

Süreksizlik Kontur Diyagramlarının İstatistiksel Yorumu

C. ZANBAK (*)

ÖZET

Kaya ortamlar içinde kurulan mühendislik yapılarının stabilitelerinin kaya kitlesi içindeki süreksizlik yüzeyleri tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Bu tür ortamlardan stabilite analizi için toplanacak veriler (1) süreksizlik yüzeylerinin konumları, (2) süreksizlik yüzeylerinin mekanik özellikleri olmaktadır. Bu yazıda, araziden elde edilen çok sayıdaki süreksizlik konumları ölçmelerinden, çeşitli ihtimallerle, stabilite analizinde kullanılabilir yüzeylerin saptanması için bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem, bir bölgedeki hakim süreksizlik takımlarının saptanması amacı için kullanılan kontur diyagramlarının istatistik olarak yorumlanması ve çeşitli ihtimalli süreksizlik düzlemlerinin saptanması işlemidir.

SYNOPSIS

It is a well known fact that the stability of the rock foundations and slopes, are controlled by the discontinuity surfaces in the rock mass. The data which is to be collected in such media for the stability analysis are (1) the orientations and (2) the mechanical properties of the discontinuity surfaces. In this article, a method is proposed for the determination of surfaces that can be used in the stability with several probabilities, from the data collected, in the field. This method is a procedure for the interpretation of the contour diagrams in structural geology taking the theory of probability into account and to obtain the discontinuity surfaces of several probabilities.

1 — GİRİŞ :

Jeolojik anlamda, süreksizlikler çeşitli jeolojik olaylar sonucunda, doğada, kayaçlar içinde oluşmuş kaya ortamların sürekliliğini (devamlılığını) bozan fay, çatlak, eklem, fissür, fo-

liasyon ve tabakalaşma yüzeyleri v.b. gibi Jeolojik özelliklerdir. Süreksizlikler, daha önceleri oluşmuş, kendilerini oluşturan etkilere ve içinde buldukları ortamın özelliklerine bağlı olarak yönelim kazanmışlardır. Dolayısı ile süreksizliklerin yönelimlerinin incelenmesi, kayaların geçirmiş oldukları tektonik olaylar hakkında etraflı bilgi edinilmesini sağlar.

Süreksizliklerin Yapısal Jeoloji açısından önemlerinin yanısıra Mühendislik Jeolojisi açısından da önemleri büyüktür. Çeşitli mühendislik amaçları için yapılan çalışmalar sonucunda kayalara çeşitli büyüklüklerde yükler iletilmektedir. Kayalara iletilen bu gerilmelerin değerleri, çoğun, kayaların mekanik dirençlerinin çok altında bulunmaktadır. Ancak, yapılan mühendislik çalışmalarında, kayaların dirençlerinin çok altında değerlerdeki gerilmeler karşısında dahi kayalarda bozulmalar, dolayısı ile yapılar da yıkılmaların ortaya çıktığı görülmektedir (Malpasset Barajı yıkılması, 1959). Yıkılmalarından sonra yapılan analiz çalışmaları sonucunda kayaların mekanik davranışlarının, büyük ölçüde, kaya kitlesi içindeki süreksizlikler tarafından kontrol edildiği ortaya çıkarılmıştır. Çatlaklı kayalar üzerinde ya da içinde kurulacak yapıların boyutlandırılmasında, ortamdaki süreksizlik yüzeylerinin çeşitli özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu özellikler (1) süreksizlik yüzeylerinin yönelimleri, (2) süreksizlik yüzeylerinin mekanik özellikleri olarak iki grupta toplanabilir.

Süreksizlik yüzeylerinin yönelimleri (uzaydaki konumları) düzlemin doğrultu ve eğimi ile tariflenmektedir. Doğrultu ve eğim değerleri, mühendislik çalışmasının yapılacağı yerde, çok sayıda yapılan süreksizlik ölçmeleri ile elde edilmektedir. Araziden toplanan çok sayıdaki ölçme sonuçları daha sonra stereografik izdüşüm yöntemi ile değerlendirilmekte ve bölgedeki süreksizlikler için karakteristik süreksizlik yönelimleri saptanmaktadır;

(*) Maden Y. Müh. -İTÜ Maden Fakültesi - Tatbikî Jeoloji Kürsüsü - İstanbul

Süreksizlik yüzeylerinin mekanik özellikleri ise araziden alınan çok sayıda karakteristik numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri, ya da yerinde (in situ) olarak yapılan deneyler sonucunda elde edilmektedir.

Çeşitli şekillerde elde edilen çok sayıda değerlerden istatistiksel çalışmalar sonucunda, boyutlandırmada kullanılacak değerler saptanmaktadır. Ortaya çıkarılan bu değerler, ortamın özelliklerini en iyi olarak tarifleyen değerler kabul edilmektedir. Ancak, mekanik özellikler birer ölçme işlemi sonucunda elde edildiklerinden, gerek süreksizliklerin homojen olmaması gerekse deney esnasındaki ölçme hatalarından dolayı, belirli miktarlarda hata taşımaktadır. Halen uygulanan yöntemlerde bu hatanın değerleri, kabul edilen bir tolerans sınırı içinde ortalama değere etki ettirilmektedir. Böylece elde edilen mekanik özelliklerin en az, ortalama ve en fazla olmak üzere üç değeri ortaya konmaktadır. Boyutlandırmalar bu üç değere göre de yapılmakta ve mühendislik açısından içlerinden en uygun görüleni seçilmektedir.

Mekanik özelliklerin yukarıda belirtildiği gibi değerlendirilmesinde karşılık, süreksizlik yüzeylerinin değerlendirilmesi daha değişik olarak yapılmaktadır. Süreksizliklerin uzaydaki konumları, bilindiği gibi, jeolog pusulası yardımı ile doğrultu ve eğimleri ölçülerek saptanmaktadır. Bir bölgede yapılan çok sayıda pusula ölçmelerinde, pusuladan ve ölçü yapandan dolayı ortaya çıkacak ölçme hatası, tecrübeli bir jeolog için ihmal edilebilecek kadar azdır. Elde edilen ölçme değerlerinin farklı olmasında rol oynayan en önemli etken, süreksizliklerin yönelimlerini doğuran tektonik tarihçe ve kayanın anizotropisidir. Dolayısı ile, bir bölgedeki süreksizlikler hakim çatlak takımları şeklinde, ortamı karakterize eden bir ya da bir kaç yönelim (doğrultu ve eğim) etrafında dağılmış olacaktır. Üç boyutlu olan süreksizlik düzlemlerinin, iki boyutlu çizim düzlemine indirgenebilmesi amacıyla, stereografik izdüşüm yöntemi kullanılarak, ölçülen süreksizlik düzlemleri izdüşüm düzlemine noktalar (kutuplar) şeklinde izdüşürülür. Bu işlemden sonra çizim düzlemine baktığımızda, işaretlenen noktaların (süreksizliklerin izdüşümleri) çizim kağıdında belirli bölgelerde toplandıkları görülür. Bu toplulukların herbirinin içindeki noktaların, çevresinde en fazla biriktikleri nokta, o topluluğu karakterize eden düzlemi belirtir ve «Hakim Süreksizlik Düzlemi» adını alır. Dolayısı ile yapılacak boyutlandırmada kullanılacak süreksizlik yönelimi olarak hakim düzlemlerin kullanılması en güvenilir çözüm olacaktır. Ancak, bölgede en fazla sayıda olarak gözlenmiş olan hakim noktaların yanısıra daha az sayıda gözlenmiş başka noktalar

da bulunmaktadır ve bunlar da boyutlandırma için önemli rol oynayacak süreksizlik düzlemleri olabilirler. Dolayısı ile çizim düzlemindeki hakim düzlemi belirleyen noktanın çevresindeki diğer noktaların (düzlemlerin) da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmede ele alınan kavramlar ve uygulanan işlemler, hipotetik bir örnek üzerinde, aşağıda açıklanmıştır.

2 — KONTUR DİYAGRAMLARININ HAZIRLANMASI VE YORUMU :

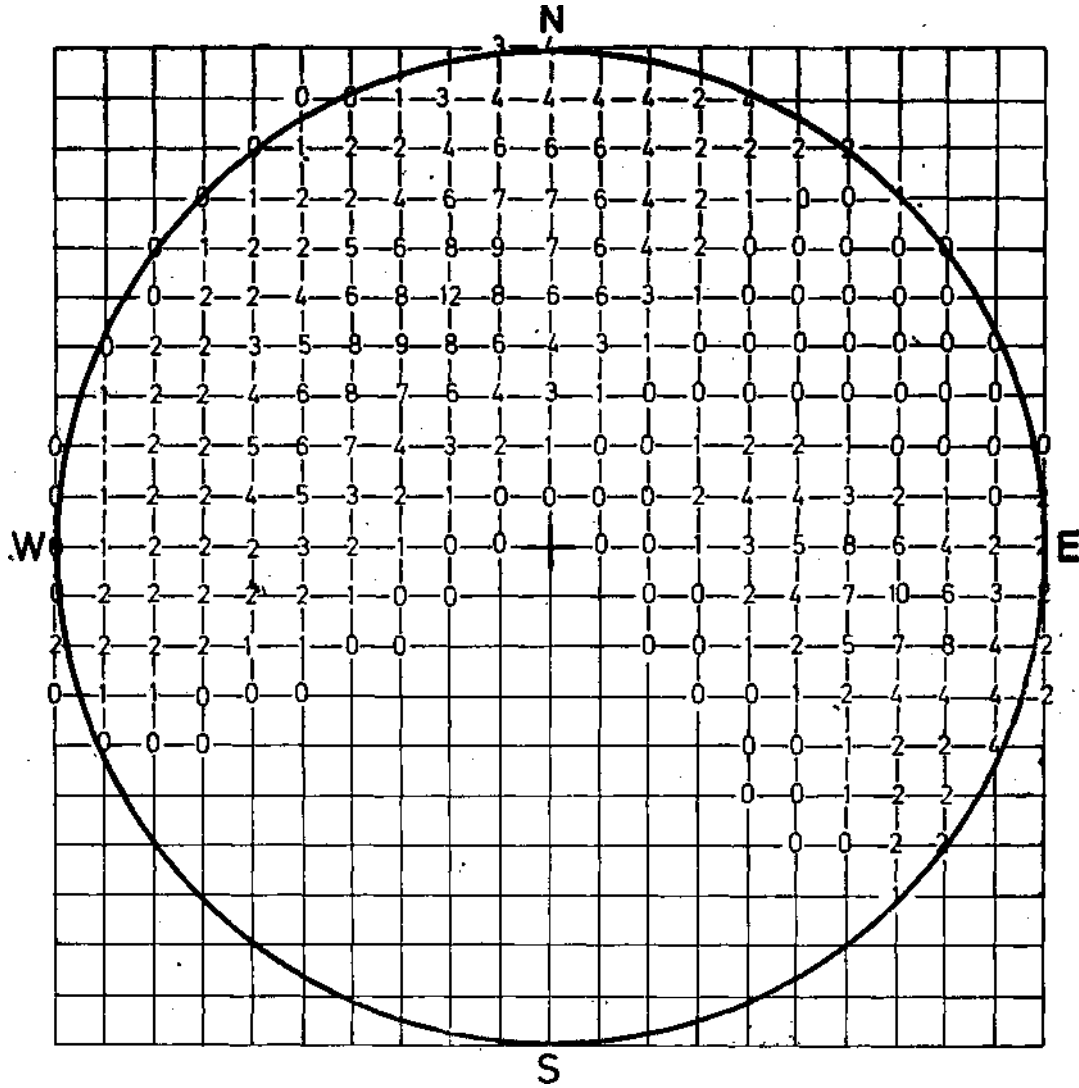
Üzerinde çalışılan bir bölgede yapılan süreksizlik ölçmelerinden eş alan stereografik izdüşüm ağı ile hakim süreksizlik düzlemlerinin saptanması işlemleri, yapısal jeoloji ders kitaplarında ayrıntılı olarak bulunabilir. Ancak konunun daha iyi olarak anlaşılmasını sağlamak amacıyla ile kontur diagramlarının hazırlanması işlemini, ileride de kullanılacak hipotetik bir örnek üzerinde açıklamak yararlı olacaktır.

Örnek olarak, bu yazıda ele alınan problemde, üzerinde çalışılan sahada 218 süreksizlik yönelimi ölçülmüştür. Bu süreksizlik yüzeyleri Schmidt izdüşüm ağı kullanılarak kutupları ile belirtilmiştir. Daha sonra yatay izdüşüm düzlemi 1'er cm. lik karelere bölünmüş, yatay izdüşüm düzleminin 1/100 alanlı daireler kullanılarak; karelej noktalarına, bu noktalar merkezde olmak üzere, birim alanlı daire içine düşen nokta sayıları yazılmıştır (Şekil : 1). Elde edilen noktaların uygun değerleri birleştirilerek kontur diagramı hazırlanmıştır (Şekil : 2). Ele alınan örnekte, süreksizlik düzlemlerinin iki noktada yığıldıkları görülmektedir. Maksimum yığılma noktası değerleri A düzlemi için 10, B düzlemi için 12 dir. Elde edilen bu kontur diagramı yapısal jeoloji açısından değerlendirildiğinde A düzleminin tüm süreksizliklerinin $10/218 \times 100 = \% 4,6$ sim, B düzleminin ise tüm süreksizliklerin $12/218 \times 100 = \% 5,5$ ini temsil ettiği ortaya çıkar. Bu değerlendirmeye göre A ve B düzlemler toplulukları için hakim yönelimler sırası ile N 8 E, 59 NW ve N 67 E, 45 SE dir.

Daha önce de belirtildiği gibi mühendislik çalışmalarını etkileyecek süreksizlik düzlemleri olarak bu hakim düzlemler kullanılır. Ancak ele alınan bu düzlemler kayadaki bozulmanın % 100 ihtimalle üzerinde kayma olacağı düzlemler olarak kabul edilmektedir. Halbuki süreksizlik düzlemlerinin kutup noktaları değerlendirilirken ortaya çıkan maksimum değerler olan, A düzlemi için 10 ve B düzlemi için 12 sayılarının yanında daha düşük değerli noktaların belirttiği düzlemler de arazide bulunmaktadır ve bu düzlemler üzerinde de kaymalar oluşabilir. Bu düzlemler hakim düzlemlere göre ihtimallerinin saptanması ile değerlendirilebilir ve taşıdıkları

ihtimallere göre boyutlandırma hesaplarında kullanılabilirler. Çeşitli ihtimalli düzlemler ele alınarak yapılacak boyutlandırma sonuçların-

dan kullanılacak olanın seçimi tamamen bir mühendislik yargısını gerektirecektir.



Şekil : 1 — Kutup Noktalarının Karelej Ağına Yerleştirilmesi

3 — DENEY SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMELERİ (Dağılımlar)

Herhangibir amaçla ölçme yapıldığında, gerek saptanmak istenen özellik değerinin kitesinin her noktasında aynı olmaması, gerekse yapılan ölçme hataları nedeni ile; aranan özellik için yorumlanıp, uygulamada kullanılacak, bir değer elde edilmesi için çeşitli istatistik çalışmalar yapılmaktadır.

İstatistik çalışmalarda başlangıçta yapılan işlem, elde edilen verilere göre -histogramlar hazırlamak ve daha sonra bu histogramlardan

yararlanarak dağılım eğrilerini saptamaktır. Elde edilen dağılım eğrilerinin çeşitli istatistik testler (Çi karesi, öğrenci t ve Snedecor F) yardımı ile dağılım fonksiyonları saptanır. İstatistik çalışmalar elde edilen bu dağılım fonksiyonları (Normal Dağılım, Lognormal, Poisson Dağılımı vb.) üzerinde yapılır.

Mühendislik çalışmalarında yapılan ölçmeler sonunda elde edilen değerlerin, çoğunlukla, bir ortalama değer etrafında «Normal Dağılım» kurallarına uygun olarak dağıldıkları görülmektedir. Diğer taraftan normal dağılım fonksiyonu-

nun değerlendirilmesindeki kolaylık da bu dağılımın çoğunlukla kullanılmasında etkili bir faktördür. Ancak uygunluk testleri sonunda normal dağılımın uygun olmadığı görülmesine rağmen bu dağılımı kullanmak hatalı sonuçlar verir.

3. 1 — Normal Dağılım Fonksiyonunun Özellikleri :

Dağılım eğrisi :

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \quad (D)$$

eşitliği ile tariflenen, bir ortalama değer etrafında simetrik olarak dağılmış topluluklar «Normal Dağılmış» olarak tariflenirler. Bu fonksiyonun uygulamada kullanılan şekli :

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

dönüşümü yapılarak elde edilen :

$$Z(x) = y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3)$$

dir. Bu denklemden de görüleceği gibi, normal dağılımı fonksiyonunun parametreleri μ ve σ adır. Yukarıdaki eşitlikte :

y = Dağılmış eleman frekansı,

x = Herbir frekansa tekabül eden özellik değeri,

μ = Topluluğun ortalama özellik değeri,

σ = Standart sapma

dir. Normal Dağılım eğrisi altındaki alanın değeri toplam frekans sayısına eşittir. Eğri altındaki alanları bulmak için integrasyon yerine, yaklaşımlar yardımı ile nümerik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Belirli aralıklardaki alanların değerlerini tablo halinde kolayca elde edebilmek amacı ile normal dağılım fonksiyonu, eğri altındaki alan 1,0 olacak şekilde standartlaştırılmıştır. Böylece eğri denklemi olarak :

$$Z(x) = y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2}$$

şeklinde bir eşitlik ortaya çıkmıştır. Bu eşitlik «Standart Normal Dağılım Fonksiyonu» olarak tanımlanmaktadır. Şekil: 3 de standart normal dağılım eğrisi görülmektedir. Eğrinin ordinat ekseninde $Z(x)$ değerleri, absis ekseninde ise $(x - \mu) / \sigma$ değerleri bulunmaktadır. Şekil: 3'deki eğri $p = 0$ ve $a = 1$ parametreleri için hazırlanmıştır. Absis ekseninde ele alınan $Z_1 - Z_{i+1}$ aralığı için eğrinin altında kalan alanın değer! İstatistik tablolarından elde

edilebilir. Ele alınan bit örneğin μ ve a değerlerinin bilinmesi halinde, Örnekteki dağılım eğrisi altında $(x_1 - \mu) / \sigma$ ile $(x_{i+1} - \mu) / \sigma$ aralığında bulunması gerekli teorik frekans değerleri elde edilebilir. Bu işlem elimizde bulunan dağılımların normal dağılım olup olmadıklarının kontrolünde (chi-karesi testi)'-ve ihtimaller hesabı çalışmalarında kullanılmaktadır. Örneğin Şekil: 3 deki +1 ve +2 değerli Z aralığında eğrinin altında kalan alan tablolardan $0.9772 - 0.8413 = 0.1359$ olarak bulunur. Ele alınan örneğin parametreleri, ($n = 20$ ve $a = 4$ olması halinde deney sonuçlarına göre hazırlanmış dağılım eğrisi altında, $X - \mu = z + [z \text{ dönüşümü}]$ göre, $X_1 = 4.1 + 20 = 24$ ve $X_{i+1} = 4.2 + 20 = 28$ aralığındaki frekans sayısının, (toplam frekans $\times 0.1359$) olması gerekecektir. Bu kavram ileriki bölümlerde bir örnek üzerinde daha açık olarak verilecektir.

3. 2 — İhtimal Kavramı :

Standart Normal Dağılım eğrisi altındaki alanın değeri 1,0 dır. $-Z_{0.5} < x$ sembolü ile eğrinin sol yarısındaki alanın 0,5 a olduğu absis değerini, $+ Z_{0.5}$ ile eğrinin sağ yarısındaki alanın 0,5 a olduğu absis değerini belirtelim. $-Z_{0.5} < x$ ile $+ Z_{0.5}$ aralığının kalan alanın değeri α olduğuna göre herhangi bir X_i deney sonucunun bu alan içinde bulunma ihtimali $(1 - \alpha)$ 100 olacaktır. Başka bir gösterişle :

$$P(-Z_{0.5\alpha} < Z < Z_{1-0.5\alpha}) = 1 - \alpha$$

(5)

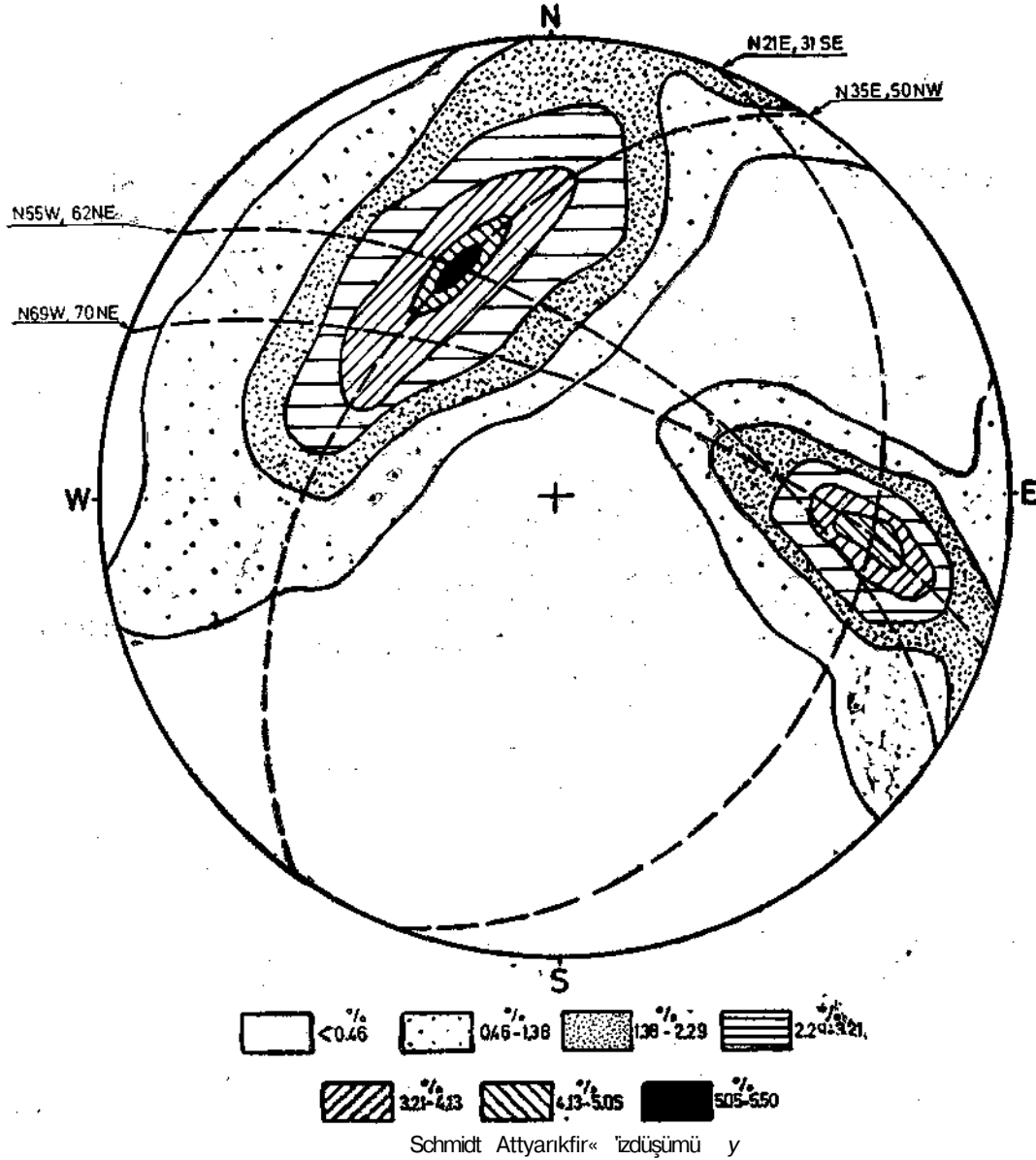
air.

Mühendislik amaçları için standart normal dağılım eğrisinin maksimum noktasına (mod) tekabül eden Z değeri (Z_0), istatistiksel olarak, topluluğu tarifleyen bir değer olarak ele alınabilir. Bu değer, diğer bir deyimle, en güvenilir değerdir. Dolayısı ile bu değer, mühendislik çalışmalarında, % 100 güvenilirlik olarak ele alınır. (4) eşitliği gözönünde alınır, bu durumda $a = 0$ için ortaya çıkmaktadır. Böylece, yukarıda belirtilen ihtimal kavramına (4) eşitliği karşılık olarak, elde edilen X_i deney sonuçlarının topluluk ortalamasına (μ) göre ihtimalleri $\beta = 1 - 0.5 a$ olarak tariflenebilir. Buna göre, $a = 10$ olan bir $+ Z_{1 - 0.5 a}$ deney sonucunun dağılım eğrisi altındaki alan içinde bulunma ihtimalinin % 95 olmasına karşılık, bir mühendislik çalışmasında, bu değere, ancak % 5 ihtimalle güvenilebileceği görülmektedir.

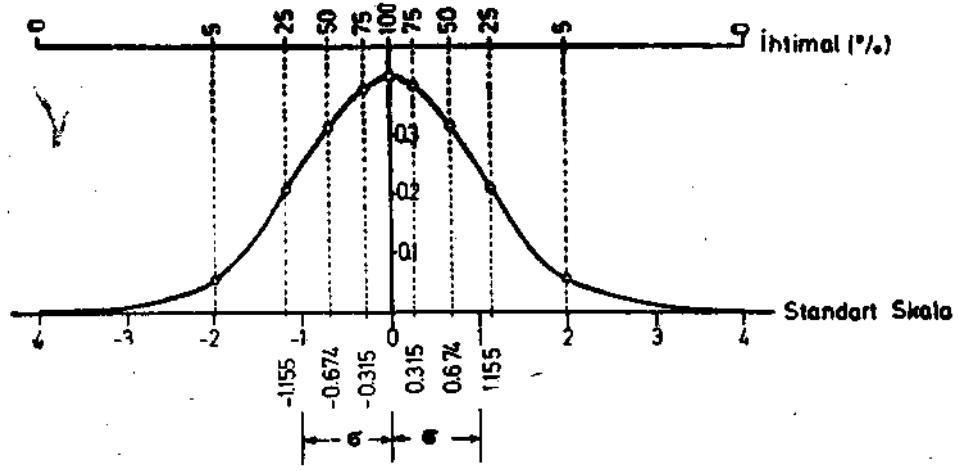
Standart normal dağılım fonksiyonunun a ihtimaline göre karektistik noktalarının değerleri istatistik kitaplarından elde edilebilir. Örnek problemde kullanılacak olan (0) ihtimal karektistikleri, $Z = X$ ve $y = Z(x)$ değerleri Tablo: 1 ve Şekil: 3'de verilmiştir.

Tablo : 1 — Karakteristik Standart Normal Dağılıma Değerleri.

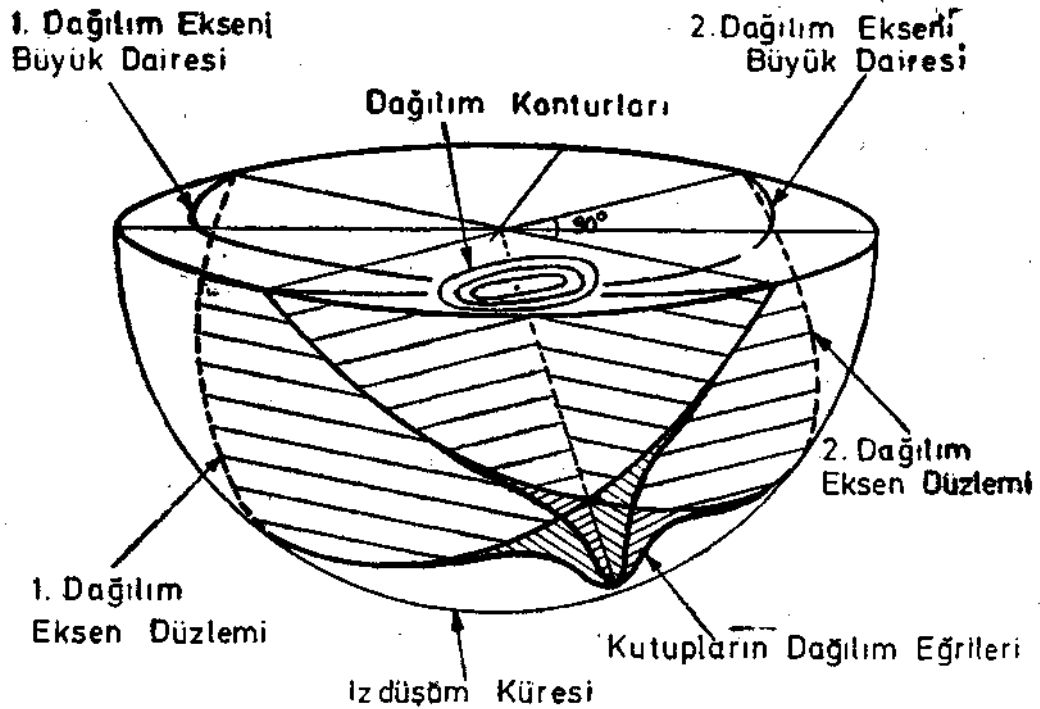
β ihtimali (%)	Z = X	Y = Z (X)	β ihtimali (%)	Z = X	Y = Z (X)
100	0,000	0,399	32	1,000	0,242
90	0,130	0,394	30	1,040	0,232
80	0,255	0,386	25	1,155	0,199
75	0,315	0,379	20	1,285	0,175
70	0,385	0,370	10	1,640	0,104
60	0,525	0,347	5	1,960	0,058
50	0,674	0,317	0,2	3,900	0,0002



Şekil : 2 — Şekil : 1'deki Noktalara Göre Hazırlanmış Kontur Diagramı.



Şekil : 3 — Standart Normal Dağılım Eğrisi ve Karakteristik İhtimal Noktaları



Şekil : 4 — Kontur Elipslerinin Büyük ve Küçük Dağılım Eksen Düzlemleri

4 — KONTUR DİYAGRAMLARININ İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMELERİ :

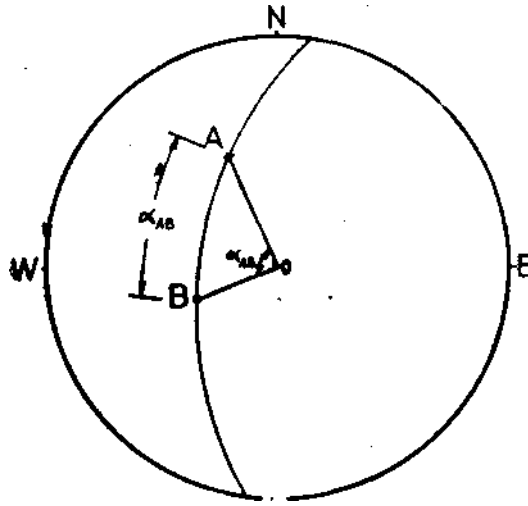
Kontur diyagramlarında süreksizlik düzlemlerinin yığılma noktaları etrafındaki konturların şekilleri, ölçülerin alındığı bölgedeki kayaçların özelliklerine bağlı olarak, elips ya da daireye benzemektedir. Genellikle raslamış elips şekilleri ele alındığında, bu elipslerin büyük ve küçük eksen düzlemlerinin izleri (büyük daireleri) çizilebilir. Bu işlem konturların girintili çiz-

kıntılı olması halinde, ortalama olarak elipse benzetilerek yapılabilir. Böylece çizim düzlemi içinde iki boyutlu olarak dağılan, süreksizlik düzlemlerini tanımlayan, noktaların «asal dağılıma eksenleri» saptanmış olur. Asal dağılıma eksenleri olan düzlemlerin, stereografik ağ kullanılarak çizilmesinde çizim kolaylığı olarak önce büyük eksenin, daha sonra buna dik olan küçük eksenin çizilmesi pratik açıdan daha kolay olmaktadır. Süreksizlik düzlemlerinin yığıl-

ma noktası olan, asal dağılma eksenlerinin kesim noktasındaki süreksizlik frekansının değeri (o noktadaki süreksizlik sayısı) daha önce yapılan kareyaj noktası üzerinde yazılı olan değerdir. Yığılma noktasından uzaklaşıldıkça süreksizlik sayıları da azalacaktır. Azalan bu frekansların değerleri, konturlarla asal dağılma eksenlerinin kesişme noktalarından, topografik kesit hazırlanmasında olduğu gibi bulunabilir. Böylece, asal dağılma eksenleri boyunca süreksizlik kutuplarının frekans dağılımı eğrileri elde edilebilir. Bu kavram Şekil : 4 incelendiğinde daha iyi anlaşılabilir. Bundan sonraki açıklamalarda «dağılma eksenleri» olarak belirtilen kavramla, asal dağılma eksenleri tanımlanacaktır.

Şekil : 2'de ele alınan örnek üzerinde yukarıda belirtilen işlemler yapıldığında A süreksizlik düzlemi takımının büyük eksen dağılım düzleminin N 69 W, 70 NE; küçük eksen dağılım düzleminin N 21 E, 31 SE yönelimli olduğu bulunmuştur. Benzer olarak B süreksizlik düzlem takımının dağılım eksenleri yönelimleri, büyük eksen için N 35 E, 50 NW küçük eksen için N 55 W, 62 NE şeklinde bulunmuştur (Şekil : 2).

Elde edilen bu dört dağılma düzleminin büyük dairelerinin konturlara kesim noktaları Şekil : 2'den bulunabilir. Daha sonra bu noktaların ait oldukları düzlem takımının maksimum yığılma noktaları arasındaki açılar, izdüşüm açıları yardımı ile saptanır. (Şekil : 5).



Şekil : 5 — İki doğru arasındaki açının saptanması :

A ve B düzlemlerinin büyük ve küçük dağılma eksenleri üzerindeki süreksizlik dağılma

değerleri Tablo : 2 ve Tablo : 3'de toplu halde görülmektedir.

Tablo : 2 — A Düzlemi Dağılım Değerleri

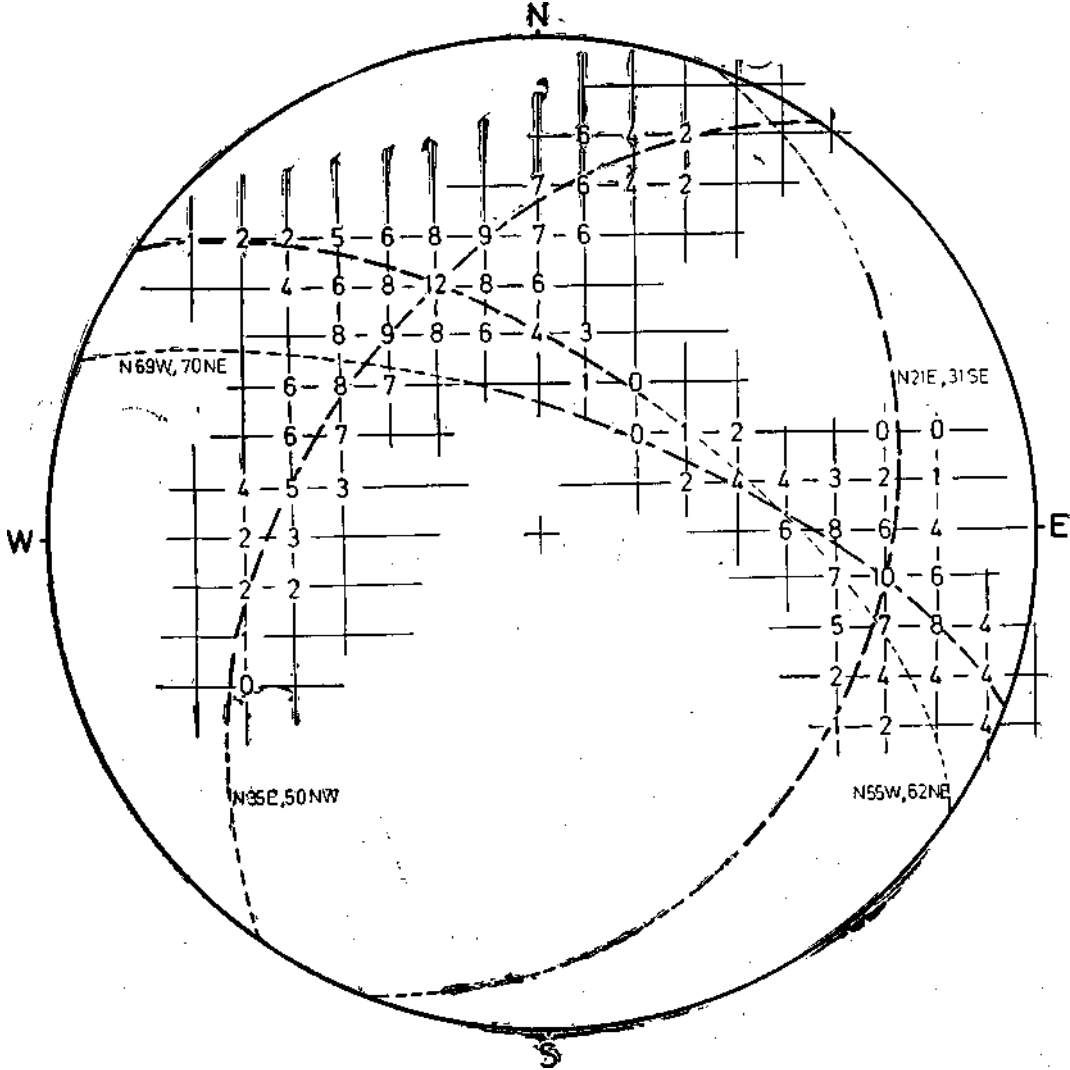
Kutup Salısı	1	3	5	7	9	10	9	7	5	3	1
Büyük Eksen! (°)	-44	-35	-20	-14	-8	0	7	14	20	32	-
Küçük Eksen (°)	-15	-10	-8	-5	-3	0	3	6	11	14	22

Tablo : 3 — B Düzlemi Dağılım Değerleri

Kutup Sayısı	J	1	3	5	7	9	11	12	IX	9	7	5	3	1
Büyük Eksen (°)	j	-64	-46	-39	-29	-18	-5	0	5	12	25	36	44	-
Küçük Eksen (°)	j	-43	-24	-19	-10	-4	-2	0	2	3	8	15	23	30

Tablo : 2 ve Tablo : 3'de görülen değerler, yapısal jeoloji amaçları için yeterli olan yöntemle çizilen konturların büyük ve küçük dağılım eksenleri ile kesim noktalarından elde edilmişlerdir (Şekil : 6). Ancak düzlemlerin kutup noktalarının, dağılım, eksenleri üzerindeki, en uygun dağılım eğrilerini elde etmek için daha detaylı bir değerlendirme yapmak gereklidir. Bu amaçla çizim düzlemi üzerindeki kutup noktalarının daha sık karelaj ağırları ile de-

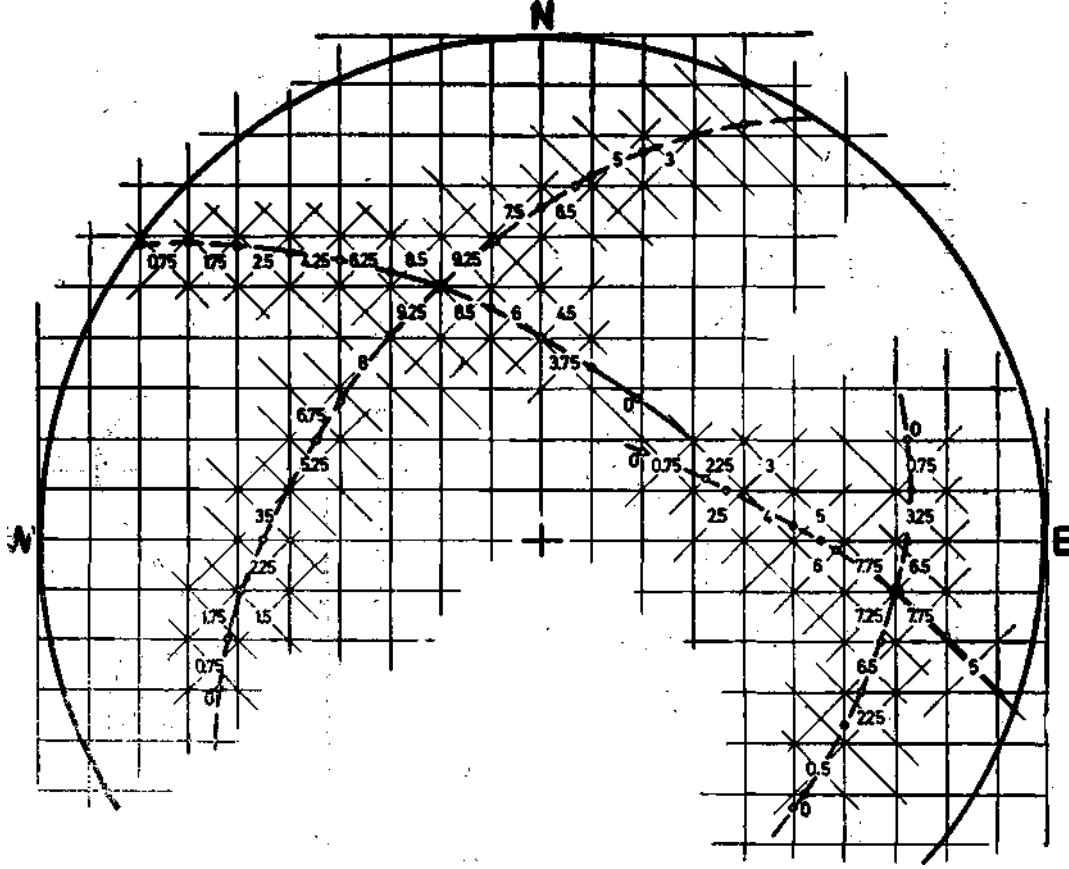
ğerlendirilmesi ya da büyük ve küçük dağılım eksenlerine en yakın karelaj değerlerinin eksenler üzerine interpolasyonu da düşünülebilir. Yapısal jeolojide kullanılan yöntemin esaslarından fazla uzaklaşmamak amacı ile, ikinci çözüm yolu seçilerek Şekil : 6 ya dayanarak Şekil : 7 deki gibi değerlendirme yapıldığında kutuplar için elde edilen dağılım değerleri Tablo : 4 ve Tablo : 5'de görülmektedir.



Şekil : 6 — Ele Alınan örnekteki Elips Şekilli Konturlarının Büyük ve Küçük Eksen Düzlemleri ve İlgili Karelaj Değerleri

Tablo : 4 ve Tablo 5'deki değerler, stereografik izdüşümdeki yığılma noktasından uzaklaşıldığında, kutup sayılarının dağılımlarını belirtmektedir. Bu değerlere dayanılarak, dağılım eğrileri hazırlanabilir. A ve B düzlemlerinin büyük ve küçük eksenleri üzerinde, kutupların

dağılım eğrileri Şekil : 8'de görülmektedir. Şekil : 8'deki eğrilerin simetrik olmamaları, stereografik izdüşüm yönteminden ileri gelmektedir- Stereografik izdüşüm yönteminde, düzlemlerin eğimleri arttıkça ortaya çıkan distorsiyon nedeni ile, fazla eğimli düzlemlerin



Şekil : 7 — İşıdüşüm Düzlemindeki İlgili Karelaj değerlerinin Interpolasyonu.

değerlendirilmesindeki hata küçük eğimli düzlemlerin değerlendirilmesine göre daha fazla olmaktadır. Bu nedenle dağılım eğrilerinin çiziminde, eğrinin genel gidişi az eğimli düzlem

kısımındaki şekle benzetilmelidir. Böylece değerlendirme yönteminden ortaya çıkan hatalar dengelenebilir,

Kutup Sayısı	0	0,75	1,75	3,5	4,0	4,75	5,0	5,5	7,5	7,75	10,0	7,75	»»	LS	4,0
Büyük Eksen (°)	-49	-44	-40	-32	-26	-22	-20	-16	-14	-8	0	4	10	C	?5

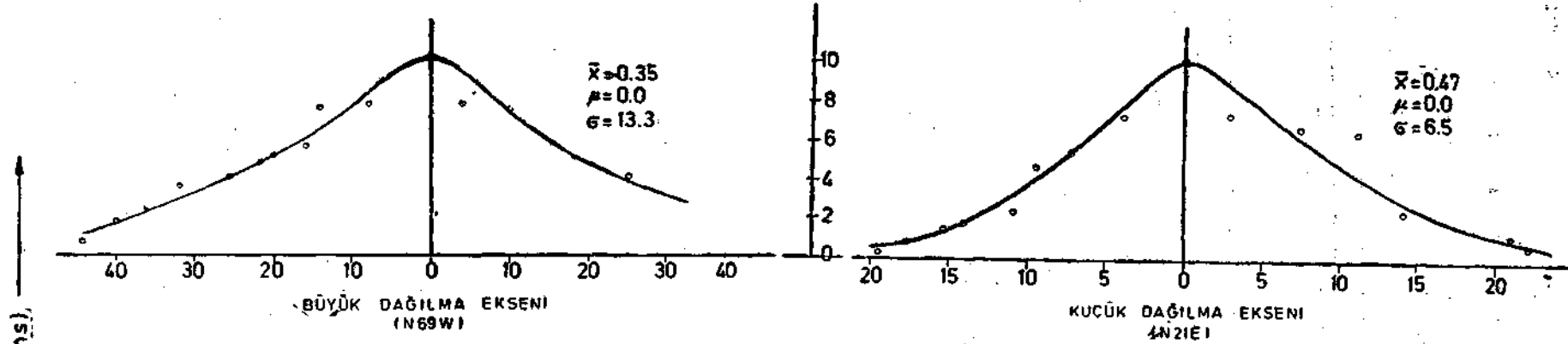
Kutup Sayısı	0	0,25	0,75	1,5	1,75	2,5	4,75	5,5	7,25	10,0	V	6,7,5	6 _r ⁵	2 _r ⁵	1,25	0,75	0,50	0,25	?-
Küçük Eksen (°)	-21	-19	-18	-16	-14	-12	-9	-7	-4	0	3	7	11	14	21	22	2?	?1	J,4

Tablo ; 4 — A Düzlemi Dağılım Değerleri (intéropolasyon sonucu)

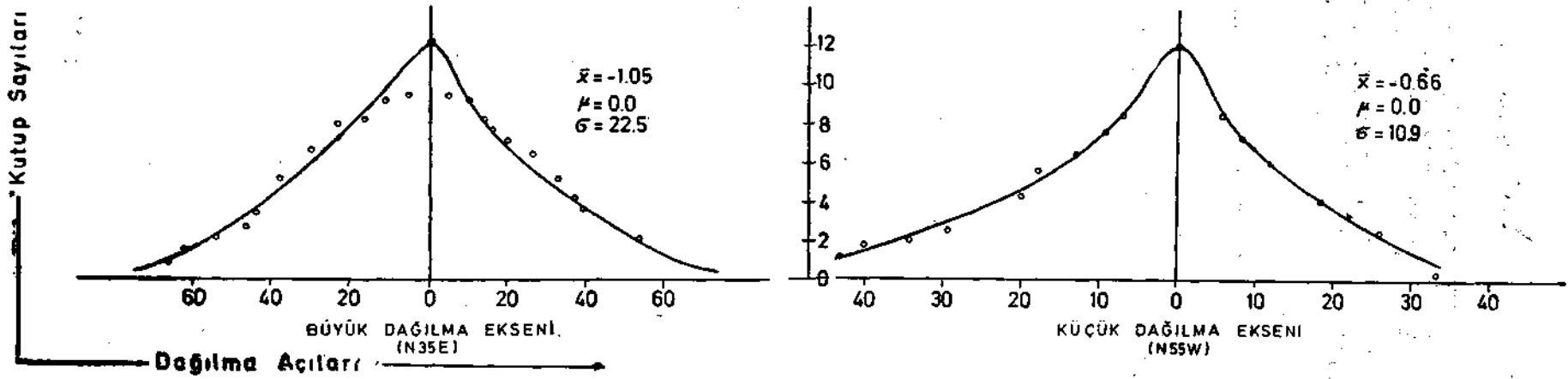
Kutup Savıası	0	0,73	1,2!	2,0	2,t	M,5	5,0	6,5	7,2!	8,0	9,0	1,25	12,0	9,25	9,0	»»	»	0	6,0!	J,0	*/	3,!	!
Büyük «kn n (O	-70	-66	-62	-3»	»7	«»	-J8	*»	»!	«	.M,	zX	t	JL	JL	»S	-2!!	26	2«	1,11	17	J6L	-S!
Hucup Sayısı	0	0,75	1,0	1,75	2,0	2,5	1,25	5,5	6,2!	»»	9,23	3 5	!	!»	»	»	0	J,5	1,75	0,23	0		
Küçük Eksen (°)	-52	-46	*43	-40	-34	-29	-20	-18	-13	»»	-7	JL	J!	«	J?	!9,	»JA	!fi	M-J5,				

Tablo : 5 — B Düzlemi Dağılım Değerleri (intéropolasyon sonucu)

A Düzlemi



B Düzlemi

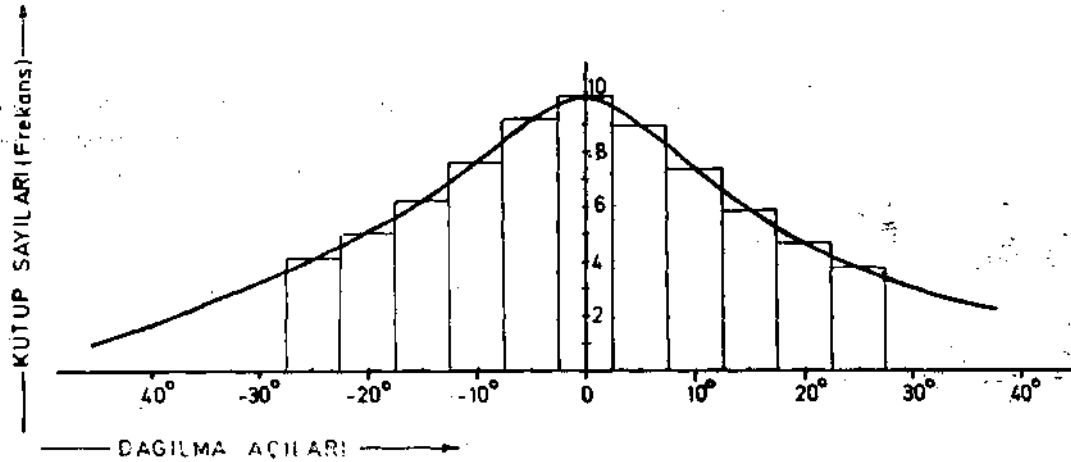


Şekil : 8 — A ve B Düzlemleri Kutuplarının Dağılma Eğrileri ve Eğrilerin İstatistiksel Parametreleri

Dağılım eğrisi bilinen bir normal dağılımın istatistiksel olarak değerlendirilmesi için (μ ve σ parametrelerinin bilinmesi gereklidir. Ele alınan dağılımlar için ortalama değer, yığılma noktalarına tekabül eden açı değeridir. Dağılım eğrilerinde yığılma noktalarındaki açı değerleri sıfır olarak ele alınmış ve kutupların bu noktalar etrafında dağıldıkları kabul edilmiştir. Yığılma noktalarının iki tarafındaki değerler, standart normal dağılım eğrisi (Şekil : 3) ile uyum sağlama amacı ile $-$ ve $+$ olarak işaretlenmiştir.

Diğer parametre olan σ nın saptanması için eğrilerden, belirli açı aralıkları için, his-

togramlar hazırlanmaktadır. Burada yapılan işlem, ölçme sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi için yapılan işlemin tersi olmaktadır. Zira değerlendirme doğrudan doğruya bir işlem (stereografik izdüşüm) sonucu elde edilen dağılım eğrileri üzerinde yapılmaktadır. Şekil : 9'da A düzlemi büyük eksen kutup dağılımı için hazırlanan histogram görülmektedir. Bu histograma göre yapılan istatistiksel çalışmalardan eğrinin tariflediği normal dağılımın ortalama değeri, $X = 0,35$ olarak ve standart sapma, $\sigma = 13,3$ olarak bulunmuştur. Bu parametrelerin hesaplanmasında yapılan çalışmalar Tablo : 6'da toplu halde görülmektedir.



Şekil : 9 — A Düzlemi Büyük Dağılım Ekseni Histogramı

Başlangıçta kabul edilen ortalama değer, $\mu = 0$; istatistik değerlendirme sonucu elde edilen ortalama değer, $X = -0,35$ olduğuna göre, iki ortalama arasındaki fark $X - \mu = (-0,35 - 0)$ olarak bulunur. Bu farkın çok küçük olması nedeni ile $X = \mu = 0$ kabul edilebilir, böylece başlangıçta yapılan kabul doğrulanmış olmaktadır.

Dağılım eğrisinin, normal dağılım eğrisi olarak ele alınıp alınmayacağı «Çi Karesi» yöntemi ile kontrol edilebilir. A düzlemi büyük eksen kutup dağılımının kontrolü için yapılan Çi karesi işlemleri Tablo : 7'de görülmektedir.

Bu işlem sonucunda $X^2 = 1,042$ olarak bulunmuştur. Ele alınan örnekte hesaplar 11 aralık üzerinde yapıldığından, bu analizin serbestlik derecesi, (aralık sayısı-1), 10 olmaktadır. Buna göre, istatistik tablolarından % 95 doğru-

lukla 10 serbestlik derecesi için $X^2_{0,95}(10) = 18,31$ olarak bulunur. İşlemler sonucu elde edilen değer, tablodan bulunan değerden küçük olduğundan dolayı, elimizdeki dağılım normal dağılım olarak kabul edilebilir.

Diğer üç dağılım eksenleri içinde aynı işlemler yapıldığında standart sapma değerleri :

A Düzlemi
Büyük dağılım eksenini : 13,3
Küçük dağılım eksenini : 6,5

B Düzlemi
Büyük dağılım eksenini : 22,5
Küçük dağılım eksenini : 10,9

olarak saptanmıştır.

Aralık	Frekans fi	Aralık Orta Değeri Xi	fi * Xi	4	f x ²
-27.5-(-22.5)	4.2	-25	-105.0	625	2625
-22.5-(-17.5)	5.0	-20	-100.0	400	2000*
-17.5-(-12.5)	-6.1	-15	-91.5	225	1372.5
-12.5-(-7.5)	7.6	-10	-76.0	100	760*
-7.5-(-2.5)	9.1	-5	-45.5	25	227.5
-2.5-2.5	10.0	0	0	0	0
2.5-7.5	8.9	5	44.5	25	222.5
7.5-12.5	7,3	10	73.0	100	730
12.5-17.5	5.8	15	87,0	225	1305
17.5-22.5	4.6	20	92.0	400	1840
22.5-27.5	3.8	25	95.0	625	2375
	76.6	*->	-26.5		13457.5

$$\bar{X} = \frac{-26,5}{76,6} = -0,35$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{N-1} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n f_i x_i)^2}{N}}{N-1}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{76,6} (13458 - 9) = 177,9$$

$$\sigma = 13,3$$

$$N-1$$

$$(T = 13,3$$

Daha önce 3.2 de açıklandığı gibi çeşitli ihtimali! düzlem kutuplarının bulunması için elde edilen yukarıdaki standart sapma değerleri kullanılacaktır. Örnek olarak A düzlemi büyük eksen kutup dağılımını ele alırsak $X_{100} = 0,315 \times 13,3 = 4,19 \sim 4$, $X_{75} = 0,674 \times 13,3 = 8,96 \sim 9$, $X_{50} = 1,155 \times 13,3 = 15,36 \sim 15$ değerleri elde edilecektir. Benzer işlem diğer düzlem eksenleri içinde yapıldığında elde edilen değerler Tablo : 8'de toplu halde görülmektedir.

Tablo : 6 —

A düzlemi büyük dağılım eksenini üzerindeki dağılım eğrisinin istatistiksel parametrelerinin saptanması

$$X_{15} = 0,315 \times a = 0,315 \times 13,3 = 4,19 \sim 4$$

$$X_{50} = 0,674 \times a = 0,674 \times 13,3 = 8,96 \sim 9$$

$X_{25} = 1,155 \times a = 1,155 \times 13,3 = 15,36 \sim 15$ değerleri elde edilecektir. Benzer işlem diğer düzlem eksenleri içinde yapıldığında elde edilen değerler Tablo : 8'de toplu halde görülmektedir.

Dağılım Eksenleri	İhtimal (%)				Standart Sapma	
	100	75	50	25		
A Düzlemi	Büyük Eksen (°)	0	4	9	15	13,3
	Küçük Eksen (°)	0	2	4	8	6,5
B Düzlemi	Büyük Eksen (°)	0	7	13	26	22,5
	Küçük Eksen (°)	0	A?	?	13	10,9

Tablo : 8—A ve B Düzlemlerinin Çeşitli İhtimaller için Sapma Açılan

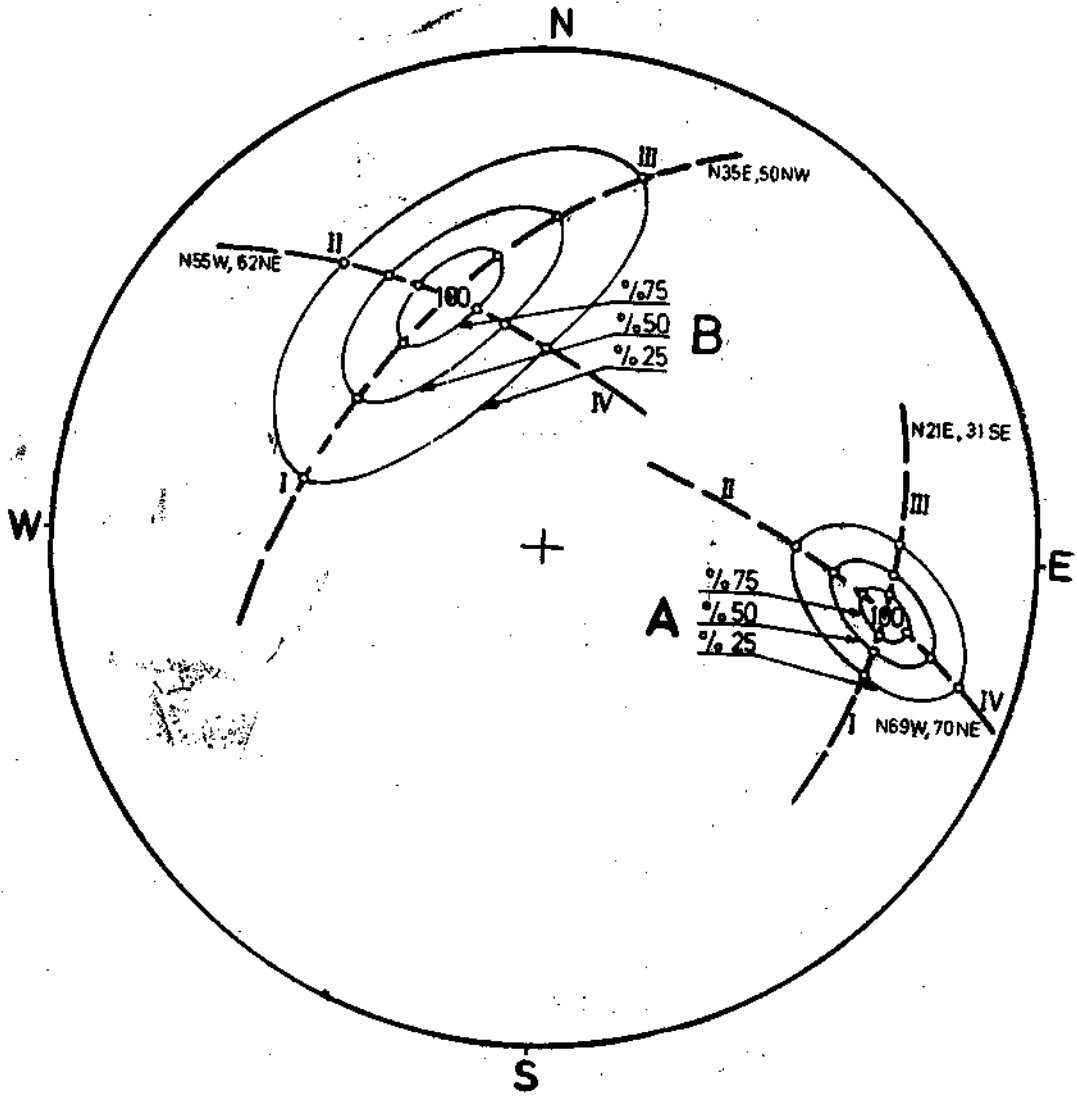
$$\mu = 0 \quad \sigma = 13.3$$

Aralık	Standart Aralık ($X_i - \mu$) / σ	Aralık Alanı A	(O) Gözlenen Frekans f_i	(E) Teorik Frekans $e f_i \cdot A$	O - E	(O-E) ²	(O-E) ² /E
-27.5-(-22.5)	-∞ -(-1.607)	0.054	4.2	4.136	0.064	0.004	0.001
-22.5-(-17.5)	-1.607-(-1.250)	0.052	5.0	3.983	1.017	1.034	0.260
-17.5-(-12.5)	-1.250-(-0.893)	0.078	6.1	5.975	0.125	0.016	0.003
-12.5-(-7.5)	-0.893-(-0.536)	0.111	7.6	8.508	-0.908	0.824	0.097
-7.5-(-2.5)	-0.536-(-0.179)	0.134	9.1	10.264	-1.164	1.355	0.132
-2.5-2.5	-0.179-0.179	0.142	10.0	10.877	-0.877	0.769	0.071
2.5-7.5	0.179-0.536	0.134	8.9	10.264	-1.364	1.860	0.181
7.5-12.5	0.536-0.893	0.111	7.3	8.503	-1.203	1.447	0.170
12.5-17.5	0.893-1.250	0.078	5.8	5.975	-0.175	0.031	0.004
17.5-22.5	1.250-1.607	0.052	4.6	3.983	0.617	0.381	0.096
22.5-27.5	1.607-∞	0.054	3.8	4.136	-0.336	0.113	0.027
			<u>76.6</u>	<u>76.429</u>			<u>2.1042</u>

Tablo : 7 — A Düzlemi Büyük Dağılım Eksenü Üzerined Yapılan «Çi Karesi» Testi.

Tablo : 8'deki çeşitli ihtimaller için bulunan sapma açıları Schmidt izdüşüm ağı yardımı ile ait oldukları dağılıma düzlemleri üzerine işaretlenir (Şekil : 10). İşaretlenen bu noktaların herbiri belirli ihtimalli düzlemlerin kutuplarıdır. Bu kutuplardan ait oldukları düzlemlerin yönelimleri elde edilir. Böylece her-

bir hakim düzlem takımı için 1 adet % 100, 4 adet % 75, 4 adet % 50 ve 4 adet % 25 ihtimalli olmak üzere 13 adet düzlem elde edilir. Ele alınan örnek problemde A ve B hakim düzlem takımları için 26 adet düzlem bulunmuştur. Bu düzlemler Tablo : 9'da toplu halde görülmektedir.



Şekil :10 — A ve B Düzlem Takımı Kutuplarının İhtimal Konturları.

Ihtimal (%) Düzlem	100	75	50	25	Dağılım Ekseni
A	N8E, 59NW	N10E, 59NW	N13E, 59NW	N17E, 58NW	I
		N6E, 56NW	N3E, 51NW	N-S, 46W	II
		N6E, 59NW	N3E, 60NW	N1W, 60SW	III
		N10E, 63NW	N12E, 68NW	N14E, 73NW	IV
B	N67E, 45SE	N58E, 41SE	N46E, 41SE	N30E, 40SE	I
		N64E, 48SE	N61E, 51SE	N56E, 56SE	II
		N76E, 49SE	N85E, 53SE	N85W, 60SW	III
		N70E, 43SE	N74E, 40SE	N82E, 37SE	IV

Tablo : 9 — Çeşitli İhtimalli Düzlemlerin Doğrultu ve Eğimleri.

5 — MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI :

Üzerinde çalışılan bölge için elde edilen çeşitli ihtimalli süreksizlik düzlemleri, kaya kitlesine etkiyen gerilmeler karşısında kaymaların oluşabileceği düzlemler olarak gözönüne alınacaktır. Kaya kitlelerine etkiyen ilâve gerilmeler, ankrajlar, temeller ya da şev yapımı gibi herhangi bir mühendislik yapısı tarafından uygulanabilir. Süreksizlik düzlemleri tarafından sınırlanan kaya bloklarını hareket ettirmeye çalışacak bu kuvvetlere süreksizlik düzlemlerinin dirençleri karşı koymağa çalışacaktır. Harekete karşı koyan kuvvetlerin, hareket ettirici kuvvetlere oranı olarak tariflenen bir güvenlik sayısı, yapılacak yapının temel açısından emniyetini tanımlayacaktır. Süreksizlik yüzeylerinin konumlarının değişmesi, karşı koyucu kuvvetlerin büyüklüğüne doğrudan doğruya etkiyen bir faktördür. Bir düzlem takımı için çeşitli ihtimallerle ortaya çıkacak yüzeylerin mekanik özellikleri yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen, birbirlerinden farkları sadece yönelimlerinin değişik olmasıdır. Yönelimlerdeki farklılaşmanın güvenlik sayısına etkisi, yapılacak bir stabilite analizinde açıkça görülebilir.

Bu amaçla, ele alınan hipotetik örnekteki süreksiz ortam içinde yapılan bir şef stabilite analizi çalışmasının sonuçları gözden geçirilebilir. Bu analiz hakkında etraflı açıklamaların ileride bir makale olarak verilmesi düşünülmektedir. Yapılan şev stabilitesi analizinde süreksizlik düzlemlerinin kohezyonu ihmal edile-

bilecek kadar küçük ve sürtünme açıları 25° olarak seçilmiştir. Buna göre kaymanın % 100 ihtimalli iki düzlem yani N 8 E, 59 NW ve N 67 E, 45 SE düzlemleri üzerinde oluşacağı düşünüldüğünde güvenlik sayısı 1.040 bulunmuştur. Süreksizlik düzlemlerinin sürtünme açıları 20° olarak ele alındığında, güvenlik sayısı 0.812 ye düşmektedir. Ancak çeşitli ihtimalli kayma düzlemleri karşılıklı olarak ele alınıp stabilite analizi yapıldığında, güvenlik sayıları çok değişmektedir. Bunlar içinde yüksek bir ihtimal sayılabilecek A düzlemi için % 100, B düzlemi için % 75 (III) ihtimalli düzlem olan N 9 E, 59 NW ve 76 E, 49 SE yönelimli süreksizlikler arasında kalan % 75 ihtimalli kaya kamasının güvenlik sayısı 25° lik sürtünme açısı için 0.826 olmaktadır.

Bu sonuçtan da görüleceği gibi süreksizlik düzlemlerinin yönelimleri, deneyler sonucu elde edilen süreksizliklerin sürtünme açıları kadar önemli olabilmektedir. Dolayısı ile çalışılan bir bölgeden elde edilen, % 100 ihtimalli süreksizlik düzlemleri üzerinde yapılan deneyler sonucu bulunan sürtünme açısı değerlerine dayanarak yapılan bir stabilite analizinden, güvenlik sayısı 1.0 den fazla olarak elde edilebilir. Yapılan bu şevin bozulması halinde, boyutlandırma işleminde yapılan hata, elde edilen sürtünme katsayısının yanlış olarak seçilmesinde olabilir. Bu hatanın yanı sıra, kaymanın düşünülen düzlem üzerinde değil daha farklı ihtimalli düzlemler üzerinde oluşması da mümkündür. Bu nedenle kaya şevlerinin boyutlandırma çalışmasında kayma düzlemlerinin seçimi için

ihhtimal kavramının da ele alınması gerekecektir. Ancak bu ihtimal sınırlarının seçimi tamamen bir kâr - risk çalışması olmaktadır.

6 — SONUÇLAR :

Stereografik izdüşüm yöntemi üç boyutlu düzlemlerin iki boyutlu çizim kâğıdı üzerinde, bir nokta ile belirtilmesini sağlayan çok yararlı bir işlemdir. Bir bölgeden alınmış çok sayıda süreksizlik ölçülerinden, bölge için karakteristik süreksizlik takımları yapısal jeolojide çok kullanılan yöntemle saptanır. Saptanan hâkim süreksizlikler bölgede yapılacak temel ile ilgili bir mühendislik çalışmasında, boyutlandırma da kullanılacak % ihtimalii süreksizlik düzlemleri olarak ele alınır. Ancak, bu düzlemleri bulmak için yapılan çalışmalar istatistiksel yöntemlerle yürütülmektedir. Dolayısı ile % 100 ihtimalii düzlemlerin yanı sıra daha az ihtimalii düzlemler de mevcut bulunmaktadır. Çeşitli ihtimalii olan düzlemlerin de saptanması ve boyutlandırmada gözönüne alınması gereklidir. Bu düzlemler üzerine yapılacak boyutlandırma işlemlerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi tamamen bir mühendislik yargısını gerektirecektir.

Bu yazıda ortaya konan fikirler bir yöntem olarak ele alınabilir ve kaya ortamlar içinde yapılan mühendislik çalışmalarında (kaya şevlerin stabilitesi, kaya ankrajları, kaya temeller v.s.) kullanılma imkânı bulabilir.

Yayına Verildiği Tarih, 4-Şubat-1974

7 — KAYNAKLAR

- ABRAIMOWITZ, B. — STEGIİN, A.J. (.1968 :
Hofdböök of Mathematical Functions. Dover Publ. Co. New York. pp. 925 - 995.
- HOEK, E. — BRAY, J. W. — BOYD, J. M. (1972):
The Stability, of a Rock Slope Containing a Wedge Resting on Two Intersecting Discontinuities. Rock Mechanics Research Report No. 17. Imperial College, London, 63, p.
- KRUMBEIN, W. C. — GRAYBILL, F. A. (1965) :
An Introduction to Statistical Models in Geology. International Series in The Earth Sciences. Mc Graw Hill Book Co.
- LONDE, P. (1972) : The Mechanics of Rock Slopes and Foundations. Imperial College, Rock Mechanics Research Report. London.
- Mc MAHON, B. K. (1971) : A Statistical Method for the Design of Rock Slopes. Proc. 1 st Australian - New Zealand Geomechanics Conf. Melbourne. Vol. 1, pp. 314-321.
- OBERT, L. — DUVAL, W. I. (1967) : Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock. John Wiley and Sons Ltd. pp. 202~235.
- WINE, R. L. (1964) : Statistics for Scientists for Scientists and Engineers. Prentice - Hall Int. Co.