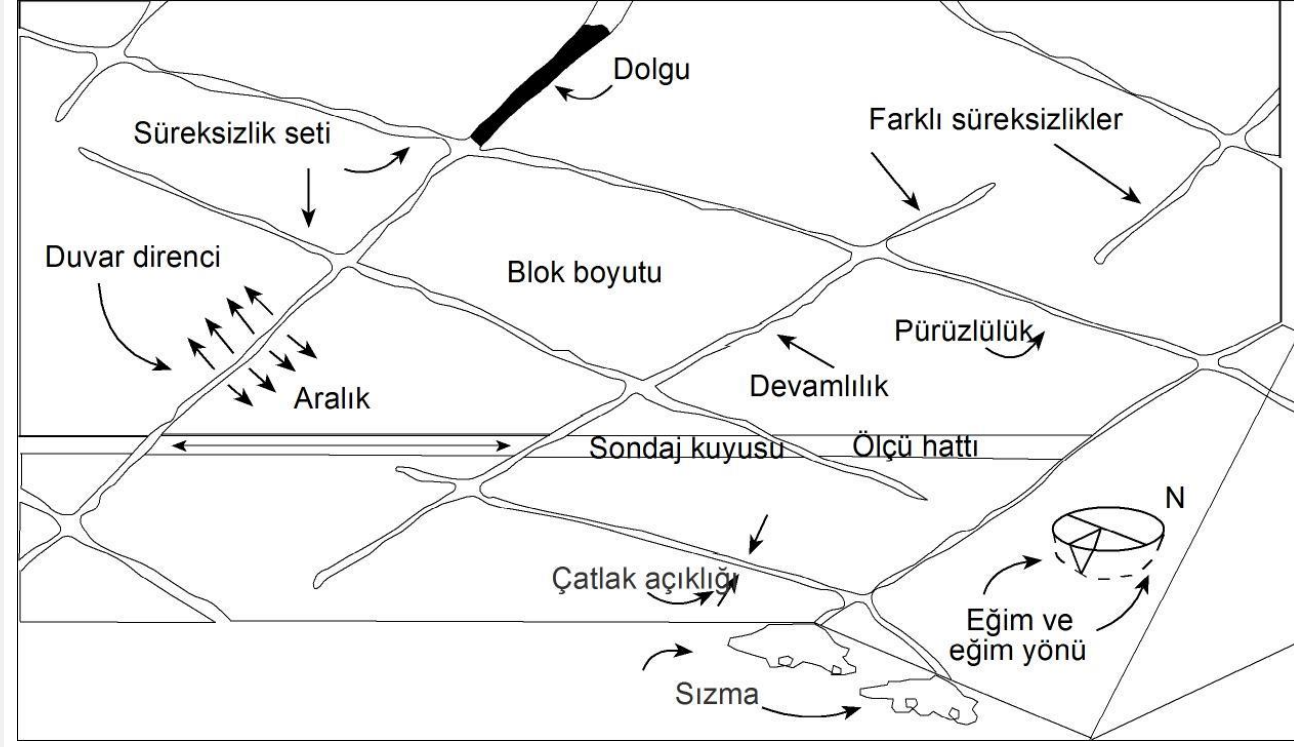
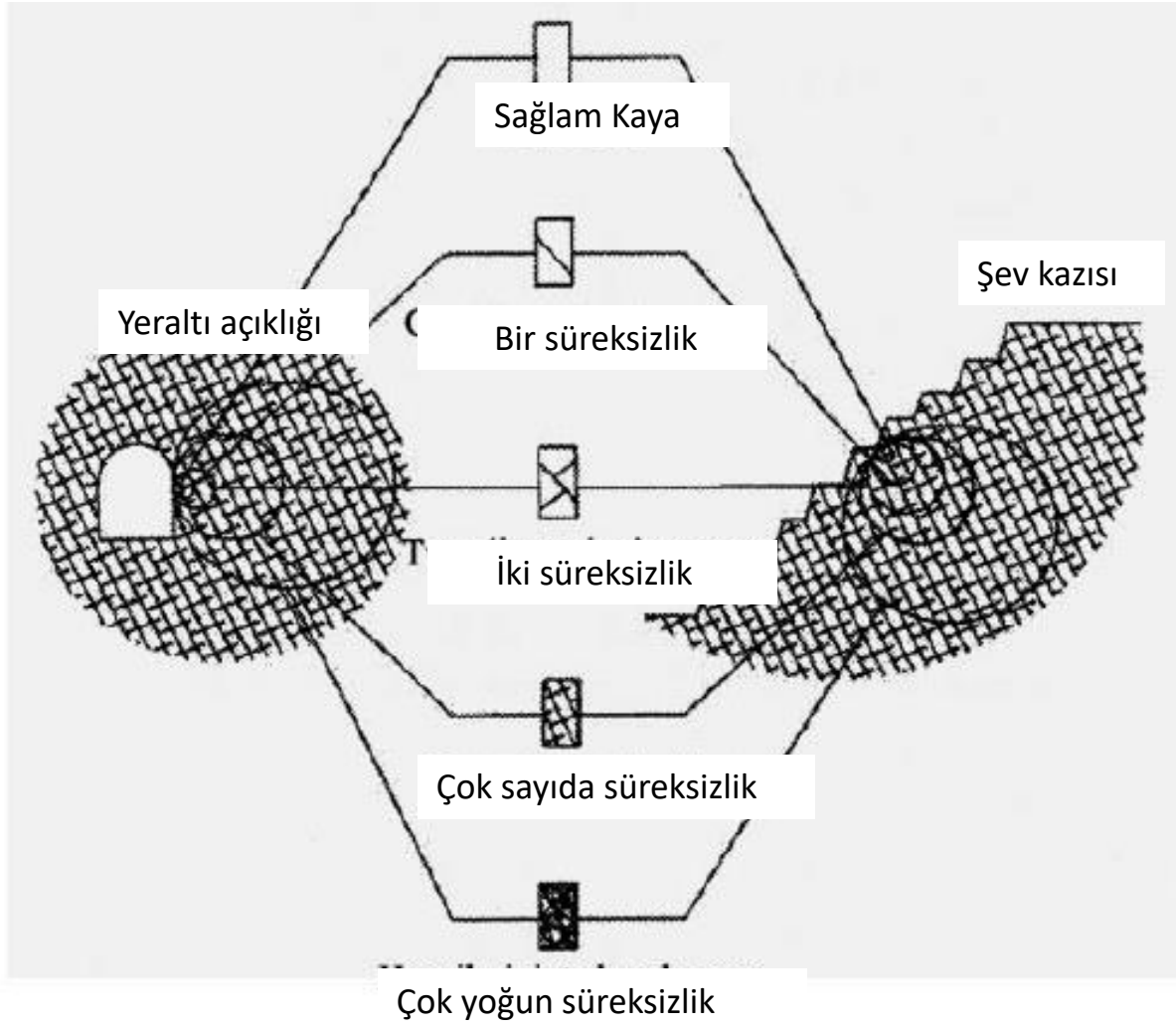


JFM 319 Mühendislik Jeolojisi

Kaya Kütlesi
Süreksizlik Karakteristikleri
Kaya Kütle Sınıflamaları



Süreksizlik Karakteristikleri

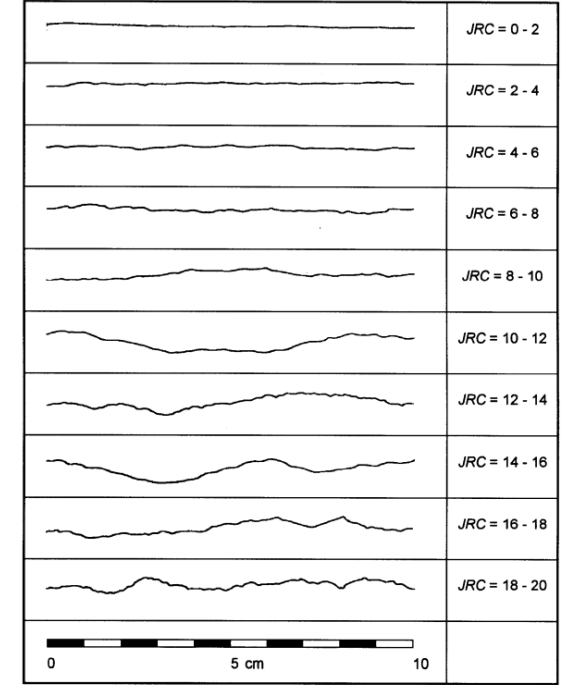
Aralık

Aralık, mm	Tanım
< 20	Çok dar aralıklı
20-60	Dar aralıklı
60-200	Yakın derecede aralıklı
200-600	Orta derecede aralıklı
600-2000	Geniş aralıklı
2000-6000	Çok geniş aralıklı
>6000	İleri derecede geniş aralıklı

Devamlılık

Süreksizlik uzunluğu, m	Tanım
< 1	Çok düşük devamlılık
1-3	Düşük devamlılık
3-10	Orta derecede devamlılık
10-20	Yüksek devamlılık
>20	Çok yüksek devamlılık

Pürüzlülük



Açıklık

Açıklık, mm	Tanım	
<0.1	Çok sıkı	Kapalı yapılar
0.1-0.25	Sıkı	
0.25-0.50	Kısmen açık	
0.50-2.5	Açık	Boşluklu yapılar
2.5-10	Orta derecede geniş	
>10	Geniş	
10-100	Çok geniş	Açık yapılar
100-1000	Aşırı geniş	
>1000	Boşluklu	

Blok Verimi, Hacimsel Süreksizlik Adedi

J_v	Tanım	Tanım
<0.3	Çok fazla düşük	Masif
0.3-1.0	Çok düşük	Çok az süreksizlik
1.0-3.0	Düşük	Az süreksizlik
3-10	Orta derecede yüksek	Orta derecede süreksizlik
10-30	Yüksek	Çok sayıda süreksizlik
30-100	Çok yüksek	Çok fazla süreksizlik
>100	Çok fazla yüksek	Parçalanmış

Yönelim (Eğim ve Doğrultu)



Altındağ, Cindersi Andezit Kütlesi İçinde Şeve Paralel Düzlemler

Ayrışma ve Bozunma



Altındağ, Cindersi Andezitler İçinde Ayrışma/Bozunma Görülen Kesimler

Makaslama, Ezilme Zonları



İzmir, Bayraklı Andezit-Aglomera Kütlesinde Farklı Yönelimdeki Süreksizlikler ile Makaslama

Su Tutma ve İletme Kapasitesi



Ankara , Keçiören Selçuklu Caddesi Dasitlerde Soğuma Çatlaklarının Konumu



Bitlis-Hizan Şistlerinde Makaslama Zonu ve Deformasyon



Terzaghi Kaya Yüklü Sınıflaması (1946)

Çizelge 2.1 Çelik iksalı tüneller için kaya yükü sınıflaması (Terzaghi, 1946)

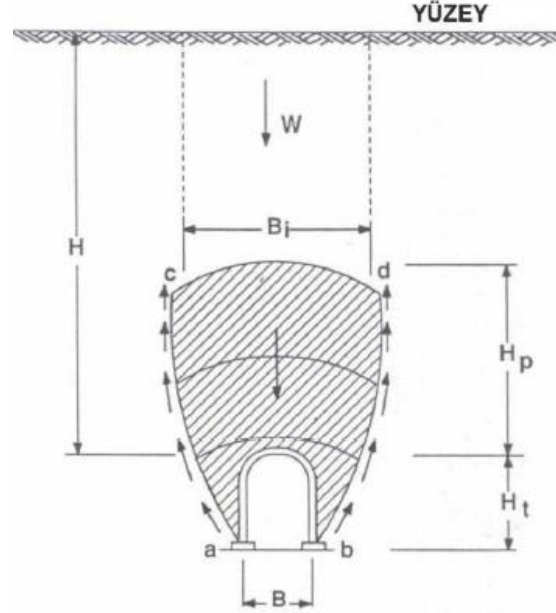
Tünelde, destek üstündeki kaya yükü H_p (ft), tünel genişliği B (ft) ve yükseklik H_t , $1.5 (B + H_t)^{1/2}$ den daha derinde ise.

Kaya Sınıfı	Kaya Yükü H_p (feet)	Açıklama
1 Sağlam ve çatlaksız	0	Eğer kavlaklanma ve patlama oluyorsa, sadece hafif kaplama gereklidir.
2 Sağlam tabakalı veya şistozite yüzeyli ²	0 - 0.5B	Kavlaklanmaya karşı koruyucu önlem olarak hafif destek.
3 Masif, orta derecede eklemli	0 - 0.25B	Yük, bir noktadan diğerine ani olarak değişebilir.
4 Orta derecede bloklu ve çatlaklı	0.25B - 0.35 (B + H_t)	Yan basınç yok.
5 Çok bloklu ve çatlaklı	0.35B - 1.10 (B + H_t)	Yan basınç yok veya çok az.
6 Tamamen parçalanmış, ancak kimyasal yönden ayrılmamış	1.10 (B + H_t)	Önemli miktarda yan basınç. Tünelin tabanına doğru sızıntı etkisiyle yumuşama, ya iksaların alt bitiş kısmı için destek uzatılır yada dairesel iksa.
7 Sıkışabilen Kaya (orta derinlikte)	(1.10 - 2.10) (B + H_t)	Çok fazla yan basınç, kaplama gerekir. Dairesel destek önemlidir.
8 Sıkışabilen Kaya (çok derinde)	(2.10 - 4.50) (B + H_t)	
9 Şişen Kaya	(B + H_t) değeri ne olursa olsun 250 ft.'e kadar	Dairesel destek gereklidir. Daha kötü durumlarda esnek destek kullanılır.

¹ - Tünel tavanının su tablası altında kaldığı varsayılır, eğer kalıcı olarak su tablası üstündeyse, 4 den 6 ya kadar olan değerler %50 oranında düşürülebilir.

² - Birçok yaygın kaya formasyonu şeyil katmanları içerir. Bozunmamış koşullarda, gerçek şeyiller diğer tabakalı kayalardan kötü değildir. Ancak, şeyil terimi henüz kaya özelliği kazanmamış kil sedimanları için kullanılmıştır. Bu sözde şeyil tünellerde sıkışan veya hatta şişen kayalar gibi davranır.

Eğer kaya formasyonu birbirini izleyen yatay tabakalar şeklinde kumtaşı veya kireçtaşı ve pekişmemiş şeyil içeriyorsa, tünel kazısı, genelde tünelin her iki kenarını aşamalı sıkıştıran tavanın aşağı doğru olan hareketi ile bağlantılıdır. Ayrıca, sözde şeyil ve kaya arasındaki sınırdaki kaymaya karşı oldukça düşük olan direnç, tavan üzerindeki kemerde bulunan kayada muhtemelen önemli ölçüde azalır. Bu yüzden, böyle formasyonlarda tavan basıncı, oldukça bloklu ve çatlaklı kayalardan daha ağır olabilir.



Terzaghi, Kaya yükü faktöründen H_p , düşey destek basıncını sağlaması için aşağıdaki eşitliği ortaya atmıştır.

$$P_h = \gamma \cdot H_p \quad (2.1)$$

Burada, p_h destek basıncı, γ kaya kütlelerinin birim hacim ağırlığı ve H_p ise tünel tavanı üzerindeki gevşemiş kaya kütlelerinin yüksekliğidir.

Örnek: Kaya yükü tahmininde kaya sınıfının etkisini göstermek için, genişliği $B = 4.6m$, yüksekliği $H_t = 4.6m$ ve birim hacim ağırlığı 2.24 ton/m^3 olan granitin içinde açılacak tünelin tavan desdeği üzerindeki yükler hesaplanırsa,

Buna göre en az ve en fazla destek basınçları;

3. sınıf - Orta derecede eklemli kaya kütlelerinde;

$$H_{p \min} \text{ için, } 0 \text{ ton/m}^3$$

$$H_{p \max} \text{ için } 0.25B \Rightarrow 0.25 * 4.6 = 1.15m \Rightarrow 1.15 * 2.24 = 2.6 \text{ ton/m}^2 \text{ olur.}$$

4. sınıf - Orta derecede eklemli ve çatlaklı kaya kütlelerinde ise;

$$H_{p \min} \text{ için } 1.15 \text{ ton/m}^3$$

$$H_{p \max} \text{ için } 0.35 (B + H_t) \Rightarrow 0.35 * (4.6 + 4.6) = 3.22m \Rightarrow 3.22 * 2.24 = 7.2 \text{ ton/m}^2 \text{ olur.}$$

Kaya Kalite Göstergesi (Rock Quality Designation -RQD) (Deere and Deere, 1968)

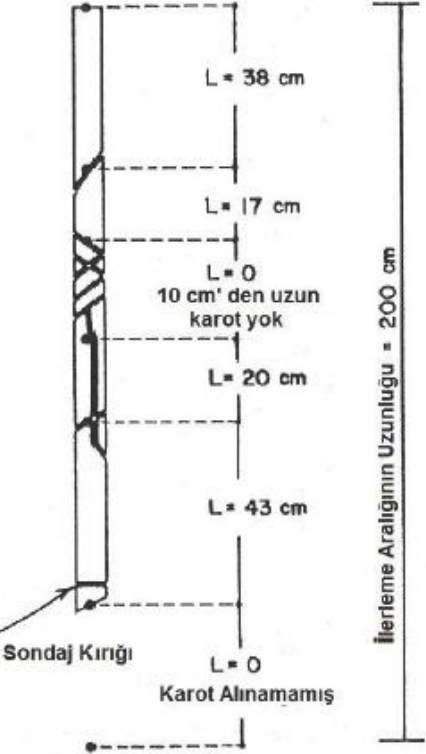
$$RQD = \frac{\sum \text{Karot Parçalarının Uzunluğu} > 10 \text{ cm (4 in.)}}{\text{İlerleme Aralığının Uzunluğu}} \times 100 \%$$

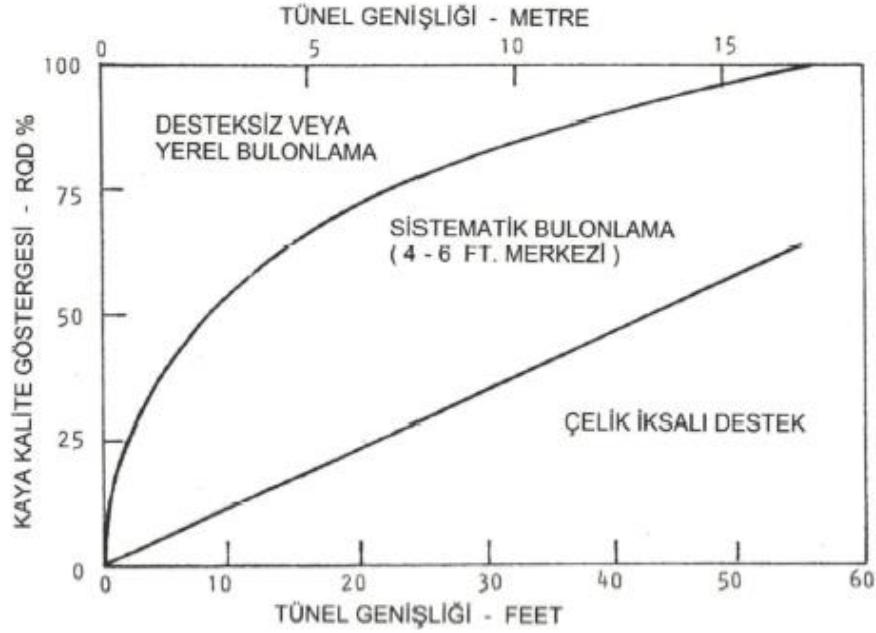
$$RQD = \frac{38 + 17 + 20 + 43}{200} \times 100 \%$$

$$RQD = 59 \% \text{ (ORTA)}$$

RQD (Kaya Kütleli Göstergesi)	Kaya Kalitesi
0 - 25 %	Çok Zayıf
25 - 50 %	Zayıf
50 - 75 %	Orta
75 - 90 %	İyi
90 - 100 %	Çok İyi

RQD(%)	KAYA KALİTE GÖSTERGESİ
0-25	Çok zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok iyi





Çizelge 3.2. Deere vd. (1970) tarafından değiştirilen, Terzaghi'nin Kaya yükü kavramı.

Kaya Sınıfı	RQD %	Kaya Yükü H_p	Açıklama
I. Sağlam ve çatlaksız	95 - 100	0	Eğer kavlaklanma ve patlama oluyorsa, sadece hafif kaplama gereklidir.
II. Sağlam tabakalı veya şistozite yüzeyli	90 - 99	0 - 0.5B	Kavlaklanmaya karşı koruyucu önlem olarak hafif destek.
III. Masif, orta derecede eklemli	85 - 95	0 - 0.25B	Yük, bir noktadan diğerine ani olarak değişebilir.
IV. Orta derecede bloklu ve çatlaklı	75 - 85	$0.25B - 0.35(B + H_t)$	IV, V ve VI. Terzaghi değerlerinden yaklaşık %50 düşürülecek çünkü kaya yükü üzerinde az da olsa yeraltı su tablası etkisi var (Terzaghi, 1946; Brekke, 1968)
V. Çok bloklu ve çatlaklı	30 - 75	$(0.2 - 0.6) (B + H_t)$	Üstteki ile aynı
VI. Tamamen parçalanmış	3 - 30	$(0.6 - 1.10) (B + H_t)$	Üstteki ile aynı
VIa. Kum ve Çakıl	0 - 3	$(1.11 - 1.4) (B + H_t)$	Üstteki ile aynı
VII. Sıkışabilen Kaya (orta derinlikte)	-	$(1.10 - 2.10) (B + H_t)$	Çok fazla yan basınç, kaplama gerekir. Dairesel destek önemlidir
VIII. Sıkışabilen Kaya (çok derinde)	-	$(2.10 - 4.50) (B + H_t)$	Çok fazla yan basınç, taban desteği gerekir. Dairesel destek önemlidir
IX. Şişen Kaya	-	$(B + H_t)$ değeri ne olursa olsun 80m'ye kadar	Dairesel destek gereklidir. Daha kötü durumlarda esnek destek kullanılır.

Notes: B : Tünel açıklığı; H_t : Tünelin yüksekliği ve H_p : Tünel üzerindeki gevşemiş kaya kütleinin yüksekliği

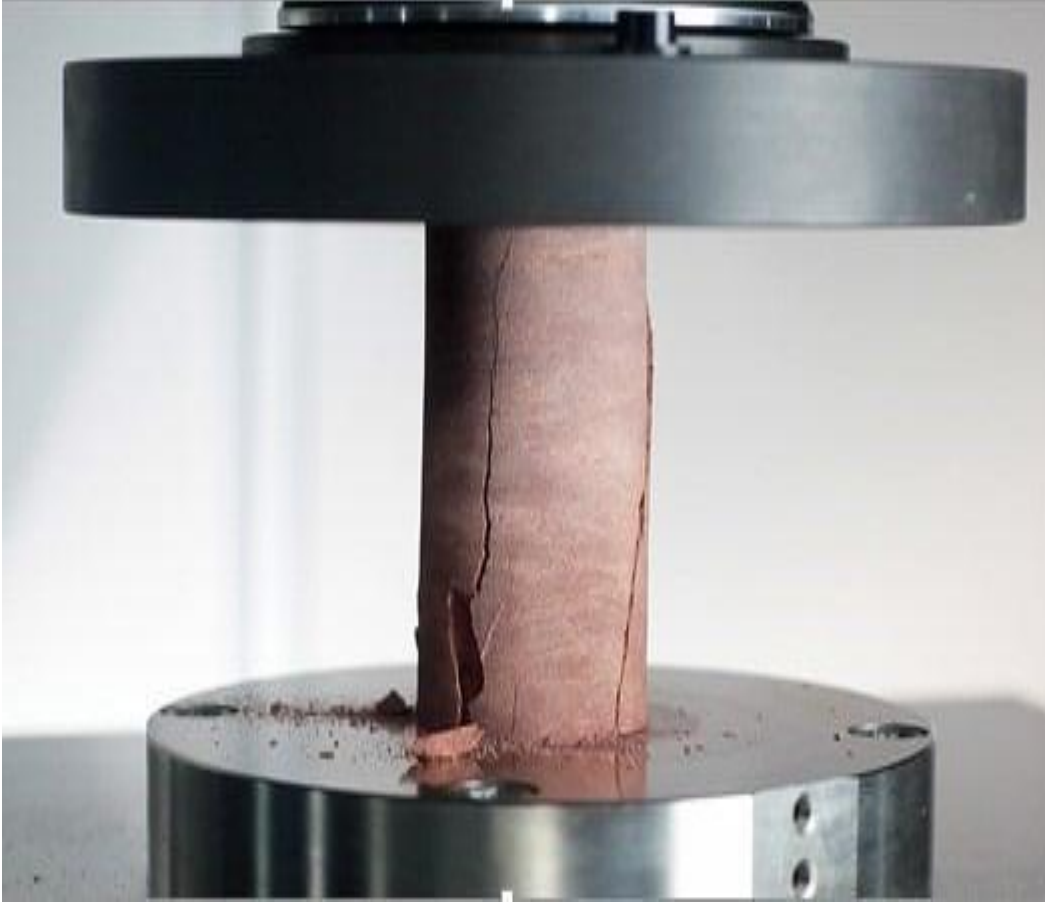
Kaya Kütlesi Oranı (RMR-Rock Mass Rating) (Bienawski, 1989)

1*	Kaya malzemesi dayanımı	Nokta yükü	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım seçilmeli		
		Tek eksenli	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-15 MPa	<1 MPa
PUAN			15	12	7	4	2	1	0
2*	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	PUAN		20	17	13	8	3		
3*	Süreksizlik aralığı		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	PUAN		20	15	10	8	5		
4**	Süreksizliklerin durumu		Çok kaba yüzeyler, sürekli değil, ayrılma yok, sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler, ayrılma <1 mm, az bozunmuş yüzeyler	Az kaba yüzeyler, ayrılma <1 mm, yumuşak eklem yüzeyleri	Kaygan yüzeyler veya dolgu <5 mm veya 1-5 mm açıklık, sürekli eklemeler	Yumuşak fay dolgusu >5 mm veya açıklık >5 mm devamlı kaygan yüzeyler veya açıklık >5 mm devamlı süreksizlikler		
	PUAN		30	25	20	10	0		
5	Yer altı suyu	Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su	Yok	<10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk		
		Eklemdeki su basıncı							
	En büyük asal gerilim	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	<0.5			
	Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı			
PUAN			15	10	7	4	0		

* Şekil 'deki grafikten tayin edilir

** Cizelge 'ten belirlenir.

Tek eksenli Basınç Dayanımı



Nokta Yük İndeksi



Sınıf	σ_c (kg/cm ²)	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

B. Tünelde Süreksizlik Eğim ve Doğrultusunun Etkisi

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		*Doğrultuya bakılmaksızın, eğim 0°-20° arasında
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı yönde ilerleme				
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Uygun değil

C. Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme

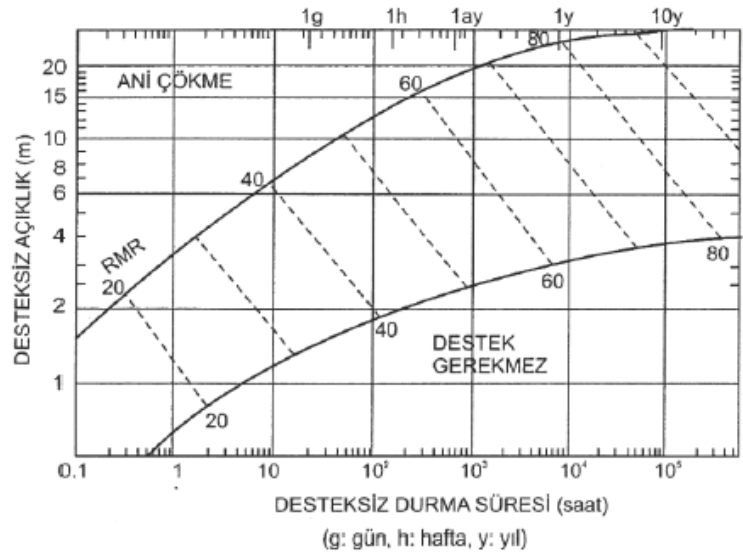
Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
PUAN	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

D. Kaya Sınıfları ve Puanları

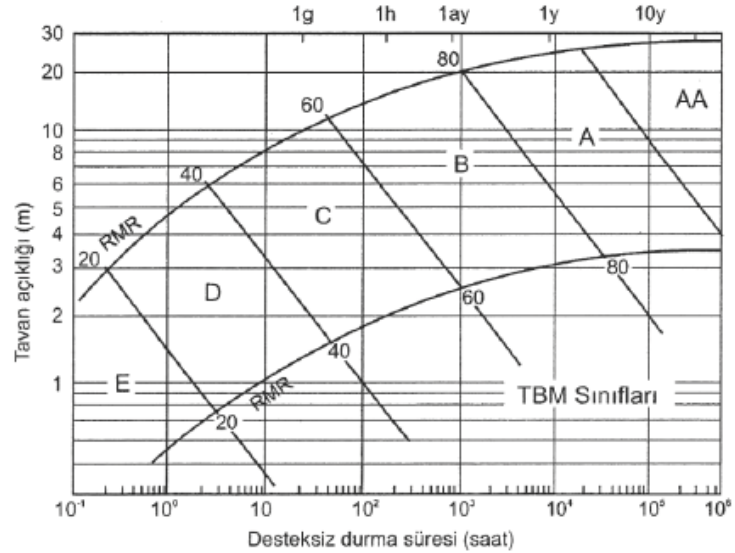
Sınıf No.	1	2	3	4	5
Sınıf tanımı	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Toplam puan	100←81	80←61	60←41	40←21	<20

E. Kaya Sınıflarının Bazı Özellikleri

Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Ortalama desteksiz kalabilme süresi	15 m açıklık için 20 yıl	10 m açıklık için 1 yıl	5 m açıklık için 1 hafta	2.5 m açıklık için 10 saat	1 m açıklık için 30 dk
Kaya kütlelerinin kohezyonu (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15



Şekil 3.3. RMR kaya kütlesi sınıflarına göre desteksiz durma süresi ve desteksiz tavan açıklığı arasındaki ilişki (Bieniawski, 1989).



Şekil 3.4. Tünel açma makinesi uygulamalarında kaya kütlesi sınıflarının değişimini gösteren modifiye edilmiş desteksiz ayakta kalma süresi tahmin grafiği (Lauffer, 1988).

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	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 20

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 kütlesi kohezyonu	>400 kPa	300-400 kPa	250-300 kPa	100-200 kPa	<100 kPa
Kaya kütlesi, ϕ	<4	35-45	25-35	15-25	<15

Q (NGI) Kaya Kütle Sınıflaması (Barton, 2002; 1974)

Kaya tünelticilik kalitesi Q, birbirinden bağımsız 6 parametrenin fonksiyonu olarak aşağıdaki ifadeden hesaplanmaktadır (Barton vd., 1974).

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (2.1)$$

Burada;

RQD : Kaya kalitesi göstergesi (%)

J_n : Eklem takımı sayısı

J_r : Eklem pürüzlülük sayısı

J_a : Eklem alterasyon sayısı

J_w : Eklem su azaltma faktörü

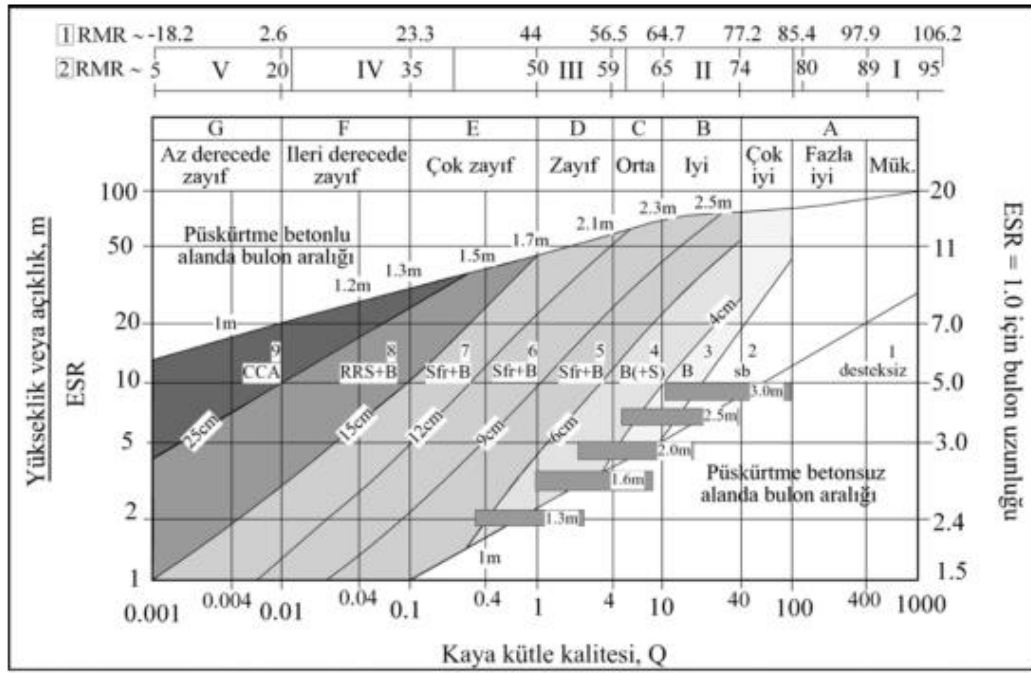
SRF : Gerilim azaltma faktörüdür.

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.

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

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

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



Açıklamalar

- 1- Destek gerekmez
 - 2- Noktasal bulonlama
 - 3- Sistematik bulonlama
 - 4-Sistematik bulonlama ve güçlendirilmiş püskürtme beton, 4-10 cm
 - 5- Fiberli püskürtme beton ve bulonlama, 5-9 cm
 - 6- Fiberli püskürtme beton ve bulonlama, 9- 12 cm
 - 7- Fiberli püskürtme beton ve bulonlama, 12-15 cm
 - 8- Fiberli püskürtme beton ve bulonlama, >15 cm
 - 9- Beton kaplama
- Not: Bölge sınırlarındaki simgeler (Sf+b vb.) açıklamaların kısaltılmış halidir.

Şekil 3. Tüneller ve yeraltı açıklıkları için kalıcı destek ve güçlendirme sistemlerini tespit için Q-destek grafiği (Grimstad,1993 modifiye hali)

Q	Sınıflama	Grup
10-40	İyi	1
40-100	Çok iyi	
100-400	Aşırı iyi	
400-1000	Az iyi	
0.1-1.0	Çok zayıf	2
1.0-4.0	Zayıf	
4.0-10.0	Orta	
0.001-0.01	Az zayıf	3
0.01-0.1	Çok zayıf	

Hoek-Brown Yenilme Ölçütü

Publication	Coverage	Equations
Hoek & Brown 1980	Original criterion for heavily jointed rock masses with no fines. Mohr envelope was obtained by statistical curve fitting to a number of (σ'_n, τ) pairs calculated by the method published by Balmer [1]. σ'_1, σ'_3 are major and minor effective principal stresses at failure, respectively σ_t is the tensile strength of the rock mass m and s are material constants σ'_n, τ are effective normal and shear stresses, respectively.	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m\sigma'_3 / \sigma_{ci} + s}$ $\sigma_t = \frac{\sigma_{ci}}{2} (m - \sqrt{m^2 + 4s})$ $\tau = A \sigma_{ci} ((\sigma'_n - \sigma'_t) / \sigma_{ci})^B$ $\sigma'_n = \sigma'_3 + ((\sigma'_1 - \sigma'_3) / (1 + \partial\sigma'_1 / \partial\sigma'_3))$ $\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sqrt{\partial\sigma'_1 / \partial\sigma'_3}$ $\partial\sigma'_1 / \partial\sigma'_3 = m\sigma_{ci} / 2(\sigma'_1 - \sigma'_3)$
Hoek 1983	Original criterion for heavily jointed rock masses with no fines with a discussion on anisotropic failure and an exact solution for the Mohr envelope by Dr J.W. Bray.	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m\sigma'_3 / \sigma_{ci} + s}$ $\tau = (Cot\phi'_i - Cos\phi'_i) m \sigma_{ci} / 8$ $\phi'_i = \arctan(1 / \sqrt{4h \cos^2 \theta - 1})$ $\theta = (90 + \arctan(1 / \sqrt{h^3 - 1})) / 3$ $h = 1 + (16(m\sigma'_n + s\sigma_{ci}) / (3m^2 \sigma_{ci}))$
Hoek & Brown 1988	As for Hoek (1983) but with the addition of relationships between constants m and s and a modified form of RMR (Bieniawski [2]) in which the Groundwater rating was assigned a fixed value of 10 and the Adjustment for Joint Orientation was set at 0. Also a distinction between <i>disturbed</i> and <i>undisturbed</i> rock masses was introduced together with means of estimating deformation modulus E (after Serafim and Pereira [3]).	<p><i>Disturbed rock masses:</i></p> $m_b / m_i = \exp((RMR - 100) / 14)$ $s = \exp((RMR - 100) / 6)$ <p><i>Undisturbed or interlocking rock masses</i></p> $m_b / m_i = \exp((RMR - 100) / 28)$ $s = \exp((RMR - 100) / 9)$ $E = 10^{((RMR - 100) / 40)}$ <p>m_b, m_i are for broken and intact rock, respectively.</p>
Hoek, Wood & Shah 1992	Modified criterion to account for the fact the heavily jointed rock masses have zero tensile strength. Balmer's technique for calculating shear and normal stress pairs was utilised	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} (m_b \sigma'_3 / \sigma_{ci})^\alpha$ $\sigma'_n = \sigma'_3 + ((\sigma'_1 - \sigma'_3) / (1 + \partial\sigma'_1 / \partial\sigma'_3))$ $\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sqrt{\partial\sigma'_1 / \partial\sigma'_3}$ $\partial\sigma'_1 / \partial\sigma'_3 = 1 + \alpha m_b^\alpha (\sigma'_3 / \sigma_{ci})^{(\alpha - 1)}$
Hoek 1994 Hoek, Kaiser & Bawden 1995	Introduction of the Generalised Hoek-Brown criterion, incorporating both the original criterion for fair to very poor quality rock masses and the modified criterion for very poor quality rock masses with increasing fines content. The Geological Strength Index GSI was introduced to overcome the deficiencies in Bieniawski's RMR for very poor quality rock masses. The distinction between disturbed and undisturbed rock masses was dropped on the basis that disturbance is generally induced by engineering activities and should be allowed for by downgrading the value of GSI .	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c (m\sigma'_3 / \sigma_{ci} + s)^a$ <p>for $GSI > 25$</p> $m_b / m_i = \exp((GSI - 100) / 28)$ $s = \exp((GSI - 100) / 9)$ $a = 0.5$ <p>for $GSI < 25$</p> $s = 0$ $a = 0.65 - GSI / 200$

Publication	Coverage	Equations
Hoek, Carranza-Torres, & Corkum 2002	An "exact" method for calculating the cohesive strength and angle of friction is presented and appropriate stress ranges for tunnels and slopes are given. A rock mass damage criterion is introduced to account for strength reduction due to stress relaxation and blast damage in slope stability and foundation problems. The "switch" at $GSI = 25$ for the coefficients s and a , is eliminated, which gives smooth continuous transitions for the entire range of GSI values.	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$ $m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$ $s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$ $a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$ $\sigma_c = \sigma_{ci} s^a$ $\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b}$ $\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \frac{d\sigma'_1 / d\sigma'_3 - 1}{d\sigma'_1 / d\sigma'_3 + 1}$ $\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \frac{\sqrt{d\sigma'_1 / d\sigma'_3}}{d\sigma'_1 / d\sigma'_3 + 1}$ $d\sigma'_1 / d\sigma'_3 = 1 + \alpha m_b (m_b \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s)^{\alpha - 1}$ $E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI - 100) / 40)} \quad (\text{sigci} \leq 100)$ $E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{((GSI - 100) / 40)} \quad (\text{sigci} > 100)$ $\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6\alpha m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{\alpha - 1}}{2(1 + \alpha)(2 + \alpha) + 6\alpha m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{\alpha - 1}} \right]$ $c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1 + 2\alpha)s + (1 - \alpha)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{\alpha - 1}}{(1 + \alpha)(2 + \alpha) \sqrt{1 + \left[6\alpha m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{\alpha - 1} \right] / ((1 + \alpha)(2 + \alpha))}}$ $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci}$







Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)			
		Çok İyi Çok pürüzlü, taze, ayrılmamış yüzeyler	İyi Düz, çok az ayrılmış, demir oksit sıvımalı yüzeyler
		Orta Düz, orta derecede ayrılmış yüzeyler	Zayıf Kaygan, sert veya köşeli parçalar içeren, dolgulu, çok ayrılmış yüzeyler
			Çok Zayıf Kaygan, yumuşak kil dolgulu çok ayrılmış yüzeyler
	Sağlam - Masif kaya Kaya malzemesi veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren masif kaya kütlesi	90	
	Bloklı kaya Üç adet ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu bloklı, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütlesi	80	H4
		70	H3 H2 H1
	Çok bloklı kaya Dört veya daha fazla süreksizlik setinin keşişmesi ile oluşmuş, çok yüzeyli- köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütlesi	60	H5 H6 H13 H14
	Bloklı/Örselenmiş Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren, kıvrımlanmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütlesi	50	H8-9 H10-12 H7 H11
	Parçalanmış Köşeli ve yuvarlak kaya parçalarından oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşırı derecede kırıklı kaya kütlesi	40	30
	Foliasyonlu-Laminalı-Makaslanmış İnce laminalı veya foliasyonlu ve makaslanmış zayıf kayalar. Diğer süreksizliklere oranla daha egemen olan sık aralıklı şistozite yüzeyleri kayada bloklanma gelişmesini önler	Uygulanmaz	20
			10



Figure 9: Various grades of flysch in an exposure in the Pindos mountains of northern Greece.



Figure 10: Disking of a 150 mm core of granite as a result of high in situ stresses.

