



ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

JEM 302 MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ  
UYGULAMA NOTLARI

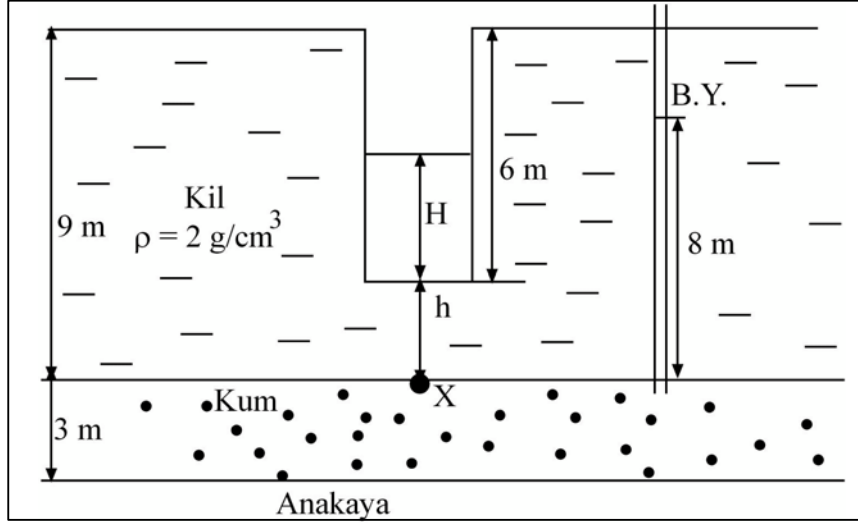
Prof. Dr. Recep KILIÇ  
Dr. Koray ULAMIŞ

Ankara  
2017

## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması - 1

**Soru 1.** Bir baraj gölü yakınındaki kireçtaşı kütleinde arazide ölçülen (in-sitü) gerilmeler  $\sigma_1 = 12$  MPa ve  $\sigma_3 = 4$  MPa olarak ölçülmüştür. Bu kütle içinde yenilmenin oluşabilmesi için gerekli boşluk suyu basıncı ne kadardır? Bu basıncı oluşturacak su kolonunun yüksekliği ne kadardır? (Laboratuvarda  $c=1.0$  MPa ve  $\phi= 35^\circ$  olarak bulunmuştur)

**Soru 2.** Aşağıda verilen kazıda kum kaynamasına sebep olmayacak H yüksekliği nedir?



**Soru 3.** Bir yerleşim bölgesinin 100 m altında 3 m kalınlığındaki bir cevherin işletilmesi planlanmaktadır. Bu amaçla, “oda-topuk” yönteminden faydalanılması düşünülmüş ve kullanılan makinanın boyutları nedeniyle oda büyüklüklerinin 3x3 m olması zorunlu görülmüştür. İşletmeden önce yapılan sondajlardan alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; kayacın tek eksenli basınç dayanımı  $30 \text{ kg/cm}^2$  ve örtü malzemesinin yoğunluğu  $2.5 \text{ g/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yüzeyde yaklaşık  $2 \text{ kg/cm}^2$  lik yayılı yük bulunmaktadır. Buna göre; yenilme anında güvenlik sayısının 2.0 olması için en az topuk boyutunu hesaplayınız.

*Not : Yöntem ile ilgili videolar için room and pillar mining anahtar kelimelerini aratabilirsiniz.*

## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması -2

Bir baraj yerinde açılacak olan çevirme tüneline yapılan sondajlarda granit kesilmiştir. Tünel çapı 5 metre olarak planlanmıştır. Ortalama RQD %80, tek eksenli basınç dayanımı 125 MPa bulunmuştur. Süreksizlik çalışmalarına göre; orta derecede eklem seti sayısı 3, eklem duvarları sert, az ayrılmış, pü rüzlü-düzensiz ve dalgalı olup eklemler arasındaki açıklık (ayrılma) 1.0 mm'den azdır. Hakim eklem takımı tünel eksenine paralel olup, eğimi 55° dir Ortalama eklem aralığı 320 mm'dir. Tünelin her 10 metresine gelen su miktarı 80 l/dk olarak tespit edilmiş olup, yaklaşık su basıncı 0.45 MPa'dır. Eklem boşluklarında dolgu malzemesi olarak yumuşayabilen ve şişebilen kil gözlenmiştir. Killi malzemenin su gelimi esnasında yer yer yıkanarak uzaklaştığı tespit edilmiştir. Gerilme orta derecede olup, uygun gerilme koşullarını sağlamaktadır.

Bu verilere göre, granit için RMR ve Q kaya kütlesi sınıflamalarını yaparak; gerekli destek sistemini Q'ya göre öneriniz. Tünelin desteksiz olarak ayakta durabilmesi için en büyük açıklık kaç metre olmalıdır? Tünelin kazı genişliğinin 7.5 m olması durumunda uygulanacak olan kaya bulonu uzunluğu (L)'nu hesaplayınız.

## KAYA KÜTLE SINIFLAMALARI

Kaya kütlesi kavramı bir bütün olarak ele alındığında, kayaç, sağlam kaya (taş) ve süreksizlikleri ifade etmektedir. Bu birimlerin fiziksel ve jeomekanik özellikleri birbirinden farklı olup, kütlelerin genel davranışını etkilemektedir. Hemen her türlü kaya mühendisliği ile ilgili yapıda kütlelerin sınıflandırılması, projelendirme, tasarım ve iyileştirme açısından önemlidir.

### a. Taş

Kaya kütlesi içinde herhangi bir süreksizlik tarafından kesilmemiş en küçük kaya parçasıdır. Dayanımı kaya ve süreksizliklerden fazladır.

### b. Kaya

Sağlam ve zayıf kaya parçaları, blok, bozunmuş/ayrışmış kaya olarak tanımlanabilir. Kütlelerin genel davranışı da bu birimlerin birbirlerine göre olan davranışları ile temsil edilir.

### c. Süreksizlik

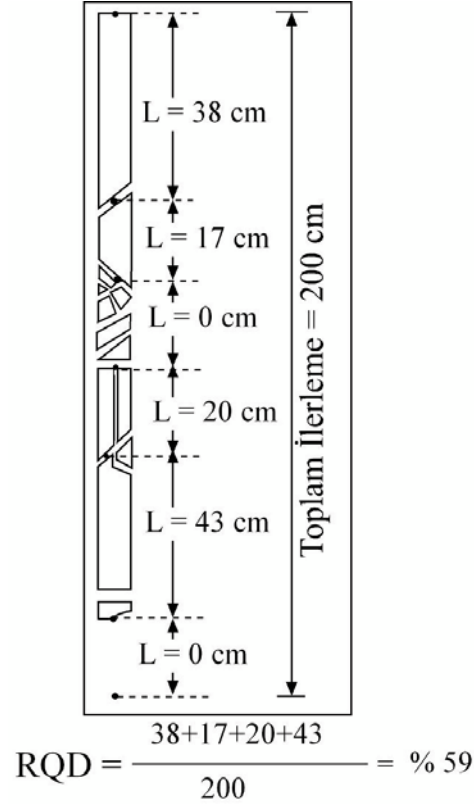
Jeolojik anlamda farklı fiziksel ortamları birbirinden ayıran zayıflık düzlemlerinin (fay, tabaka düzlemi, şistozite, folyasyon, klivaj, vs.) genel adıdır. Süreksizliklerin özellikleri, konumları ve dağılımları kaya kütlesi davranışını önemli derecede etkiler. Kütle içindeki süreksizliklerin tanımlanmasında; süreksizliklerin türü, aralığı, açıklığı, sıklığı, yüzeylerin durumu, devamlılığı, dolgu durumu, ayrışma ve su durumu gibi birçok etken rol oynar. Arazide yapılan hat, pencere vb gibi çalışmalar yanında sondaj verileri de kapsamlı olarak incelenmelidir. Sondajdan alınan karot örneklerinin tanımlanması ve jeoteknik loglama yapılması sırasında kullanılan kavramlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

### - Kaya Kalite Göstergesi (RQD)

Kaya kütlesi tanımlamalarında sıklıkla kullanılan bir girdi olup, ilk olarak (Deere, 1964) tarafından geliştirilmiştir. RQD (%), sondajda boyu 10 cm'den fazla olan sağlam karotların toplam uzunluğunun kademe ilerlemesine oranı olarak tanımlanmıştır (Şekil 1). RQD'ye dayalı kaya kalitesi sınıflaması Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. RQD kaya kalite sınıflaması (Deere, 1964)

RQD, %	Kaya kalitesi
0-25	A : Çok düşük
25-50	B : Düşük
50-75	C : Orta
75-90	D : İyi
90-100	E : Çok iyi



Şekil 1. RQD tanımı ve hesaplanması (Deere, 1964)

### -Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Sondaj karotlarından boy/çap oranı 2-2.5 olacak şekilde üst ve altı düzeltilerek hazırlanan örneklerde deney yapılarak tek eksenli basma dayanımı ( $\sigma_c$ ) elde edilir. Deney yapılamayan durumlarda nokta yük indeksi değerinden de faydalanılabilir. Çizelge 2'de sınıflama ve tanımlar verilmiştir (Deere&Miller, 1966)

Çizelge 2. Tek eksenli basma dayanımına göre sınıflandırma

Sınıf	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Tanım
A	>2000	Çok yüksek dirençli
B	1000-2000	Yüksek dirençli
C	500-1000	Orta dirençli
D	250-500	Düşük dirençli
E	<500	Çok düşük dirençli

## SINIFLAMA SİSTEMLERİ

### Kaya Kütlesi Oranı (RMR-Rock Mass Rating)

Jeomekanik kaya kütle sınıflaması olarak da bilinen sistem, ilk defa Bienawski (1973) tarafından geliştirilmiş ve son olarak 1989'da değişikliklere uğramıştır. Sistemin uygulanmasında, proje alanındaki kaya kütlesi yapısal alt birimlere ayrılır ve birimle ayrı değerlendirilir. Çizelge 3, 4,5,6 ve 7'de sınıflamada kullanılan değişkenlerin sınır değerleri ve tanımlamaları verilmiştir. Kaya kütlesinde hesaplanan RMR puanı ve kazı açıklığına göre tünel desteksiz ayakta kalma süresi ilişkisi Şekil 2'de verilmiştir. Düz tavanlı yeraltı açıklıklarında destek basıncını hesaplamak için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir (Unal,1983)

$$p_v = [(100-RMR)/100].\gamma.B \text{ (B-tünel genişliği, } \gamma\text{-kayacın birim ağırlığı)}$$

Çizelge 3. Sınıflama değişkenleri ve puanlamaları

Kayaç dayanımı	Nokta yükü day.ind.(MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralık		
	Tek eks.bas. day. (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
<b>Puan</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
<b>Puan</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		
Süreksizlik aralığı (m)		>2	0.6-2.0	0.2-0.6	0.06-0.2	< 0.06		
<b>Puan</b>		<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
Süreksizlik durumu		Çok kaba yüzey Sürekli değil Ayrılmaz Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzey Ayrıma <1mm Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzey Ayrıma <1mm Yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünmeli yüzeyler, fay dolgulu <5mm, 1-5mm açıklıklı ve sürekli eklem	Yumuşak fay dolgusu >5mm kalınlıkta veya açık eklem >5mm devamlı süreksizlik		
<b>Puan</b>		<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>0</b>		
Yeraltı suyu durumu	Tünelde ilk 10m den gelen su	Yok	10 l/dk	<25 l/dk	25-125l/dk	>125 l/dk		
	Eklemde su basıncı	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
	En büyük asal geril							
	Genel durum	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su gelişi		
<b>Puan</b>		<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		

Çizelge 4. Tünelde Süreksizlik durumunun etkisi

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		Eğim 0°-20° arasında (doğrultuda)
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı ilerleme		Eğim 45°-90°	Eğim 45°-90°	
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°			
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta
<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>	<b>-10</b>	<b>-12</b>	<b>-5</b>

Çizelge 5. Süreksizlik durumuna göre düzeltme

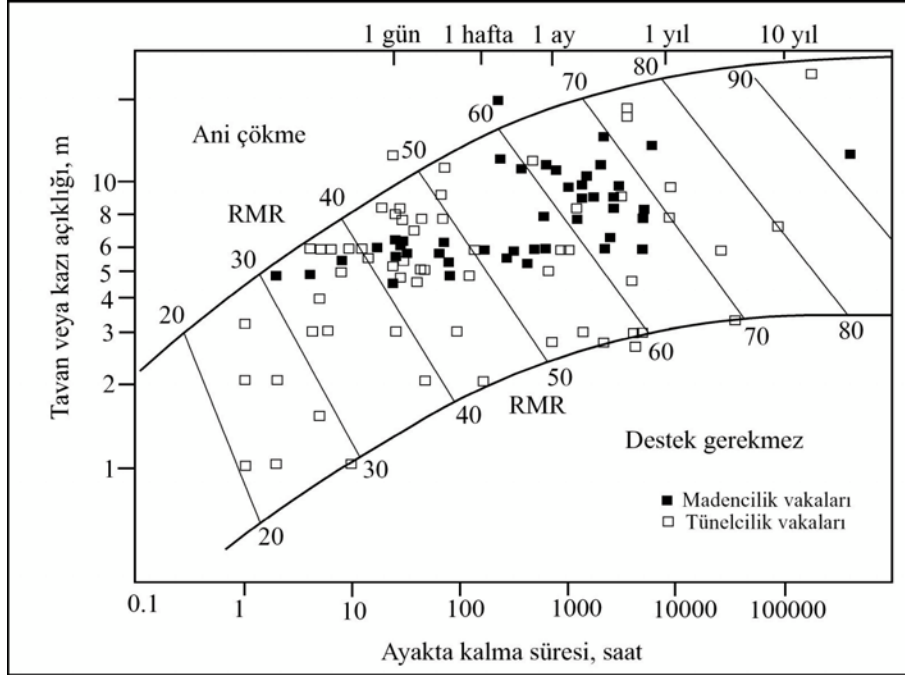
Doğrultu, eğim		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tünel	<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>	<b>-12</b>
	Temel	0	-2	-7	-15	-25
	Şev	0	-5	-25	-50	-60

Çizelge 6. Kaya sınıf ve puanları

Sınıf	I	II	III	IV	V
Tanım	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	<b>100 ← 81</b>	<b>80 ← 61</b>	<b>60 ← 41</b>	<b>40 ← 21</b>	<b>&lt; 20</b>

Çizelge 7. Kaya kütle sınırlarının anlamları

Sınıf	I	II	III	IV	V
İksasızgöçmeden durma süresi	15 m açıklık için 10 yıl	8 m açıklık için 6 ay	5 m açıklık için 1 hafta	2.5 m açıklık için 10 saat	0.1 m açıklık için 30 dk
Kaya kütleli kohezyonu	>400 kPa	300-400 kPa	250-300 kPa	100-200 kPa	<100 kPa
Kaya kütleli,φ	<4	35-45	25-35	15-25	<15



Şekil 2. RMR ile tavan açıklığı ve desteksiz ayakta kalma süresi (Bienawski, 1989)

## Q (NGI) Kaya Kütle Sınıflaması

Q sistemi Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nde Barton vd (1974) tarafından geliştirilmiştir. İskandinavya'da yaklaşık 200 ayrı tünel çalışmaları sonucunda oluşturulan sistem niceliksel olup, iksa tasarımına yöneliktir. 1993 ve 2002 yılında değişikliklere uğramıştır.

$$Q=(RQD/J_n) \times (J_r/J_a) \times (J_w/SRF)$$

RQD : Kaya kalite göstergesi

$J_n$  : Eklem takımı sayısı

$J_r$  : Eklem pürüzlülük durumu

$J_a$  : Eklem ayrışma durumu

$J_w$  : Eklemde su azaltma faktörü

SRF : Gerilme indirgeme faktörü

Eşitlikteki ilk ifade ( $RQD/J_n$ ) blok boyutu, ( $J_r/J_a$ ) eklem yüzeyleri ve dolgunun sürtünme ve pürüzlülüğü, ( $J_w/SRF$ ) ise etken gerilme koşullarının ifadesidir. Q sınıflama sisteminde kullanılan kavramlar aşağıda verilmiştir. Sistemde tanımlanan değişkenler ve puanlamaları Çizelge 9,10, 11, 12,13 ve 14'de verilmiştir.

$$\text{Eşdeğer çap, } D_e=2.(Q^{0.4}) = B/ESR$$

Kazı destek oranı, ESR (Çizelge 8 veya eşdeğer çap formülünden)Kaya bulunu uzunluğu,  $L=2+0.15 (B/ESR)$

RMR = 9.lnQ+44 bağıntısı ile sınıflamalar arasında geçiş yapılabilir.

Çizelge 8. Kazı destek oranı değerleri (Barton, vd. 1974)

Kazı tipi	ESR
Geçici maden kazıları	3-5
Düşey bacalar	
i. Düşey kesitli	2.5
ii. Kare/daire kesitli	2.0
Kalıcı maden kazıları, hidroelektrik amaçlı su tünelleri (çok yüksek basınçlı olanlar hariç), pilot tüneller, geniş kazılarda giriş galerileri,	1.6
Depolama odaları, su arıtma tesisleri, yol ve demiryolu tünelleri, yaklaşım ve dalga	1.3
Depolama açıklıkları, güç istasyonları, giriş, kesişme, sığınak, vs	1.0
Nükleer yeraltı santralleri, demiryolu istasyonları, fabrika ve halka açık tesisler, spor tesisleri	0.8



Çizelge 9. RQD değer aralıkları ve puanları

1.Kaya tanımı	RQD,%	Notlar
A: Çok düşük	0-25	1. $0 < RQD < 10$ olursa hesaplamada pratik olarak 10 alınır
B: Düşük	25-50	
C: Orta	50-75	
D: İyi	75-90	
E: Çok iyi	90-100	

Çizelge 10.Eklem takımı sayısı puanları ve tanımları

2. Eklem takımı sayısı	$J_n$	Notlar
A: Masif hiç veya birkaç eklem	0.5-1.0	Kesişmede ( $3 \times J_n$ ) Portalda ( $2 \times J_n$ ) alınır.
B: Bir eklem takımı	2	
C: Bir eklem takımı, düzensiz eklemler	3	
D: İki eklem takımı	4	
E: İki eklem takımı, düzensiz eklemler	6	
F: Uç eklem takımı	9	
G: Uç eklem takımı, düzensiz eklemler	12	
H: Dört veya fazla eklem takımı, düzensiz çok	15	
J: Tamamen ufalanmış kaya, zemin gibi	20	

Çizelge 11. Eklem pürüzlülüğü sayısı puanları ve tanımları

3. Eklem pürüzlülüğü	$J_r$	Notlar
(a) Eklem yüzeyleri temasta veya	4	Ortalama eklem aralığı 3m'den fazla ise değerlere 1 eklenmelidir
(b) Temasın 10 cm'den az bir makaslama ile sağlanması		
A: Süreksiz eklemler		
B: Dalgalı-pürüzlü		
C: Dalgalı-düz		
D: Dalgalı-cilalı		
E: Düzlemsel-pürüzlü		
F Düzlemsel-düz	1.0	Makaslama izleri olan düzlemsel cilalı eklemlerde $J_r$ değeri 1.5 alınabilir
G: Düzlemsel-cilalı	0.5	
(c) Makaslama duvarla temas yok	1.0	
H: Kaya duvarı temasını önleyecek kalınlıkta kil mineralli zon		
I: Kaya duvarı temasını önleyecek kalınlıkta kumlu, çakıllı veya ezilme zonu	1.0	

Not : Dalgalı, düzlemsel tanımları eklemin en az 2m'lik uzunluğu boyunca olan genel yapısını; pürüzlü,düz, cilalı kavramları yüzeyi daha küçük ölçekte tanımlar.

Çizelge 12. Eklem ayrışma sayısı puanları ve tanımları

4. Eklem ayrışma sayısı	Ja	$\phi$ (°)
<i>(a) Kaya yüzeyi ile temasta (mineral dolgu yok, sadece sıvama)</i>		
A: Temas yüzeyi sert dolgu halinde	0.75	-
B: Eklem cidarı ayrışmamış, yüzeysel lekeler var	1.0	25-35
C: Eklem cidarları az ayrışmış, yumuşamayan tipte kumlu parçacıklar, kilsiz ayrışmış kaya, vb	2.0	25-30
D: Siltli ve kumlu, killi sıvama, az miktarda yumuşamayan tipte killi malzeme	3.0	20-25
E: Yumuşayabilen, düşük sürtünmeli kil mineralli sıvama, kaolinit, talk, grafit vb az miktarda şişen kil (sıvama süresiz, kalınlığı 1-2 mm' den az olunca)	4.0	8-10
<i>(b) Temas 10 cm bir makaslama ile sağlanması (ince mineral dolgu)</i>		
F: Kumlu parçalar, kilsiz ayrışmış kaya vb	4.0	25-30
G: Yüksek derecede aşırı konsolide yumuşamayan tip kil mineralli dolgu (5 mm'den ince, süreklili)	6.0	16-24
H: Orta veya az derecede aşırı konsolide kil, yumuşamayan tip kil mineralli dolgu (5 mm'den ince, süreklili)	8.0	12-16
J: Şişen killi dolgu, montmorillonit vb (5 mm'den ince, süreklili), Ja, şişen malzeme yüzdesine göre ve temas şartlarına göre değişir	8.0-12.0	6-12
<i>(c) Makaslama duvarla temas yok</i>		
K: Ayrışmış veya ezilmiş	6.0	-
L: Bölgeler, bantlar veya ufalanmış kaya veya kil	8.0	-
M: G,H ve J maddelerine bakınız	8.0-12.0	6-24
N: Siltli veya kumlu kil, az miktarda ince taneli malzeme, bölgesel veya bant şeklinde	5.0	-
O: Kalın, süreklili kil bölgeleri veya bantları (kil için)	10.0-13.0	6-24
P: G,H ve J maddelerine bakınız	13.0-20.0	6-24

Çizelge 13. Eklem suyu indirgeme faktörü puanları ve tanımları

5. Eklem suyu indirgeme faktörü	Jw	Su basıncı, MPa
A: Kuru kazı veya çok az su gelimi, (örn. 5.0 l/dk)	1.0	<0.1
B: Orta derecede su gelimi, eklem dolgularında yıkanma	0.66	0.1-0.25
C: Sağlam kayada fazla su gelimi ve basıncı, dolgunsuz eklemler	0.5	0.25-1.0
D: Fazla su gelimi ve basıncı, dolgularda belirgin yıkanma	0.33	0.25-1.0
E: Patlama aşamasında fazla su gelimi ve basıncı, zamanla azalacak şekilde	0.2-0.1	>1.0
F: Patlama aşamasında fazla su gelimi ve basıncı, zamanla azalma yok	0.1-0.05	>1.0

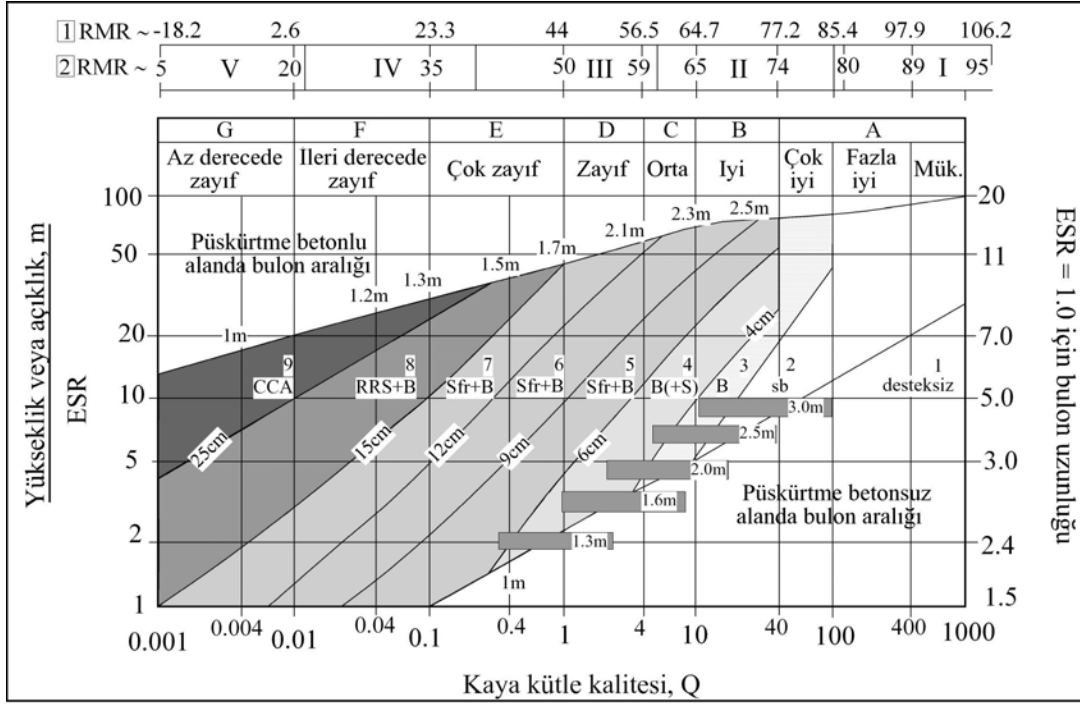
Çizelge 14. Gerilme azaltma faktörü puanları ve tanımları

6. Gerilme azaltma faktörü	SRF		
<i>(a) Tünel kazısı sırasında kaya kütlelerinde gevşeme oluşturabilecek ve kazıyı kesen zayıflık zonları</i>			
A: Killi zon oluşumları, çok zayıf çevre kayası (herhangi bir derinlikte)	10		
B: Kimyasal olarak parçalanmış veya killi tek zayıflık zonu içeren kaya ( kazı derinliği <50m)	5		
C: Kimyasal olarak parçalanmış veya killi tek zayıflık zonu içeren kaya ( kazı derinliği >50m)	2.5		
D: Sağlam kayada birçok makaslama zonu, zayıf çevre kayası (herhangi bir derinlikte)	7.5		
E: Sağlam kayada tek makaslama zonu, (kazı derinliği >50m)	5.0		
F: Sağlam kayada tek makaslama zonu, (kazı derinliği >50m)	2.5		
G: Gevşek, açık eklemler, yoğun eklemler (herhangi bir derinlikte)	5.0		
<i>(b) Sağlam kaya, kayada gerilme problemleri</i>			
H: Düşük gerilme, yüzeye yakın, açık eklemler	2.5	$\sigma_c/\sigma_1$	$\sigma_\theta/\sigma_c$
J: Orta gerilme, gerilme koşulları elverişli	1.0	>200	<0.01
K: Yüksek oranda gerilme, çok yakın yapı. Tünel duvarlarının stabilitesinde problemler olabilir	0.5-2.0	200-10	0.01-0.3
		10-5	0.3-0.4

Çizelge 14. Devam

L: Masif kayada 1 saat içinde orta derecede dilimlenme	5-50	5-3	0.5-0.65
M: Masif kayada birkaç dakika içinde kaya patlaması ve dilimlenme	50-200	3-2	0.65-1.0
N: Sağlam kayada yamulma şeklinde kaya patlaması ve ani dinamik deformasyon	200-400	<2	>1.0
(c) Sıkışan kaya: Yüksek gerilme altında yumuşayan kayanın plastik			
O: Orta derecede sıkıştıran kaya basıncı	5-10		1-5
P: Yüksek derecede sıkıştıran kaya basıncı	10-20		>5
(d) Şişen kaya: Su içeriğine bağlı olarak kimyasal şişme			
R: Düşük kaya basıncında şişme	5-10		
S: Yüksek kaya basıncında şişme	10-15		

Not : Etkin makaslama zonları kazıyla kesişmezse SRF değerleri %25-50 azaltılır.  $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$  ise,  $0.75\sigma_c$ ,  $\sigma_1/\sigma_3 > 10$  ise  $0.5\sigma_c$  kadar değer azaltılır. Tünelde tavan derinliği genişlikten az ise SRF 2.5'den 5'e artırılmalıdır. Kazı etkisinden kurtularak genelleştirme yapılabilmesi için SRF = 5, 2.5, 1.0 ve 0.5 değerlerinin artan derinlikle paralel kullanılması önerilir (örn. 0-5, 5-25, 25-250, >250 m)



Şekil 3. Tünel ve yeraltı açıklıkları için kalıcı destek ve güçlendirme sistemlerini tespit için Q- destek grafiği (Grimstad&Barton,1993)

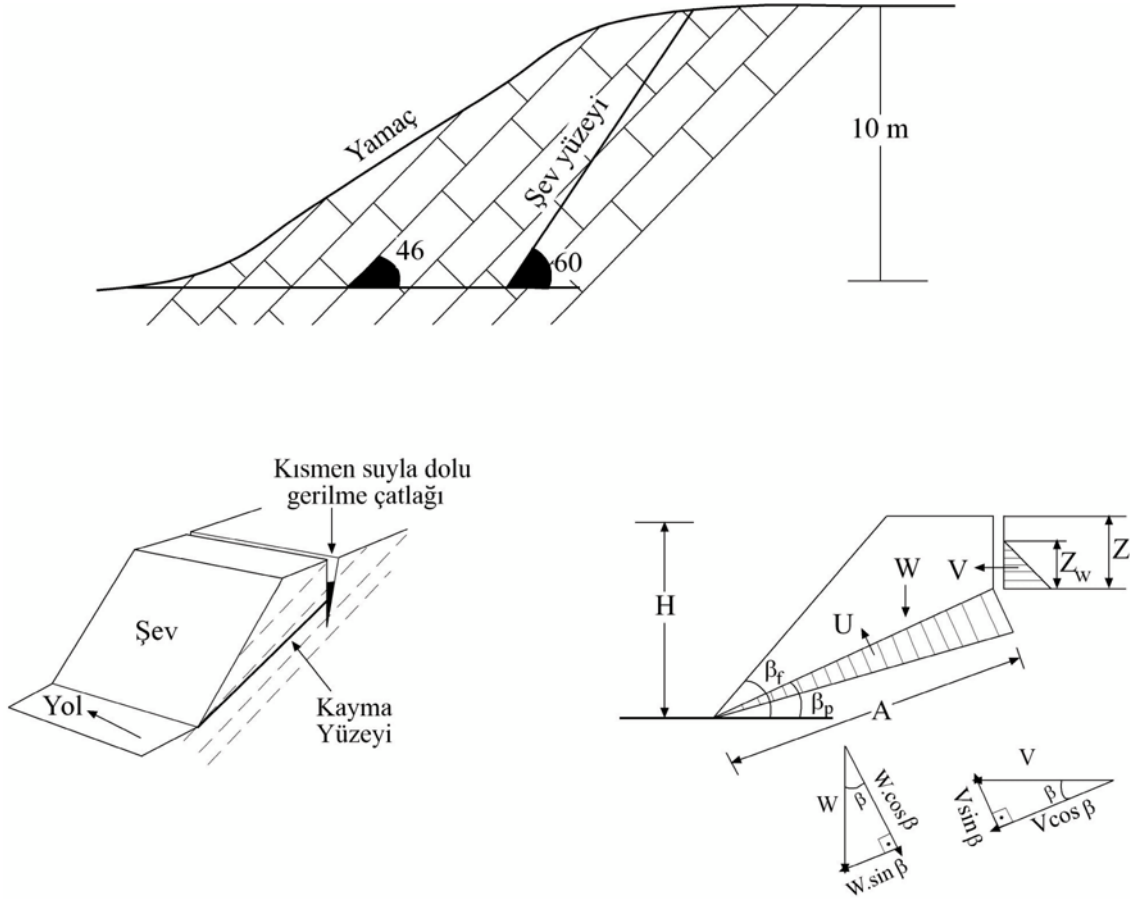
Q sistemi kaya kütle sınıfları (Barton ve Lien, 1974)

Q	Sınıf
<0.01	Son derece zayıf
0.01-0.1	Aşırı zayıf
0.1-1.0	Çok zayıf
1-4	Zayıf
4-10	Orta
10-40	İyi
40-100	Çok İyi
100-400	Aşırı İyi
>400	Son derece İyi

### JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması - 3

**Soru.** 10 metre yüksekliğinde ve  $60^\circ$  eğimli bir yol yarması açılacaktır. Yarmanın yapılacağı birim içerisinde yola paralel  $46^\circ$  yola doğru eğimli tabakalanmalar mevcuttur. Tabakalanma yüzeylerinin laboratuvar deneylerinde kohezyonu 34.5 kPa, içsel sürtünme açısı  $41^\circ$  ve yoğunluğu  $2800 \text{ kg/m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu verilere göre;

- Gerilme çatlığının olmadığı ve yeraltı su seviyesinin yol seviyesi altında bulunduğu durumda kayma yüzeyinin güvenlik sayısını hesaplayınız.
- Yol yarması açılırken patlayıcı kullanıldığı için kohezyonun sıfır olduğunu kabul ederek kayma düzleminin güvenlik sayısını hesaplayınız.
- Kohezyon sıfır iken güvenlik sayısını 1.5'a çıkarmak için gerekli kaya civatası dayanımını hesaplayınız. 1 metrelik kalınlık için kaç adet civata gereklidir (Kaya civataları çelikten yapılmış olup, en kesit alanı  $6.5 \text{ cm}^2$ ' dir. Çeliğin kayma dayanımı  $200 \text{ MPa}$ 'dır. Civatalar tabakalanma yüzeyine dik yerleştirilmiş ve gerdirme yoktur).
- Kaya civatalarının  $70 \text{ MPa}$ 'a gerdirilmesi halinde güvenlik sayısını hesaplayınız.
- Şev tepe noktasının 1.5 m gerisinde bulunan ve  $2/3$ ' si suyla dolu olan bir gerilme çatlığının bulunması durumunda diğer şıklarda istenenleri hesaplayınız.

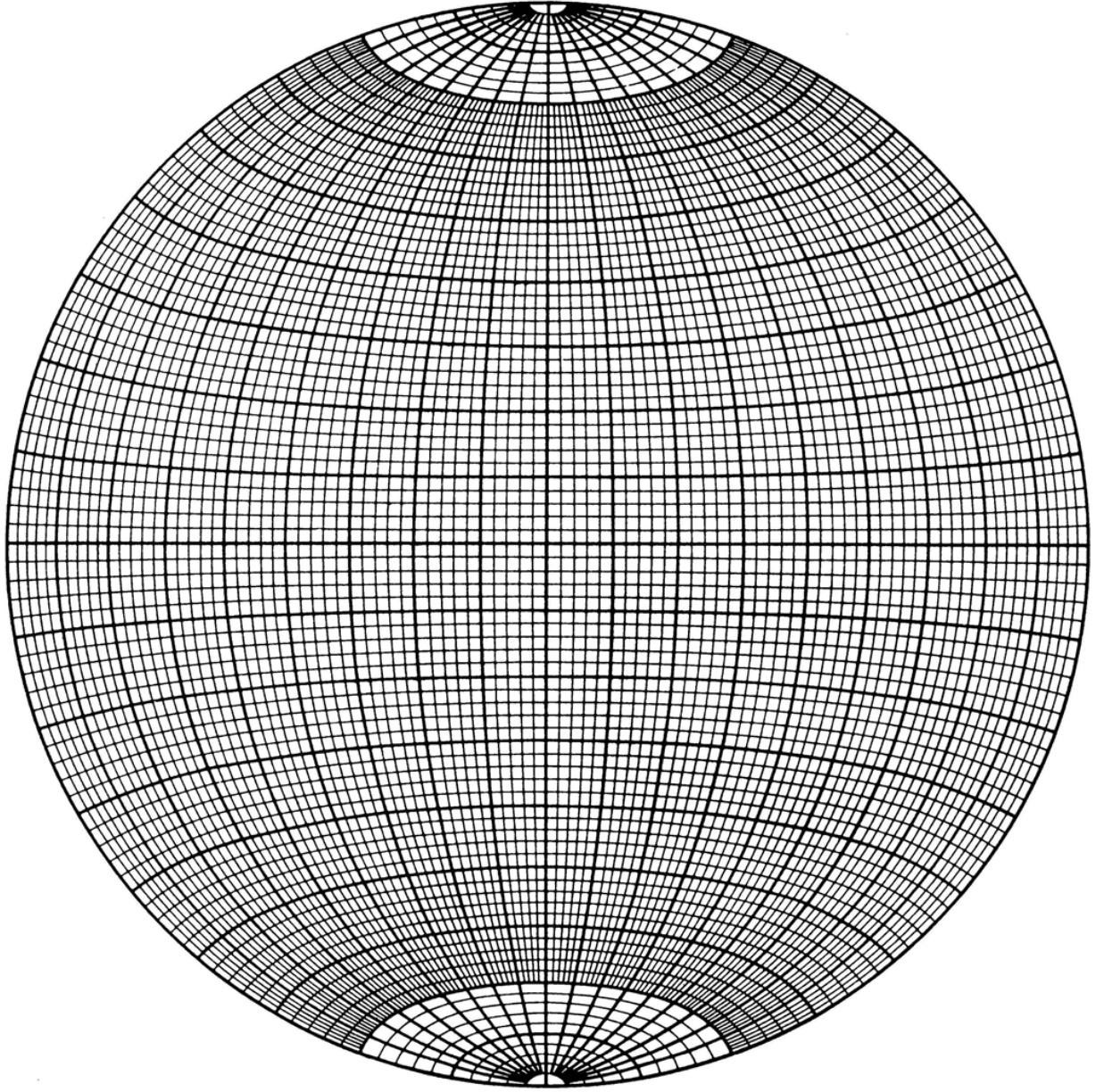


Şekil 4. Düzlemsel kayma ve şeve etkileyen kuvvetler (Hoek&Bray, 1977)

## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması - 4

### KİNEMATİK ANALİZ

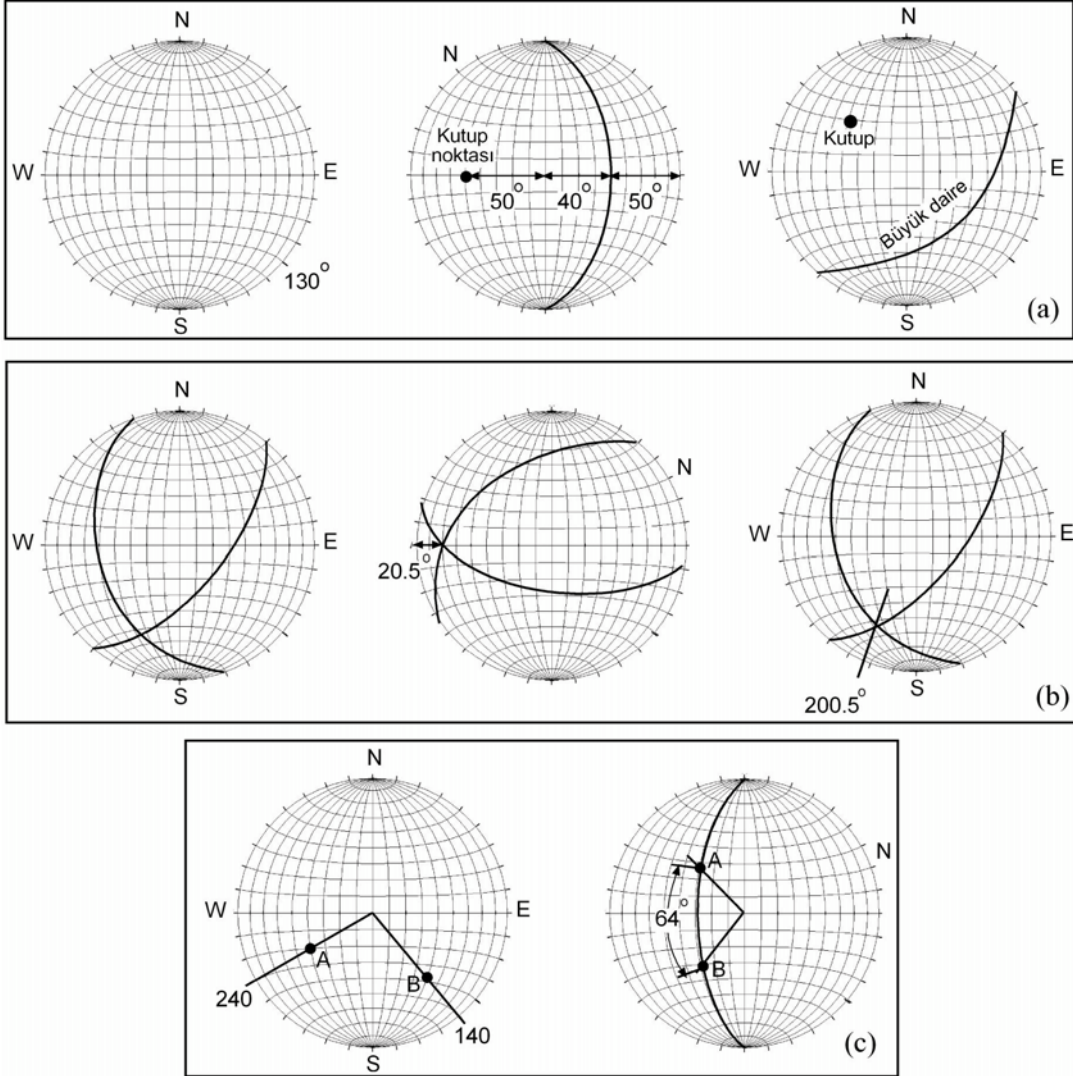
Kinematik kelimesi, kütlelerin kendilerine uygulanan kuvvetlerden bağımsız olarak hareketlerini kapsar. Çok zayıf dayanımlı bile olsa bazı kazılarda kaya kütlelerinin dengede olduğu (veya tersi) görülebilmektedir. Süreksizlik yöneliminin belirlenmesi mühendislik jeolojisinde kaya kütlesi sınıflaması, şev ve tünellerde önemli rol oynamaktadır. Jeolojik incelemelerde süreksizliklerin doğrultu (strike) ve eğimleri (dip) tercih edilirken, jeoteknik çalışmalarda veri toplamada kolaylık olması açısından eğim/ eğim yönü (dip/dip direction) kullanılır. Süreksizlik düzleminin yatay düzlemlerle yaptığı açı eğim, kuzey ile eğim çizgisinin yatay izdüşümü arasındaki açı ise eğim yönü olarak tanımlanır. Doğrultu ve eğimin birbirlerine dik olmasından yola çıkarak aralarında dönüşüm yapmak mümkündür. Eğim derecesi  $0^{\circ}$ - $89^{\circ}$  arasında değişirken eğim yönü ise  $0^{\circ}$ - $359^{\circ}$  arasında değişir. Kinematik analizde düzlemlerin üç boyuttaki konumu küresel izdüşüm ile iki boyutlu olarak gösterilebilir. Kürenin alt yarısında yapılan izdüşümlerde (lower hemisphere) düzlemler yay şeklini alır. Düzleme dik olacak şekilde merkez doğrusu ile (KG) küre yüzeyinin kesişme noktası "Kutup noktası (pole)" olarak adlandırılır. Uygulamada  $2^{\circ}$  aralıklı eş-alan stereoneti kullanılır (Şekil 5). Çok fazla sayıda alınan eğim veya doğrultu ölçümlerinin değerlendirilmesinde stereonet üzerinde kontur diyagramları hazırlanır. Bu sayede, hakim süreksizliklerin konumları ve büyük daireleri hakkında bilgi elde edilmiş olur. Şev stabilitesi incelenmesi, yeraltı açıklıklarında kama oluşumu gibi konularda bilgisayar programları kullanılarak (Dips, Swegde, vs.) uygulama ve yorum yapma imkanı vardır.



Şekil 5. Schmidt eş-alan stereonet (2° aralıklı)

### Stereonet Uygulamaları

- Eğim / Eğim yönü (dip/dip direction) verilen bir süreksizliğin stereonet üzerindeki konumu, kutup noktasını bulunması ve büyük dairesinin çizilmesi
- İki süreksizlik düzleminin kesişmesi ile oluşan arakesitin gidiş (trend) ve dalımı (plunge)
- İki kutup noktası arasındaki açının bulunması

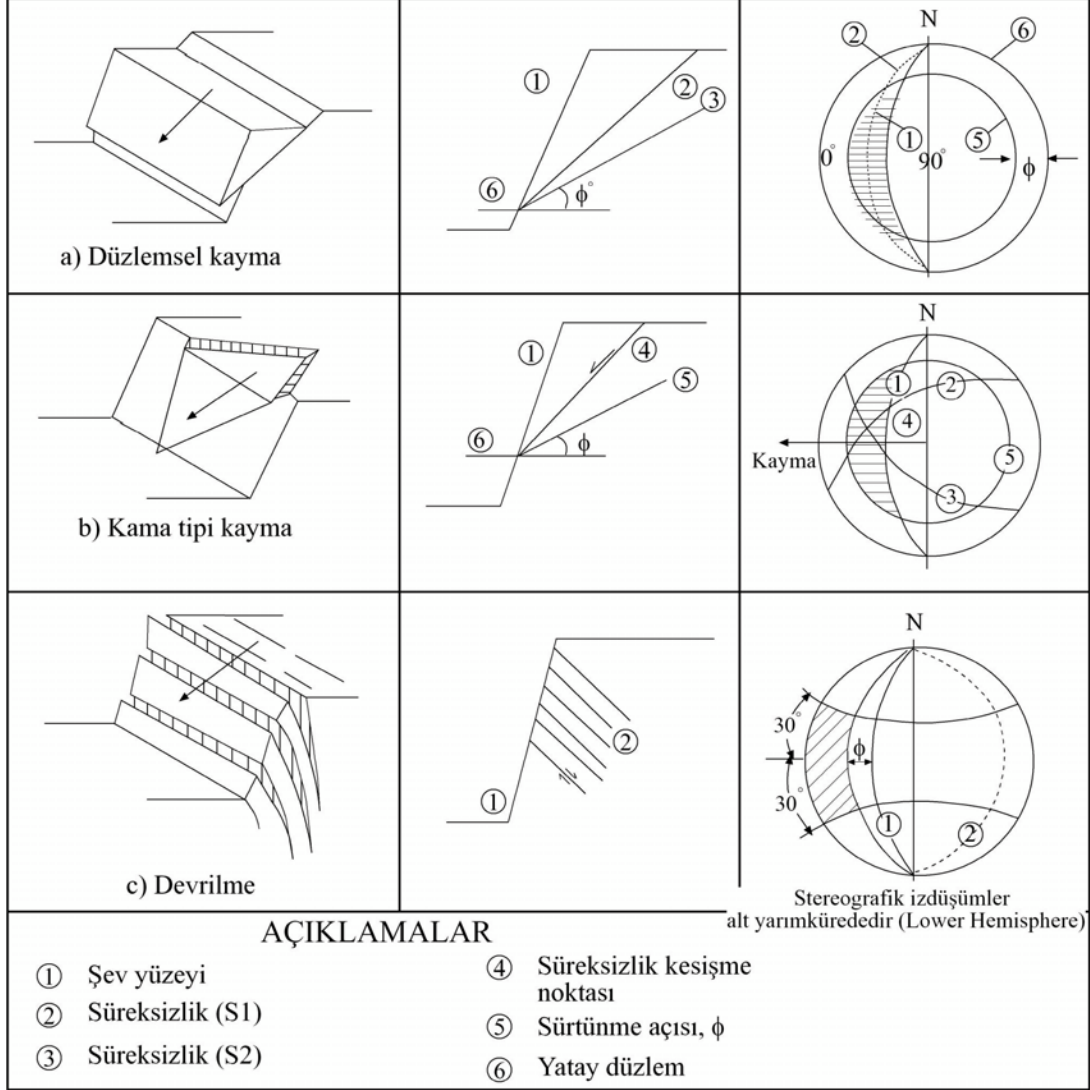


Şekil 6. Stereonet üzerinde süreksizliklerin gösterilişi

## ŞEV STABİLİTESİNDE KİNEMATİK ANALİZ

### a. Düzlemsel kayma

Şev eğiminin süreksizlik eğiminden büyük, süreksizliğin eğimini de içsel sürtünme açısından büyük olduğu durumda kinematik olarak düzlemsel kayma oluşur.



Şekil 7. Farklı şev yenilmeleri ve kinematik ifadeleri (Tarhan, 1989)



## DIPS PROGRAMI TEMEL İLKELER

DIPS programı jeolojik verilerin oryantasyona dayalı analizi için geliştirilmiş bir programdır. Özellikle stereonet üzerinde yapılan yapısal uygulamaların stereografik izdüşümlerinin bilgisayarda yapılabilmesine olanak vermektedir. Bunun yanında, kalitatif ve kantitatif oryantasyon hesaplamaları ve istatistiki uygulamalar ile kaya kütlesi yapısının mühendislik analizi, süreksizliklere bağlı şev stabilite analizi, sondaj kuyusu verisinin analizinin yapılması mümkündür. (*Dips Plotting, Analysis and Presentation of Structural Data Using Spherical Projection Techniques User's Guide, 1989 - 2002*

*Rocscience Inc.*). Programın ilk hali dos ortamında hazırlanmış olup, Dips 3.0 versiyonu ile upgrade edilmiştir. Son versiyonu olan Dips 5.1. ise windows tabanlı çalışmaktadır ve daha detaylı uygulamalar içerir.

### 2. Programın çalıştırılması

- Programın bulunduğu klasör içinde ".dip" uzantılı text dosyası oluşturulur. Text dosyasında ilk paragraftaki "header" kısmı proje bilgileri içerir.
- "dips.exe" dosyası çalıştırılır.
- Açılan pencereden "basic-B" veya "advanced-A" seçilir.

"Basic" versiyonunda süreksizliklerin konumları, kutup noktaları ve hakim düzlemlerin konumları belirlenebilir, "Advanced" versiyonunda ise bunların yanında kontur ve plot dağılımlarının Terzaghi düzeltmesi, sondaj kuyusu süreksizlik verisinin işlenmesi, histogram oluşturma, dosyayı kaydetme ve autocad (.dxf) olarak export seçenekleri bulunur.

### 3. Programın çalıştırılması

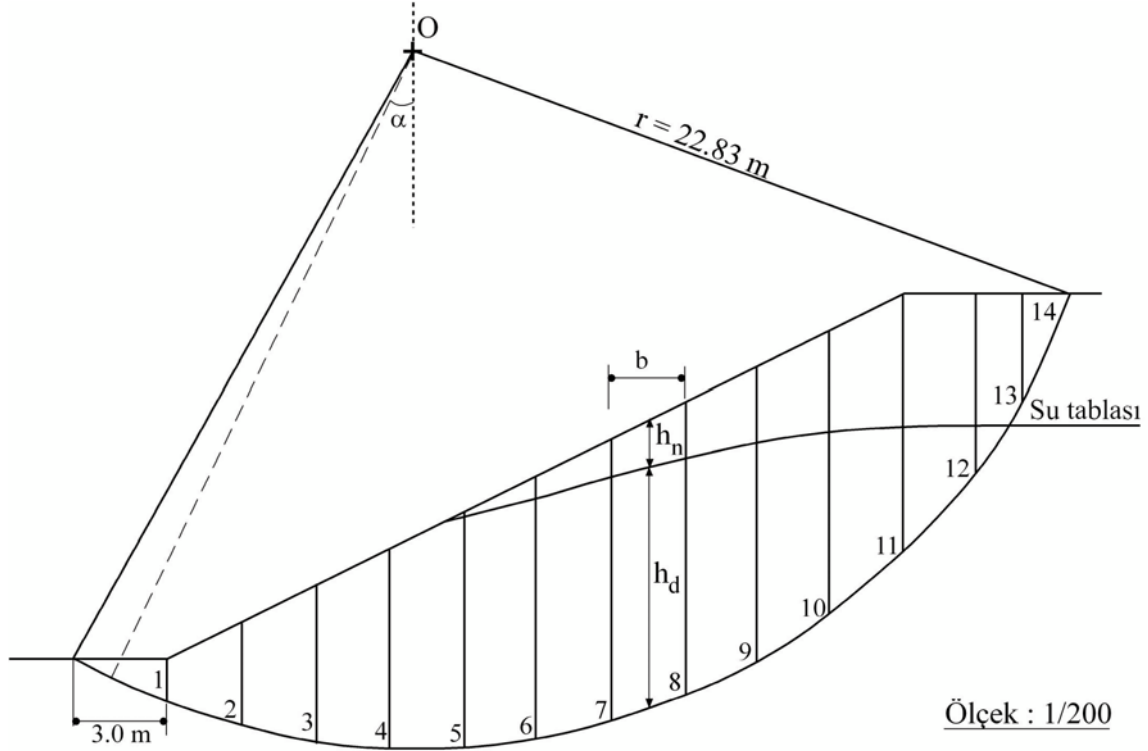
- Files, enter
- Load data file, enter
- jem302-uyg, enter
- Açılan pencerede dosyadaki hazır header bilgisi görüntülenir
- Compute (seçilmeden işlem yapılamaz)
- Scatter veya pole plot ile kutup noktalarının konumu görüntülenir
- Esc
- Contour plot ile kontur diyagramı oluşturulur, istenilirse line plot ile çizgisel görüntü elde edilir
- Locate pole ile kutup noktalarının yoğun olduğu bölgeye ait düzlem çizdirilir
- Id ve label(etiket) adı verilerek hakim süreksizlik seti özelleştirilir
- Hard copy ile çıktı için nihai görüntü elde edilir

4. <http://80.251.40.59/eng.ankara.edu.tr/ulamis/> 'dan dips dosyasını indirerek ... dosyasında uygulamayı yapınız, sonuçları mail ile [ulamis@ankara.edu.tr](mailto:ulamis@ankara.edu.tr) adresine gönderiniz.

## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması - 5

**Soru.** Şekilde geometrisi verilen şev ve kayma dairesi ve su tablasının konumunu da göz önüne alarak, şev için kaymaya karşı emniyet katsayısını Bishop metodu ile hesaplayınız. ( $c = 12 \text{ kN/m}^2$ ,  $\varphi = 24^\circ$ ,  $\gamma_n = 18,0 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_d = 19,0 \text{ kN/m}^3$ )

DİLİM METODU İLE EMNİYET KATSAYISININ HESAPLANMASI											
Dilim No	b (m)	$h_d$ (m)	$h_n$ (m)	W (kN)	$\alpha$ (derece)	$b/\cos \alpha$ (A)	$W \cdot \cos \alpha$	u (kPa)	u.A	$(W \cdot \cos \alpha) - (u \cdot A)$	$W \cdot \sin \alpha$
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
$\Sigma$											



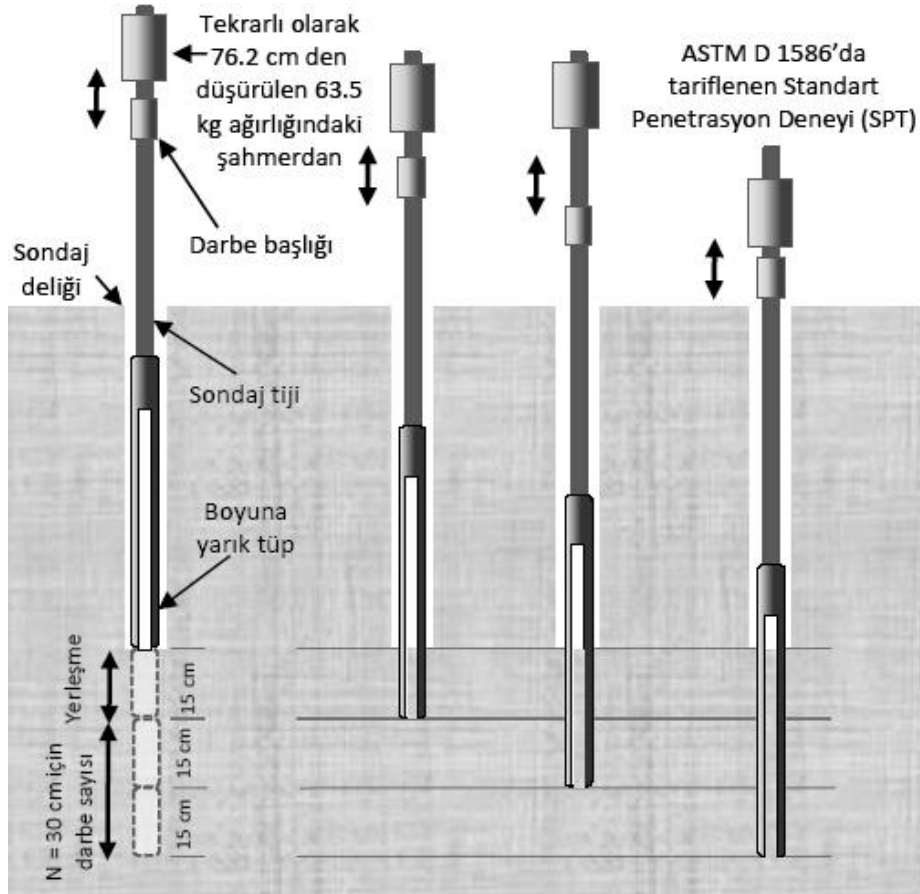
$$c \cdot \Sigma \frac{b}{\cos \alpha} + \Sigma \left[ (w \cdot \cos \alpha) - \left( u \cdot \frac{b}{\cos \alpha} \right) \right] \tan \varphi$$

$$GS = \frac{c \cdot \Sigma \frac{b}{\cos \alpha} + \Sigma \left[ (w \cdot \cos \alpha) - \left( u \cdot \frac{b}{\cos \alpha} \right) \right] \tan \varphi}{\Sigma W \cdot \sin \alpha}$$

## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması – 6

### Standard Penetrasyon Testi (SPT- ASTM D1586)

Arazide yapılan dinamik bir penetrasyon deneyidir. İnce taneli zeminlerde dayanım parametrelerine (kohezyon, içsel sürtünme açısı), iri tanelilerde ise zeminin izafi sıkılığına bağlıdır. Deney için kullanılan alete "penetrometre" denir. İki ucu açık, boylamasına iki yarım parçaya ayrılabilen silindirik çelik bir tüptür. Bu parçalar alt ucundan bir çarıkla, üst ucundan da birbirine ve tije bir halka ile bağlanır (Şekil 8). Tüpün iç çapı 35.5 mm, dış çapı 50.8 mm, toplam ağırlığı 6.81 kg, uzunluğu ise 81.3 cm dir. Tüp ile zemin içinde, 760 mm lik standart yükseklikten 65.0 kg lık şahmerdan serbest düşme ile bırakılarak ilerleme sağlanır. Tüpün zemine her 15.0 cm girmesi için gereken vuruş sayısı kaydedilir. Toplam 45.0 cm ilerleme yapılır. İlk 15.0 cm deki okuma oturma kademesi olarak alınır ve son iki kademedeki (30.0cm) toplam darbe sayısı zeminin penetrometre direnci (N) olarak alınır.



Şekil 8. Standart penetrasyon deney düzeneği

## SPT Düzeltmeleri

### 1.Yeraltı su seviyesi düzeltmesi

Yeraltı su seviyesinin altındaki temiz silt ve ince kum için SPT N değeri 15 den büyük ise Yeraltı su seviyesi düzeltmesi yapılmalıdır (Terzaghi, 1948).

### 2. Enerji oranı ( $C_E$ )

Şahmerdanın belirli bir yükseklikten serbest bırakılması esnasında, darbenin uygulandığı metal blok ve tijlere gelen enerji tam anlamı ile iletilmez (Skempton, 1986) .

Ülke – Şahmerdan Kullanım ER (%)

Japonya (Donut) Halat ve Makara 67

ABD (Safety) Halat ve Makara 60

\*Türkiye (Donut) Serbest Düşme 45

$N_{60}=N(ER/60)$  (Seed, vd., 1984)  $N_{60}$  = Düzeltilmiş SPT N darbe sayısı, ER= Enerji Oranı

### 3. Derinlik düzeltmesi ( $C_N$ )

$N_1=C_N.N$

$(N_1)_{60}=C_N.N_{60}$  %60 lık enerji oranı ve 1 kg/cm<sup>2</sup> lik örtü yükü basıncı kullanılır.

$C_N = [1-1,25 \log_{10} \sigma_v']$  ( $\sigma_v'$  -ton/ft<sup>2</sup>) (Seed, 1976)

$C_N = 1,7 / [0,7+\sigma_v']$  ( $\sigma_v'$  - kg/cm<sup>2</sup>) (Tokimatsu ve Yoshimi, 1983)

$C_N = [1/\sigma_v']^{0,5}$  ( $\sigma_v'$  - kg/cm<sup>2</sup>) (Liao ve Whitman, 1986)

Örtü yükü <100 kPa (1 kg/cm<sup>2</sup>) ise derinlik düzeltmesi uygulanmaz

### 4. Ekipman düzeltmesi

Faktör	Özellik	Skempton (1986)	Bowles (1996)	McGregor, Duncan (1998)
Tij uzunluğu ( $C_R$ )	>30 m	1	1	1
	10-30 m	1	1	1
	6-10 m	0.95	0.95	1
	4-6 m	0.85	0.85	1
	3-4 m	0.75	0.75	1
	0-3 m	0.75	0.75	0.75
Tüp ( $C_s$ )	Astarsız	1.2	1.0	-
	Astarlı (Kum)	1.0	0.9	-
	Astarlı (Kil)	1.0	0.8	-
Kuyu çapı ( $C_B$ )	60-120 mm	1	1	-
	150 mm	1.05	1.05	-
	200 mm	1.15	1.15	-
Darbe vuruş hızı, $C_{BF}$	<20 ve 10-20 darbe/dk	-	-	0.95
	>20 ve 10-20 darbe/dk	-	-	1.05

Düzeltilmiş nihai darbe adedi

$$(N_1)_{60} = N \times C_E \times C_B \times C_S \times C_R \times C_{BF}$$

Çizelge. SPT darbe adedine göre zeminlerin kıvam ve sıklığı  
(Peck, vd. 1974)

SPT N	Sıklık (İri)	SPT N	Kıvam (İnce)
0-4	Çok gevşek	2	Çok yumuşak
4-10	Gevşek	2-4	Yumuşak
10-30	Orta sıkı	4-8	Orta sert
30-50	Sıkı	8-15	Sert
>50	Çok sıkı	15-30	Çok sert
		>30	Katı

Çizelge. SPT darbe adedine göre zeminlerin yaklaşık içsel sürtünme açısı, kohezyonu ve tek eksenli basınç dayanımı  
(Peck, vd. 1974)

SPT-N	İzafi sıklık	Aralık	$\phi$ (°)
0-4	Çok gevşek	0-15	< 28
4-10	Gevşek	15-35	28-30
10-30	Orta sıkı	35-65	30-36
30-50	Sıkı	65-85	36-41
> 50	Çok sıkı	85-100	> 41
SPT-N	Kıvam	c (kPa)	qu (kPa)
0-2	Çok yumuşak	< 1/8	< 25
2-4	Yumuşak	1/8-1/4	25-50
4-8	Orta katı	1/4-1/2	50-100
8-15	Katı	1/2-1	100-200
15-30	Çok katı	1-2	200-400
> 30	Sert	>2	> 400

**Soru.** Kumlu bir zeminde yapılan 5 metrelik deneme sondajında yapılan Standart Penetrasyon Testi'nde 4.50-4.95 m arasında 10/12/24 darbe adetleri elde edilmiştir. Zeminin doğal birim ağırlığı  $18 \text{ kN/m}^3$ , doygun birim ağırlığı  $19 \text{ kN/m}^3$  olup, yeraltı suyu seviyesi 2.5 m' dir (ST üstü doğal halde). Bu verilere göre, bu deneyde elde edilecek düzeltilmiş nihai darbe direncini hesaplayarak, zeminin sıklığı ve relatif sıklığı hakkında bilgi veriniz (Zemin profilini çiziniz, ölçeksiz) Kuyu çapı 100 mm, astarsız örnek alıcı kullanılmış olup, donut tipi şahmerdan ile deney gerçekleştirilmiştir.

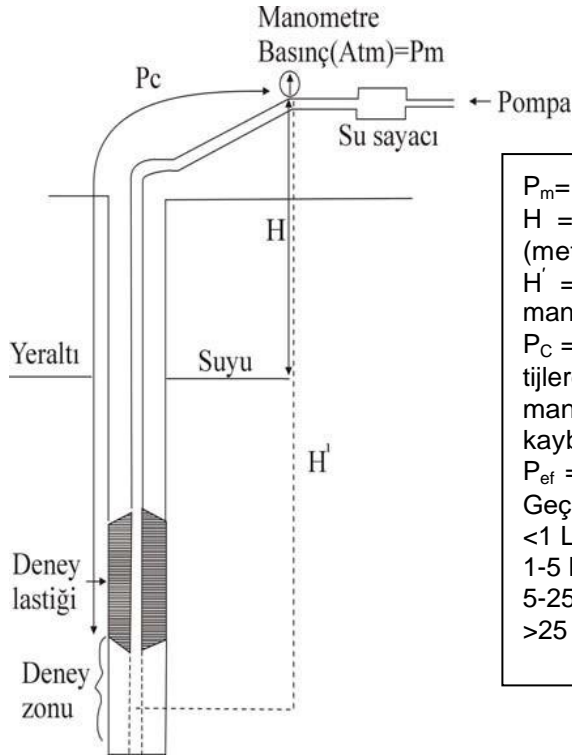
## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması - 7

**Soru.** Bir lugeon basınçlı su deneyinde 95-100 metrelik deney zonunda deneme yapılmış olup, manometrenin kuyu ağzından yüksekliği 2 metredir.

- Kuyu yeraltı suyu seviyesine ulaşmamıştır
- Yeraltı suyu seviyesi kuyu ağzından 28 metre derindedir

Manometrik Basınç $P_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deney Süresi, Dakika	Su Kaçağı (Litre)	Statik Yük	Yük Kaybı	Gerçek Basınç	Emilme Katsayısı
2	10	200				
4	10	300				
6	10	400				
8	10	600				
10	10	800				
8	10	650				
6	10	500				
4	10	350				
2	10	250				

\*Yük kaybı saptamasında 42x3000 m/m lik 100 m. uzunluğundaki tij eğrisinden yararlanınız.

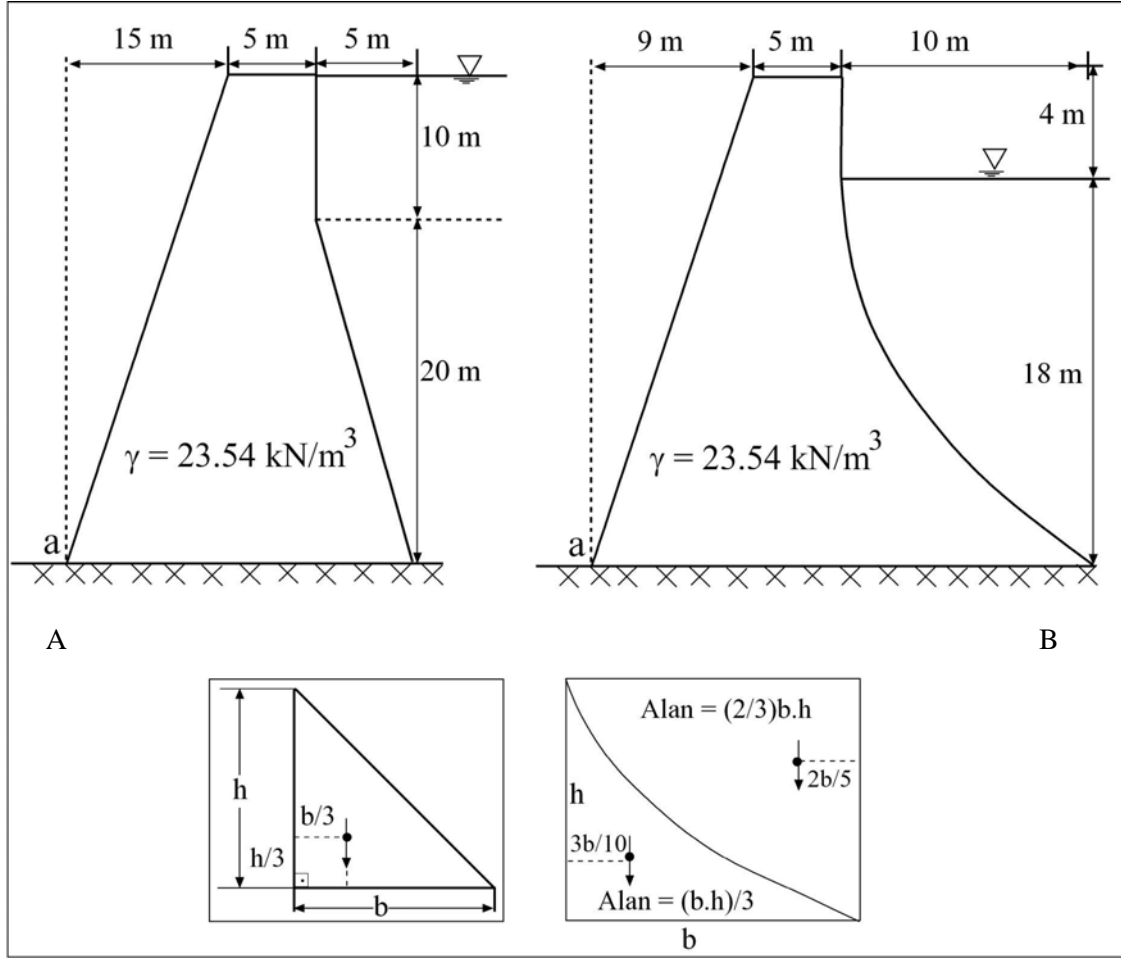


$P_m$  = Manometrede okunan basınç(atm)  
 $H$  = Yeraltısuyundan manometreye kadar olan mesafe (metre)  
 $H'$  = Yeraltısuyu yoksa deney zonunun ortasından manometreye kadar olan mesafe(metre)  
 $P_c$  = Manometre ile deney zonu arasındaki lastikte, tijlerde, bağlantı yerlerinde, vanalarda, manometreden sonraki borularda meydana gelen yük kaybı.  
 $P_{ef}$  = Deney zonundaki basınç.  
 Geçirimlilik Sınıflaması  
 <1 Lugeon Geçirimsiz  
 1-5 Lugeon Az Geçirimli  
 5-25 Lugeon Geçirimli  
 >25 Lugeon Çok Geçirimli

$$P_{ef} = [P_m + (H/10) - P_c]$$

$$P_{ef} = P_m + (H'/10) - P_c]$$

## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması - 8



- 1) Yukarıdaki şekilde A'da verilen beton barajın serbest cisim diyagramını çiziniz (Ölçek 1/200)
- 2) Hidrostatik kuvvetler etkisi ile "a" noktası etrafında dönme meydana gelir mi, irdeleyiniz. Devrilmeye karşı güvenlik sayısını hesaplayınız.
- 3) Baraj gövdesi ile temel arasındaki sürtünme katsayısı 0,3 alındığında sürtünme kuvvetinin gövdenin kaymasını engelleyecek büyüklükte olup olmadığını tartışarak güvenlik sayısını hesaplayınız.
- 4) Baraj gövdesine olası bir depremde  $a_{\max} = 200 \text{ gal}$  (0,2 g) büyüklükte yatay yer ivmesi etki etmesi durumunda a noktasında devrilmeye karşı güvenlik sayısını hesaplayınız.
- 5) İlk 4 maddede istenenleri "B" deki baraj gövdesi için hesaplayınız.

### JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması – 9

**Soru.** Kalınlığı 30 m olan serbest bir akiferde aralarında 50 m bulunan iki pompaj kuyusunda aynı anda 144 m<sup>3</sup>/saat'lik debi ile pompaj yapılmaktadır. Kuyuların çapı 0,36 m, su tablası derinliği 4,0 m, akiferin depolam gücü %2,0 ve iletimliliği  $3,5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s olduğuna göre tranzituar şartlar devam ederken 24 saat pompaj sonucu kuyularda ve bu kuyulardan 5,10, 20, 50, 100, 120 ve 150 metre uzaklıkta düşümleri hesaplayarak oluşacak nihai düşüm konisini çiziniz (Yatay ölçek: 1/1000, Düşey ölçek 1/200).

r (m)	Δ (m)
0,18	12,59
5,0	6,55
10,0	5,29
20,0	4,03
50,0	2,37
100,0	1,11
120,0	0,78
150,0	0,37

$$t = 24 \text{ saat (86400 s)}$$

$$Q = 144 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$H = 30$$

$$x = 50 \text{ m}$$

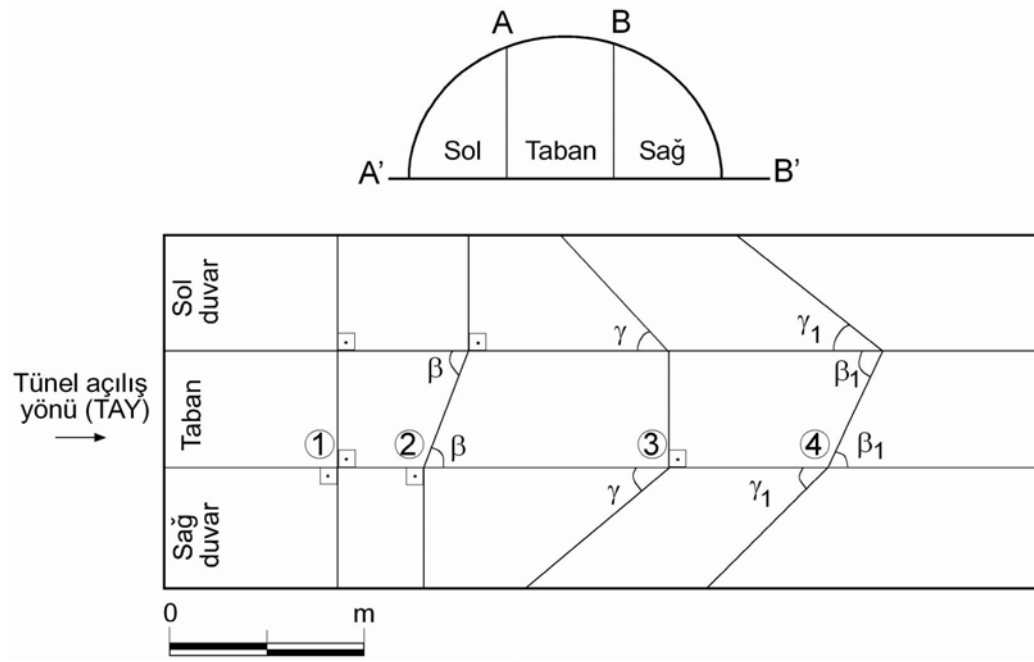
$$2r = 0,36 \text{ m}$$

$$S = \%2$$

$$T = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$



## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması – 10



$$\tan \gamma = \tan \alpha \cdot \sin \beta$$

$\gamma$  : Görünür eğim açısı

$\alpha$  : Gerçek eğim açısı

$\beta$  : Doğrultu

1. Düzlem : Tünel eksenine dik doğrultudaki düşey düzlem
2. Düzlem : Tünel eksenine  $\beta$  açısı yapan düşey düzlem
3. Düzlem : Tünel eksenine dik doğrultuda, tünel açılış yönünde  $\alpha$  açısıyla eğimli düzlem
4. Düzlem : Tünel eksenine  $\beta_1$  açısı yapan, tünel açılış yönüne  $\alpha_1$  eğimli düzlem

**Soru** : K30D doğrultusunda GB' ya doğru açılmakta olan bir tünelin tabanı 10m, yan duvarları ise 8 m'dir. Tünel açılış yönünde tespit edilen birimler, süreksizlikler ve düzlemlerin konumları aşağıda verilmiştir. 52 m uzunluklu tünelin 1/200 ölçekli kesitini çizerek düzlemleri gösteriniz.

**Sağ qiristen uzaklık**

0-4 m

4. metre

4-24 m

18. metre

24. metre

24-42 m

42. metre

42-52 m

50. metre

**Birim**

Marn

Normal fay

Kireçtaşı

Karstik boşluk (1 m)

Ters fay

Şist

Tabakalanma

Şistozite

Dokanak

Granit

Diyabaz dike

**Doğrultu /**

K38B / 60 KD

K60B / 63 KD

K75D / 45 KB

K82D / 90

K29B / 70 GB

K49B / 54 KD

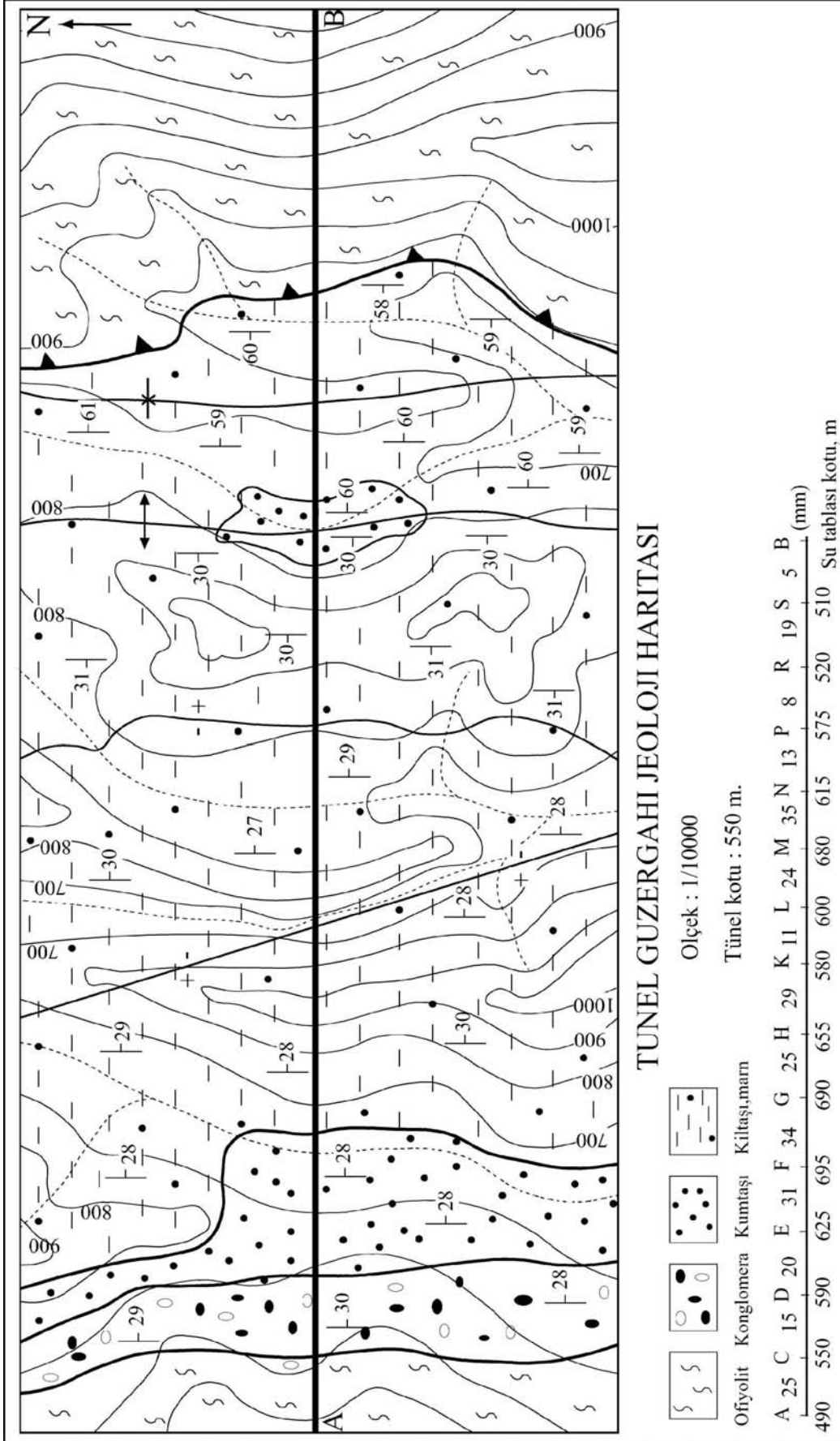
K63D / 75 GD

K49B / 54 KD

-

K71B / 65 GB

## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması - 11



## JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulaması - 12

**Soru :** Aşağıdaki çizelgede herhangi bir bölgeden alınan 31 yıllık süredeki deprem büyüklükleri ve oluşum sayıları verilmiştir.

- a) Bölgenin Gutenberg-Richter bağıntısını elde ediniz
- b)  $M= 6.0, 7.0$  ve  $8.0$  depremlerin tekerrür (tekrarlanma) aralıklarını hesaplayınız
- c) 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür aralıklarına karşılık gelen deprem büyüklüklerini hesaplayınız.

Büyüklük aralığı	Oluşum	Kümülatif oluşum	Yıllık kümülatif oluşum sayısı
2.0-2.2	877		
2.2-2.4	345		
2.4-2.6	742		
2.6-2.8	2339		
2.8-3.0	1434		
3.0-3.2	2792		
3.2-3.4	1301		
3.4-3.6	1549		
3.6-3.8	676		
3.8-4.0	514		
4.0-4.2	830		
4.2-4.4	287		
4.4-4.6	366		
4.6-4.8	140		
4.8-5.0	67		
5.0-5.2	99		
5.2-5.4	35		
5.4-5.6	41		
5.6-5.8	16		
5.8-6.0	11		
6.0-6.2	14		
6.2-6.4	5		
6.4-6.6	6		
6.6-6.8	0		
6.8-7.0	3		
7.0-7.2	1		
7.2-7.4	1		
7.4-7.6	0		
7.6-7.8	1		

**KAYNAKLAR**

- ASTM D1586-99, 1988. Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils. American Society for Testing and Materials (ASTM), Soil and Rock, Building stones. Section 4, V. 04,08.
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of rock support. *Rock Mechanics* 6, 1974, pp. 189-236.
- Barton N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design, *IJRM & Mining Sciences* 39 (2002) 185–216
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Trans. S. African Instn. Civ. Engrs.*, Vol. 15, No 12, Dec. 1973, pp 335 - 344.
- Bieniawski, Z.T., 1974. Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling. *Proc. Third Int. Congress on Rock Mechanics, ISRM, Denver 1974*, pp.27-32
- Bieniawski Z.T., 1976. Rock mass classifications in rock engineering. *Proceedings Symposium on Exploration for Rock Engineering*; ed. Z.T. Bieniawski A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 97-106.
- Bieniawski Z.T., 1989. *Engineering rock mass classifications*. John Wiley & Sons, New York, 251p.
- Bishop, A. W., 1955. The use of slip circle in the stability analysis of earth slopes. *Geotechnique*,5(1), 7-17.
- Deere D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes. *Felsmechanik und Ingenieurgeologie*, 1, 16-22.
- Deere, D.U and Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties of rock. *Air Force Weapons Laboratory, Albuquerque* .
- Grimstad E. and Barton N., 1993. Updating the Q-system for NMT. *Proc. Int. Symp. on Sprayed Concrete, Fagernes, Norway, 1993. Norwegian Conc.Ass, Oslo*,20 pp.
- Hoek, E. And Bray, J.W., 1977. *Rock slope engineering*. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. *Rock characterisation, Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods*. Pergamon Press, Oxford, E.T. Brown (ed), 2119. Lugeon, M., 1933. *Barrages et Geologie, methods de recherches terrassement et impermeabilisation*. Litraire des Université.
- Liao, S.S.C. & Whitman, R.V., 1986b. *Catalogue of liquefaction and non-liquefaction occurrences during earthquakes*. Report to Department of Civil Engineering, MIT/Cambridge-Mass.
- Peck R. B., Hanson W. E., Thornburn T. H., 1974. *Foundation Engineering*. JW&Sons, NY
- Terzaghi, K. Peck, R. B., 1948. "Soil Mechanics in Engineering Practice," John Wiley & Sons, NY.
- Tokimatsu, K., & Yoshimi, Y., 1983. Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content. *Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* 23(4), 56–74.
- Ünal, E., 1983. *Design guidelines and roof control standarts for coal mine roofs*. PhD. Thesis, Penn State University, University Park, 355 pp.