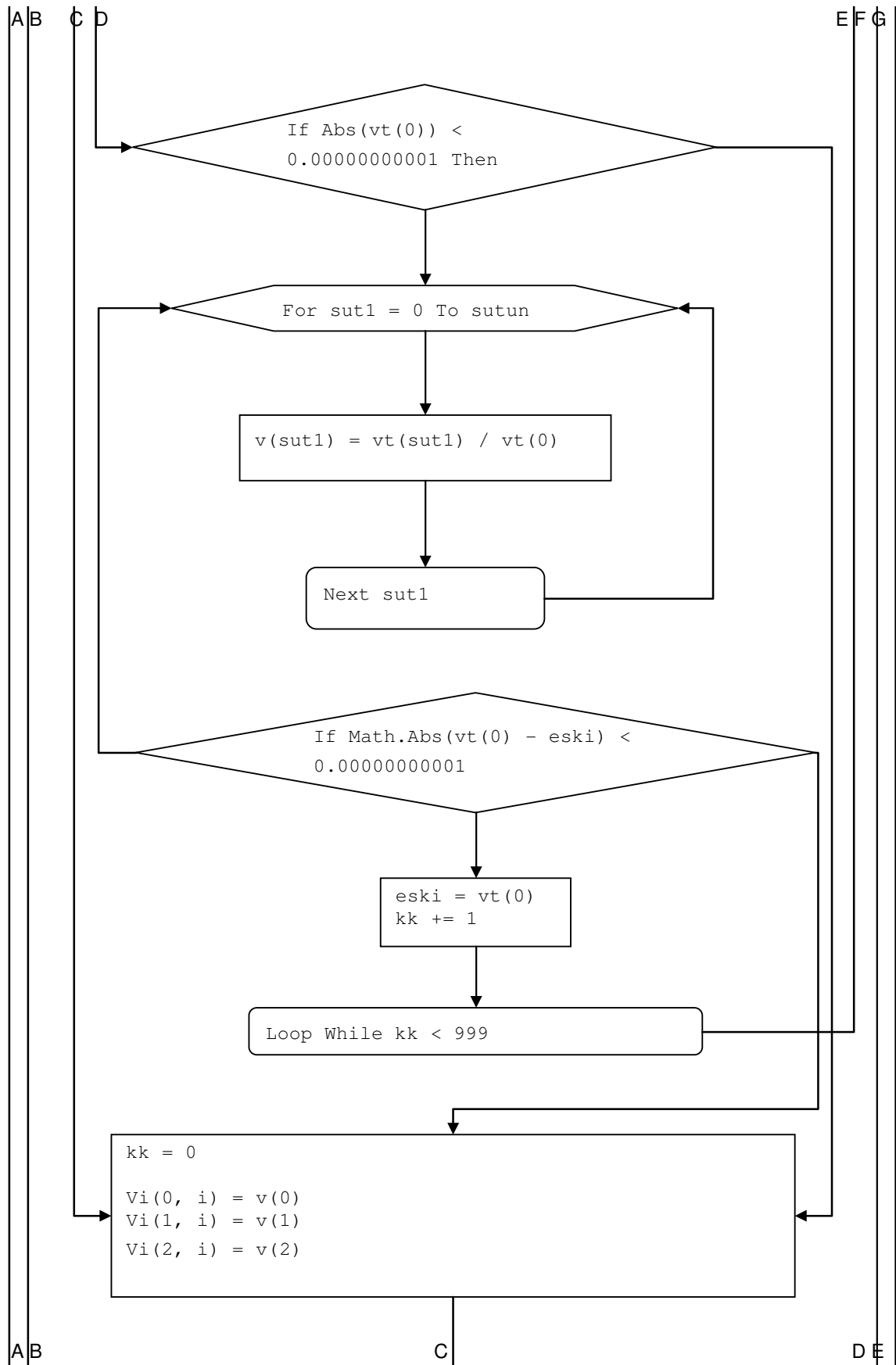
Bulanık K-Ortalaması Yöntemi

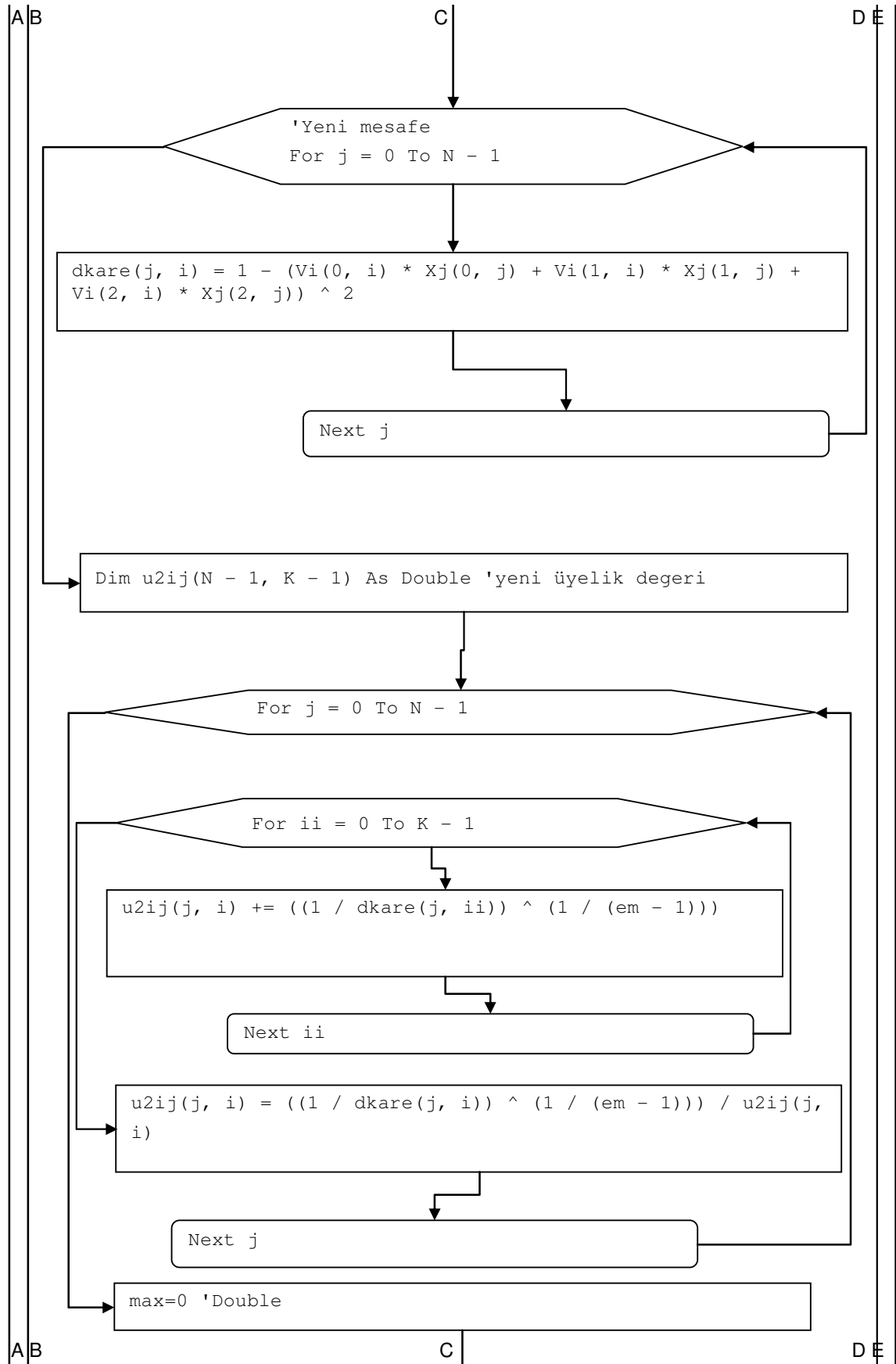


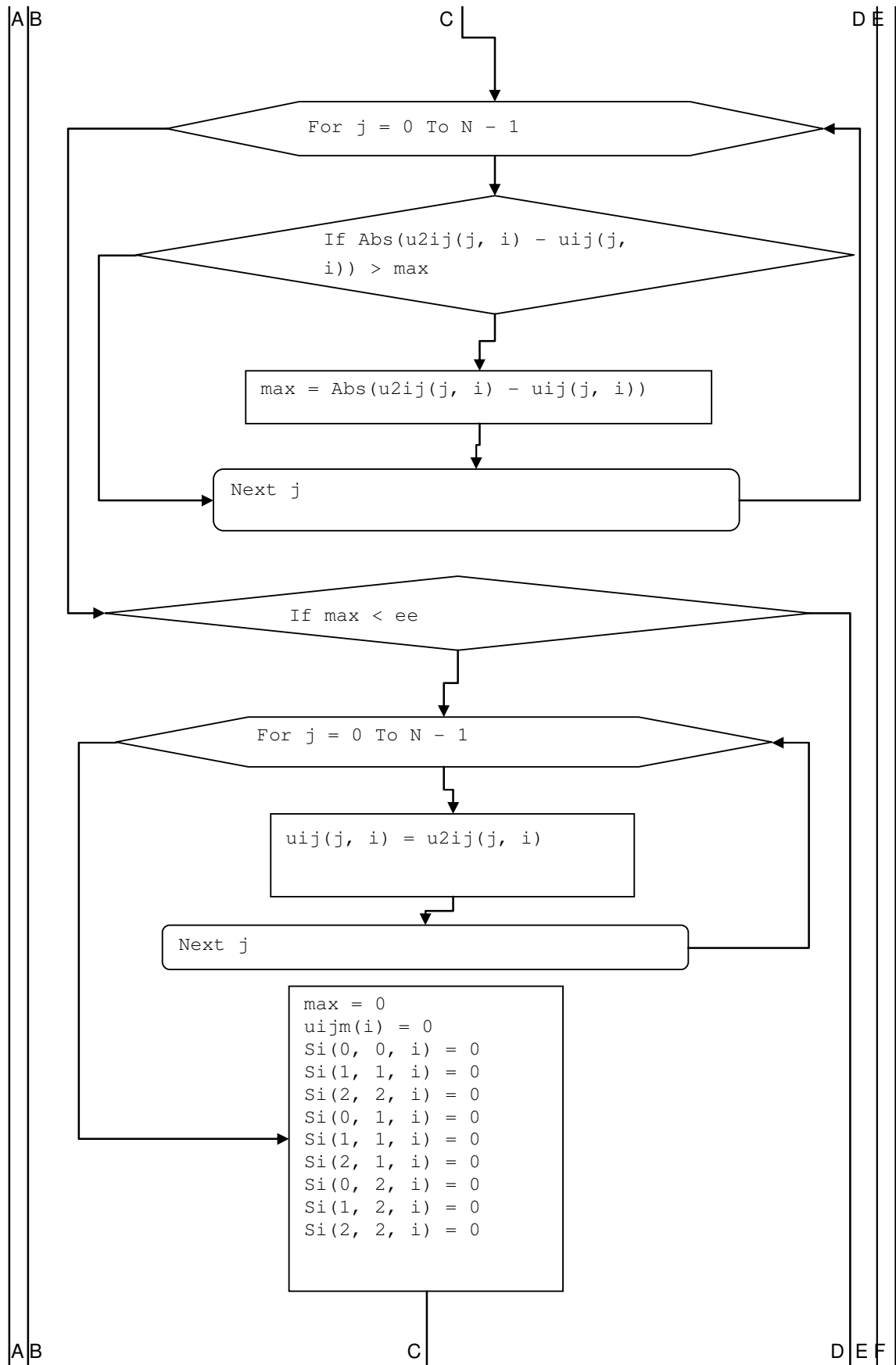


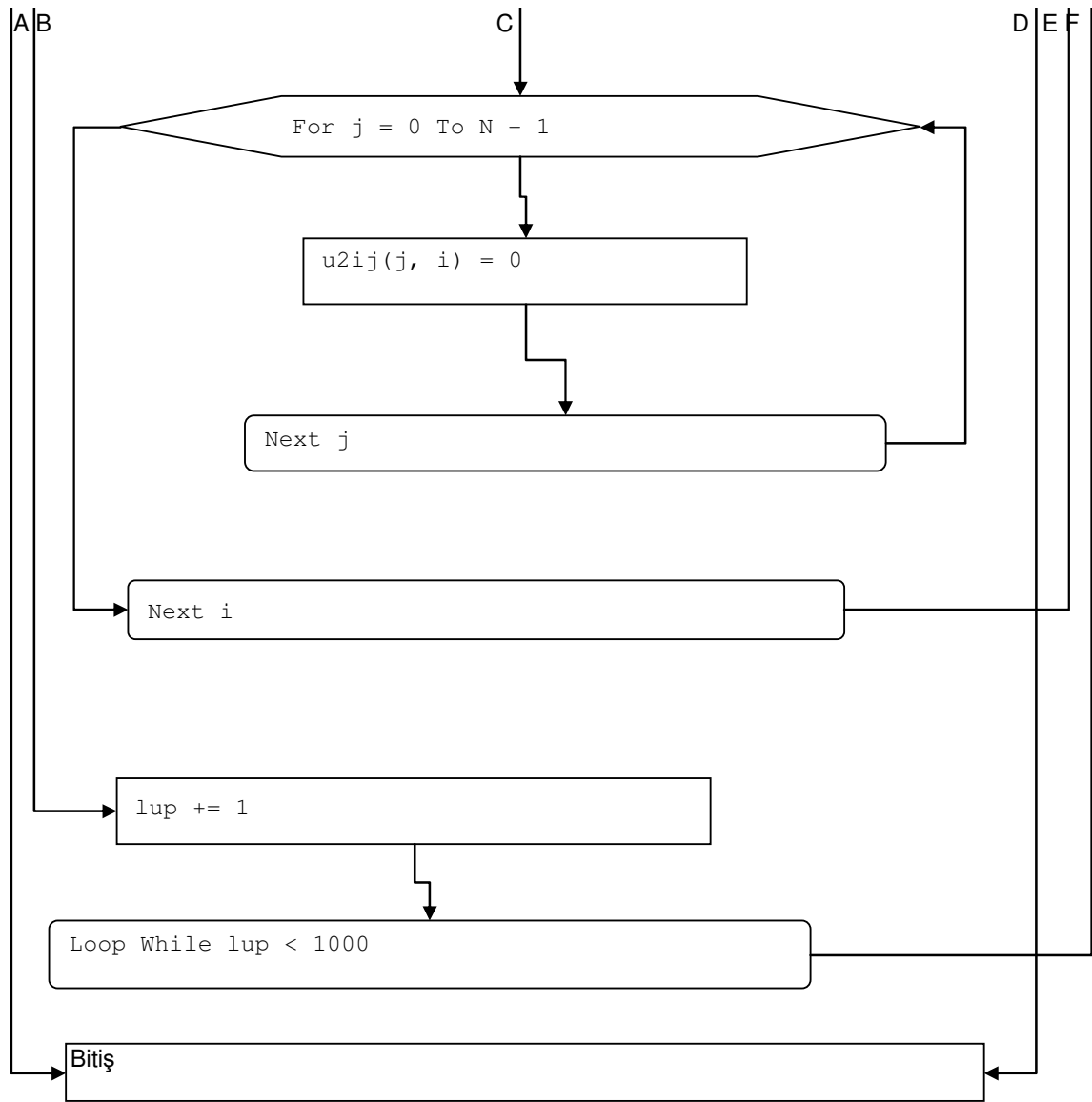




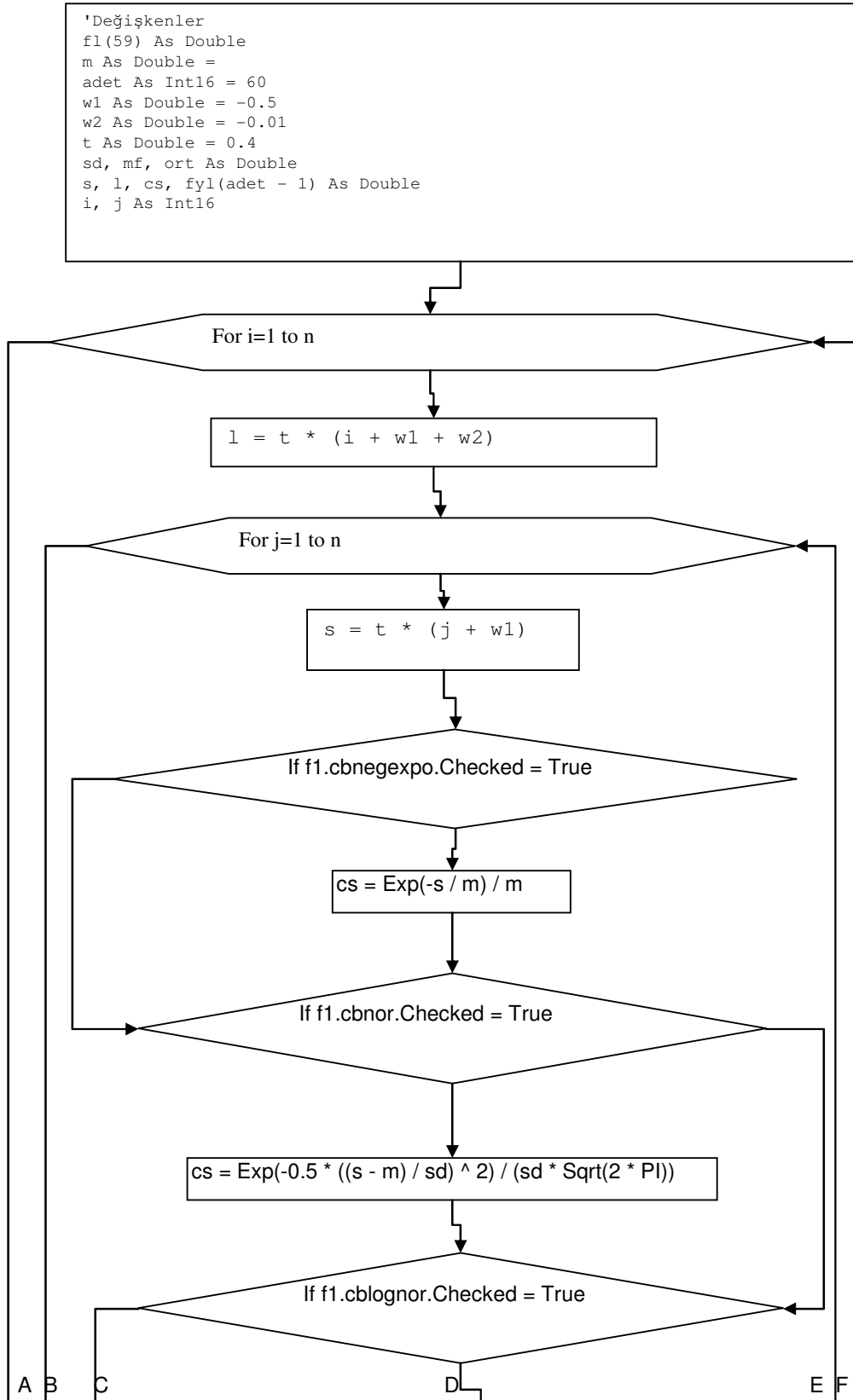


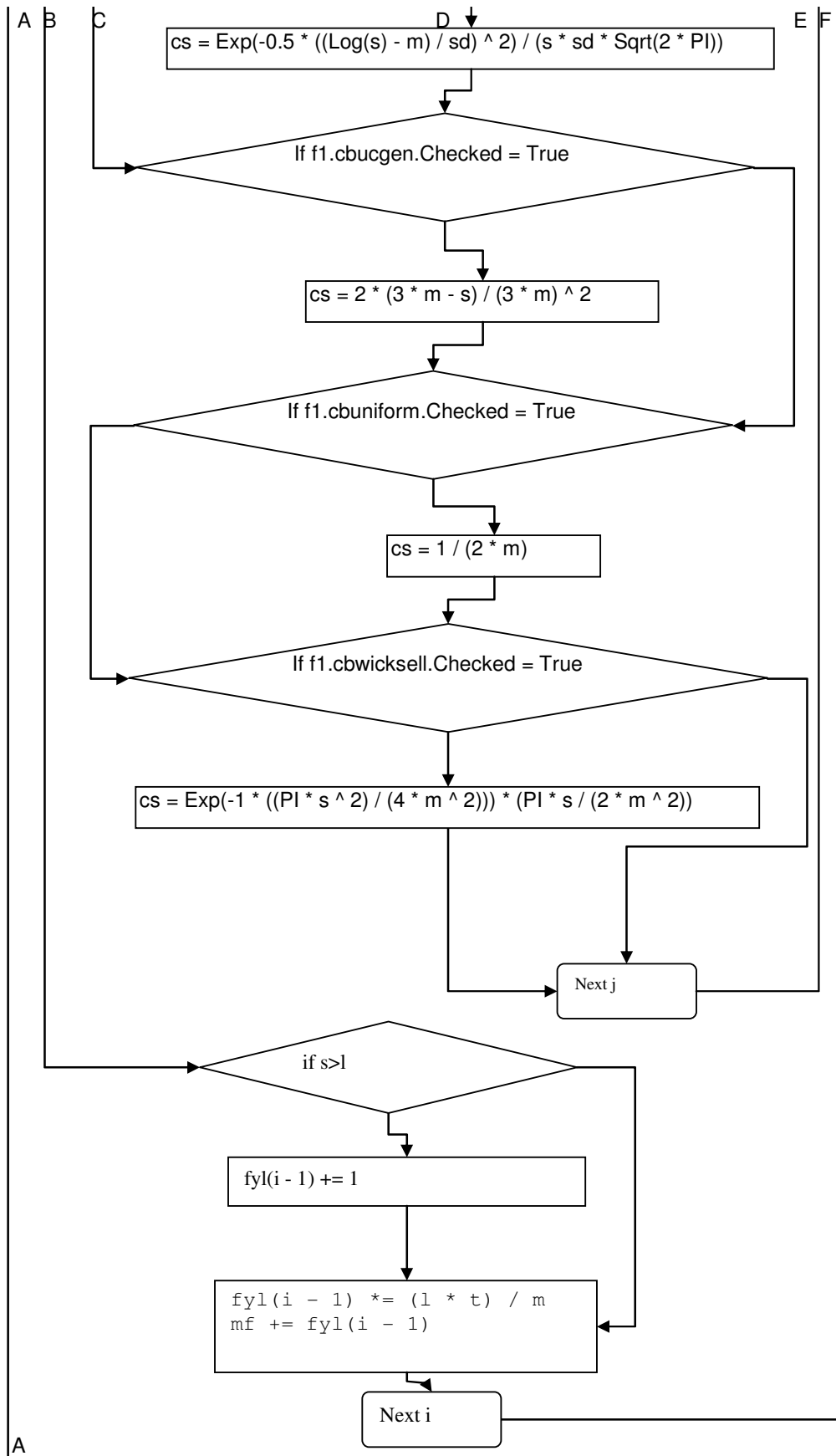


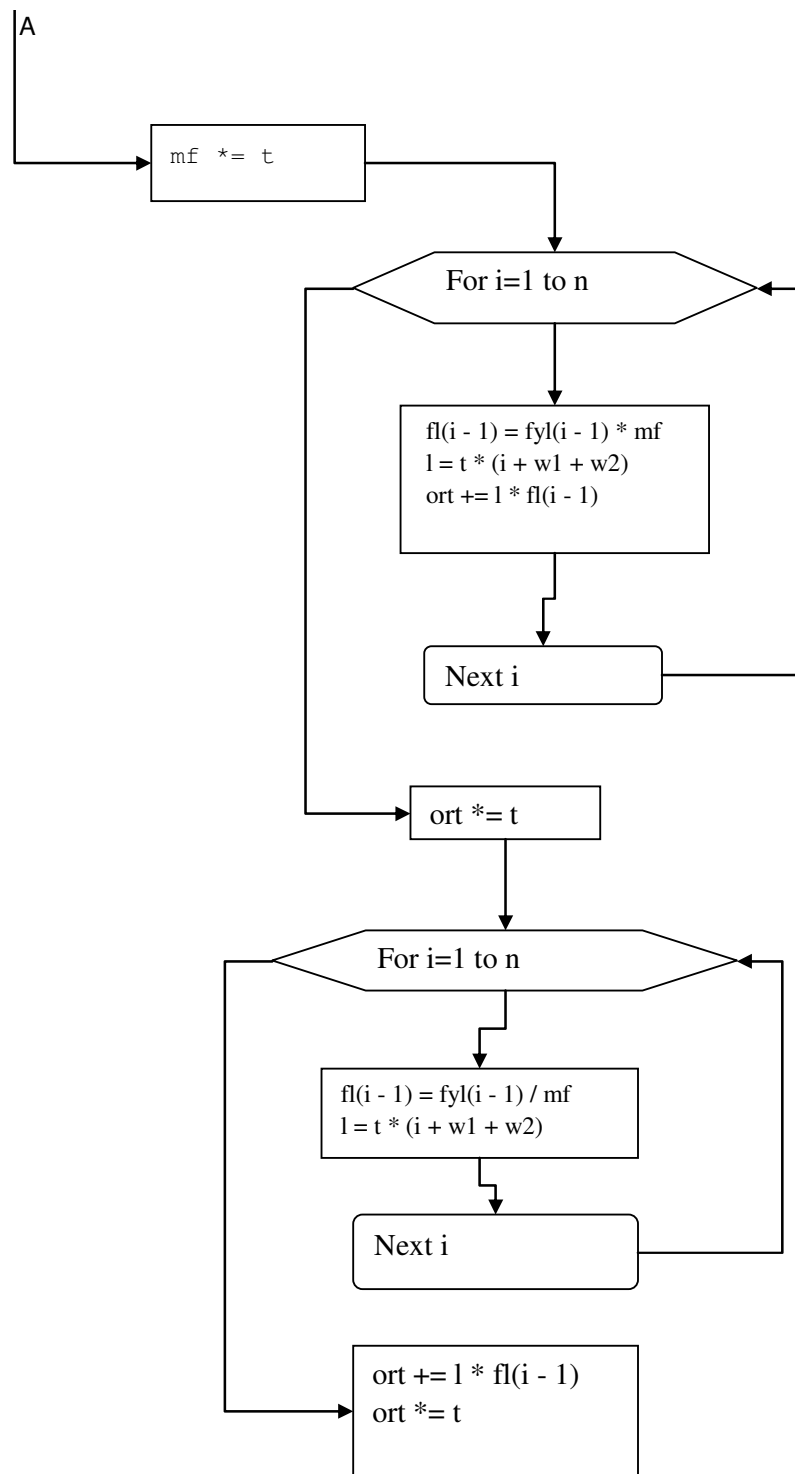




Priest Algoritması







ÖZGEÇMİŞ

Emre Önsel, 1980 yılında İstanbul’da doğdu. 1999 yılında İstanbul Alman Lisesi’nden mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Maden Mühendisliği Bölümü’nde 1999-2003 yılları arasında lisans öğrenimi gördü. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Yüksek Lisans ve Doktora Programı’nda 2004’te yüksek lisans eğitimine başladı. 2005’ten beri İTÜ Maden Mühendisliği Yeraltı Maden İşletmeciliği Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.