

KAYA KÜTLESİ

SINIFLAMALARI

SINIFLAMA SİSTEMLERİNİN HEDEFİ VE ÖZELLİKLERİ

Kaya kütle sınıflama sistemleri eğer belirli koşullar yerine getirilirse; gözlem, ölçüm, tecrübe ve mühendislik yargıları sonucu elde edilen bulguların birleştirilmesiyle, niceliksel (sayısal) olarak kaya kütlesi özelliklerini ve tahkimat gereksinimlerini ön tasarım safhasında belirlemek için kullanılır (Bieniawski, 1984).

Sınıflama sistemlerinin mühendislik uygulamalarında sağladığı yararlar şunlardır;

- 1) Belirli bir bölgede bulunan kaya kütlelerini aynı davranışı gösterecek gruplara ayırmak,
- 2) Her bir grubun özelliklerini anlayabilmek için bir temel oluşturmak,
- 3) Tasarım için sayısal veriler sağlamak,
- 4) Kaya mühendisleri arasında iletişimi sağlamak için herkesin kullanabileceği ortak bir temel oluşturmak.

Sınıflama sistemlerinin, yukarıda belirtilen yararları sağlamak için şu özelliklere sahip olması gerekir;

- 1) Basit, kolayca hatırlanabilme ve anlaşılabilirliktedir.
- 2) Kullanılan her terim açık ve mühendislikte kabul edilen bir şekilde anlatılmalıdır.
- 3) En önemli kaya özelliklerini içermelidir.
- 4) Arazide ucuz ve çabuk yapılabilecek deneyler sonucu elde edilen ve ölçülebilir verilere dayanmalıdır.
- 5) Sınıflama parametrelerinin göreceli önemini tartabilen bir değerlendirme sistemine sahip olmalı
- 6) Kaya tahkimat tasarımı için sayısal veri sağlayacak şekilde kullanılabilirliktedir.

SINIFLAMA SİSTEMİNDE KULLANILAN DEĞİŞKENLER

Sınıflama sistemlerinin bir çoğunda aşağıda belirtilen değişkenler kullanılmaktadır;

- 1) Kayanın basınç dayanımı,
- 2) Kaya kalite belirteci, RQD,
- 3) Süreksizliklerin:
 - a) Aralığı,
 - b) Durumu (pürüzlülük, devamlılık, dolgu maddesi)
 - c) Konumu (doğrultusu, eğim ve yönü)
- 4) Yer altı suyu durumu
- 5) Çevre etkileri
 - a) Gerilmeler,
 - b) Kazı türü,
 - c) Ana süreksizlik düzlemlerin etkisi.

Kaya basma dayanımı bir çok sınıflama sisteminde göz önüne alınmıştır. Bunun nedeni, kaya kütlesi dayanımının, bir ölçüde süreksizliklerle bunların arasında yer alan kaya dayanımına bağlı olmasıdır. İkinci yaygın kullanılan parametre Kaya Kalitesi Belirteci (Rock Quality Designation-RQD) dir. Süreksizlik özelliklerinden bir bölümü içermesi bakımından önem taşır. Yeraltı suyu durumu ve diğer çevre etkilerinden kaya kütlesi dayanımı ve davranışına belirli ölçüde etkisi vardır.

Bu bölümde, yaygın olarak bilinen sınıflama sistemlerinden aşağıda belirtilen üç tanesi yer verilecektir:

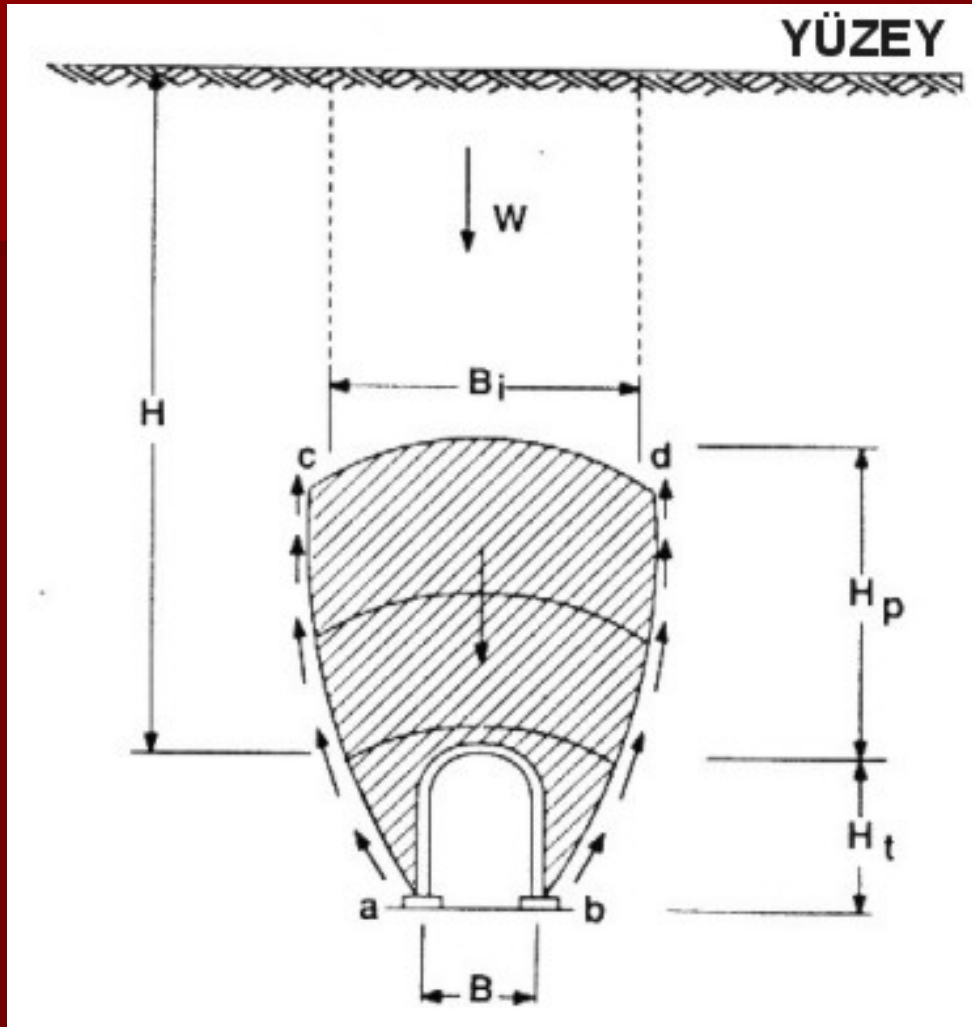
- 1) Terzaghi (1946) tarafından önerilen kaya yükü yüksekliği adı verilen sınıflama sistemi,
- 2) Bieniawski (1973) tarafından önerilen Jeomekanik Kaya-Kütlesi Sınıflama sistemi (RMR Sistemi)
- 3) Barton ve ark. (1974) tarafından önerilen Q sınıflama sistemi

Çizelge 4.1. Günümüzde kullanılan başlıca kaya kütlesi sınıflama sistemleri (Bieniawski, 1989; Özkan ve Ünal, 1996'dan yararlanılmıştır).

Sınıflama sisteminin adı	Geliştiren(ler)	Geliştirildiği ülke	Uygulama alanları
1. Kaya yükü	Terzaghi, 1946	A.B.D.	Çelik destekli tüneller
2. Desteksiz durma süresi	Lauffer, 1958	Avusturya	Tünelcilik
3. NATM (Yeni Avusturya Tünelcilik Yöntemi)	Pacher vd., 1964	Avusturya	Tünelcilik
4. RQD	Deere vd., 1967	A.B.D.	Karot loglama, tünelcilik
5. RSR	Wickham vd., 1972	A.B.D.	Tünelcilik
6. RMR Sistemi	Bieniawski, 1973 (en son modifikasyonu 1989 – A.B.D.)	G. Afrika	Tüneller, madenler, (şevler, temeller?)
RMR Sistemi ile ilgili değişiklikler:			
	Weaver, 1975	G. Afrika	Sökülebilirlik
	Laubscher, 1977	G. Afrika	Madencilik
	Olivier, 1979	G. Afrika	Bozunabilirlik
	Ghose ve Raju, 1981	Hindistan	Kömür madenciliği
	Moreno Tallon, 1982	İspanya	Tünelcilik
	Kendorski vd., 1983	A.B.D.	Sert kaya madenciliği
	Nakao vd., 1983	Japonya	Tünelcilik
	Serafim ve Pereria, 1983	Portekiz	Temeller
	Gonzalez De Vallejo, 1983	İspanya	Tünelcilik
	Ünal, 1983	A.B.D.	Kömür madenciliğinde tavan saplama uygulamaları
	Romana, 1985	İspanya	Şev duraylılığı
Düzeltilmiş RMR '85	Newman ve Breniawski, 1985	A.B.D.	Kömür madenciliği
	Sandback, 1985	A.B.D.	Delinebilirlik
Basitleştirilmiş RMR '85	Brook ve Dharmerante, 1985	Sri Lanka	Madencilik
	Smith, 1986	A.B.D.	Taranabilirlik
	Venkateswarlu, 1986	Hindistan	Kömür madenciliği
	Robertson, 1988	Kanada	Şev duraylılığı
M-RMR	Ünal ve Özkan, 1990	Türkiye	Madencilik
Düzeltilmiş RMR '93	Sheorey, 1993	Hindistan	Kömür madenciliği
7. Q Sistemi	Barton vd., 1974	Norveç	Tüneller ve yeraltı boşlukları (odaları), madencilik
Q Sistemi ile ilgili değişiklikler:			
	Kirsten, 1982	G. Afrika	Kazılabilirlik
	Kirsten, 1983	G. Afrika	Tünelcilik
Modifiye Q	Grimstad ve Barton, 1993	Norveç	Tüneller, yer altı boşlukları, madencilik
Modifiye Q	Sheorey, 1993	Hindistan	Kömür madenciliği
8. Dayanım-boyut	Franklin, 1975	Kanada	Tünelcilik
9. Temel jeoteknik sınıflama	ISRM, 1981	Uluslararası	Genel amaçlı
10. MBR	Cummings vd., 1982	A.B.D.	Sert kaya madenciliği
11. RMS	Stille vd., 1982	İsveç	Metal madenciliği
12. Birleştirilmiş sınıflama sistemi	Williamson, 1984	A.B.D.	Genel iletişim amaçlı
13. RMZ	Dong vd., 1989	Çin Halk Cumhuriyeti	Kömür madenciliği
14. RTR	Inyang, 1991	A.B.D.	Tünelcilik, madencilik, şevler
15. SGDM	Milne ve Potvin, 1992	Kanada	Madencilik
16. GC	Mendes vd., 1993	Portekiz	Kömür madenciliği
17. CMRR	Molinda ve Mark, 1993	A.B.D.	Kömür madenciliği
18. RFI	Singh vd., 1994	Hindistan	Kömür madenciliği
19. RMI	Palmstrom, 1985	İsveç	Tünelcilik

Kaya Yüklü (Terzaghi) Sınıflaması

- Terzaghi 1946 yılında, çelik destek sistemlerine uygun olarak geliştirilen ilk gerçekçi sınıflama yöntemini ortaya koymuştur. Bu önemli bir gelişmeydi çünkü tünel kazılarında çelik destekler o tarihte 50 yıldır kullanılıyordu. Laboratuvarda kum kullanarak yaptığı fiziksel modellere ve Alplerde çelik-bağ tahkimatlı tünellerdeki tecrübelerine dayanarak, çeşitli kaya türlerini tanımlamış ve bu türler için tahkimat üzerine gelecek kaya yükü sınırlarını belirlemiştir. Sınıflama çelik desteklerle desteklenen tünellerin üzerindeki kaya yüklerini tahmin etmek için tasarlanmıştır ve püskürtme beton, kaya bulonu gibi yöntemlerin kullanıldığı modern tüneller için uygun değildir. Terzaghi'nin tanımlamasından sonra çeşitli araştırmacılar tarafından bazı değişiklikler yapılmış ve şimdi kullanımda olan son hali aşağıda verilmiştir.



Şekilde;

B: Tünel tabanı genişliği,

H_t: Tünel yüksekliği,

H_p: Kaya yükü.

Terzaghi'nin tünel kaya yükü kavramı

	Kayanın Durumu	RQD	Kaya Yüğü (ft)	Açıklamalar
1	Sert ve sağlam	95-100	Sıfır	Küçük kavlaklamalar varsa hafif kaplama gerekir
2	Sert tabakalı veya şistoz	90-99	0-0.5B	Esas olarak aya düşmelerini engellemek için hafif destek. Basınç ani değişiklikler gösterebilir
3	Masif, orta eklemlili	85-95	0-0.25B	Yanal basınç yok
4	Orta bloklulu	75-85	0.25B-0.2(B+H _t)	Önemli yanıl basınç Sızan suyun kayayı yumuşatıcı etkisi çelik desteklerin alt kısımlarında sürekli destek veya dairesel destek gerektirir. <i>*Daha sonra yapılan değişikliklerle, suyun çok etkili olmadığı ve burada verilen değerlerin %50 azaltılması önerilmiştir.</i>
5	Çok bloklulu	30-75	(0.2-0.6)(B+H _t)	
6	Tamamen parçalanmış fakat kimyasal olarak sağlam	3-30	(0.6-1.1)(B+H _t)	
6a	Kum ve çakıl	0-3	(1.1-1.4)(B+H _t)	
7	Sıkışan kaya, orta derinlik	-	(1.1-2.1)(B+H _t)	Yüksek yanıl basınç Dairesel çelik destekler tavsiye edilir
8	Sıkışan kaya, büyük derinlik	-	(2.1-4.5)(B+H _t)	Yüksek yanıl basınç Dairesel çelik destekler tavsiye edilir
9	Şişen kaya	-	250 ft'e kadar (B+H _t) den bağımsız	Dairesel çelik destekler gereklidir. Aşırı durumlarda yenilen destekler kullanılmalı

Bieniawski'nin Jeomekanik Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemi (RMR) (Rock Mass Rating System)

Jeomekanik kaya kütle sınıflama sistemi veya kaya kütlesi değerlendirme (RMR) sistemi Bieniawski (1973) tarafından ortaya konulmuş, daha sonra üzerinde bazı değişiklikler yapılarak geliştirilmiştir. Bu sınıflama sisteminde, aşağıda sıralanan ve sahada ölçülebilen veya sondaj verilerinden elde edilebilecek, altı değişken kullanılır:

- a) Kaya örneğinin tek eksenli basınç dayanımı,
- b) Kaya kalite belirteci (RQD)
- c) Süreksizlik aralığı,
- d) Süreksizliklerin durumu,
- e) Yer altı suyu durumu,
- f) Süreksizliklerin konumu

RMR sistemini uygulamak için, araştırma yapılan galeri veya tünel boyunca kaya kütlesi yeterli sayıda yapısal bölgelere ayrılır. Yapısal bölgeler, içlerinde kaya yapısının aşağı yukarı aynı zonlardır. Yukarıda belirtilen altı parametre değerleri her yapısal bölge için ölçümlerden belirlenerek standart jeoteknik veri toplama formlarında veya sondaj loglama formlarına işlenir.

A. SINIFLAMA PARAMETRELERİ VE PUANLARI

Parametre		Değerler aralığı							
1	Taze kaya malzemesinin dayanımı	Nokta yük dayanım indisi (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Bu düşük aralık için tek eksenli basınç dayanımı tercih edilir		
		Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	> 250	100-250	50-100	25 - 50	5-25	1-5	< 1
		Puanı	15	12	7	4	2	1	0
2	Karot kalitesi RQD (%)		90 - 100	75-90	50 - 75	25 - 50	< 25		
		Puanı	20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik açıklığı		> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
		Puanı	20	15	10	8	5		
4	Süreksizliklerin durumu		Çok pürüzlü yüzeyler Devamlı değil Kapalı yarık Bozuşmamış duvar kayası.	Az pürüzlü yüzeyler Yarık genişliği < 1 mm Az bozuşmuş duvar kayası	Az pürüzlü yüzeyler Yarık genişliği < 1 mm Çok bozuşmuş duvar kayası	Çizikli yüzeyler veya Dolgu kalınlığı < 5 mm veya Yarık genişliği 1-5 mm Sürekli	Yumuşak dolgu, kalınlık > 5 mm veya Yarık genişliği > 5 mm Sürekli		
		Puanı	30	25	20	10	0		
5	Yeraltı suyu	10 m tünel uzunluğu için içeri akış	Yok	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(eklem suyu basıncı)/ (majör asal gerilme) oranı	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Genel şartlar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Akma		
		Puanı	15	10	7	4	0		

B. SÜREKSİZLİK ŞARTLARININ SINIFLANMASI İÇİN KILAVUZ BİLGİLER

Parametre	Puanlama				
	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Süreksizlik uzunluğu (persistans)	6	4	2	1	0
	Yok	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Yarıklık genişliği (açıklık)	6	5	4	1	0
	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Çizikli
Pürüzlülük	6	5	3	1	0
	Sert dolgu			Yumuşak dolgu	
Dolgu malzemesi	Yok	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	6	4	2	2	0
Bozuşma	Bozuşmamış	Az bozuşmuş	Orta bozuşmuş	Çok bozuşmuş	Tamamen bozuşmuş
	6	5	3	1	0

C. SÜREKSİZLİK YÖNELİMLERİNİN TÜNELCİLİKTEKİ ETKİSİ

Doğrultu tünel eksenine dik			
Eğim yönünde ilerleme		Eğimin tersi yönde ilerleme	
Eğim 45 - 90	Eğim 20 - 45	Eğim 45 - 90	Eğim 20 - 45
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil
Doğrultu tünel eksenine paralel		Doğrultudan bağımsız	
Eğim 20 - 45	Eğim 45 - 90	Eğim 0 - 20	
Orta	Hiç uygun değil	Orta	

D. SÜREKSİZLİK YÖNELİMLERİ İÇİN PUANLAMA DÜZELTMELERİ

Süreksizliklerin Yönelimi		Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil
Puanlamalar	Tünel ve madenler	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

E. TOPLAM PUANLAMAYA GÖRE BELİRLENEN KAYA KÜTLESİ SINIFI

Puanlama	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20
Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Tanım	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaliteli kaya	Kötü kaya	Çok kötü kaya

F. KAYA KÜTLESİ SINIFLARININ ANLAMI

Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Ortalama kemerlenme 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 dak.
Kaya kütlelerinin kohezyonu (kPa)	> 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	< 100
Kaya kütlelerinin sürtünme açısı (°)	> 45	35 – 45	25 – 35	15 – 25	< 15

$$RMR = \Sigma (\text{sınıflama parametreleri}) + \text{süreksizlik yönelimi düzeltmesi}$$

Sınıflama parametresi	Kaya kütlesi parametre değerleri	
	1. Kaya kütlesi	2. Kaya kütlesi
Dayanım (MPa)	105	245
RQD (%)	52	70
Süreksizlik aralığı (mm)	210	580
Süreksizliklerin durumu	Az pürüzlü yüzeyler Açıklık <1 mm Yumuşak eklem yüzeyi	Az pürüzlü yüzeyler Açıklık <1 mm Yumuşak eklem yüzeyi
Yeraltısuyu	Islak	Islak

Sınıflama parametresi	Kaya kütlesi parametre değerleri		* Sınıflama parametresi puanları	
	1. Kaya kütlesi	2. Kaya kütlesi	1. Kaya kütlesi	2. Kaya kütlesi
Dayanım (MPa)	105	245	12	12
RQD (%)	52	70	13	13
Süreksizlik aralığı (mm)	210	580	10	10
Süreksizliklerin durumu	Az pürüzlü yüzeyler Açıklık <1 mm Yumuşak eklem yüzeyi	Az pürüzlü yüzeyler Açıklık <1 mm Yumuşak eklem yüzeyi	20	20
Yeraltısuyu	Islak	Islak	7	7
** Temel RMR puanı:			62	62
Kaya Sınıfı:			iyi kaya	İyi kaya

Sınıflama parametresi	Kaya kütlesine ait parametrelerin değerleri		* Sınıflama parametresi puanları	
	1. Kaya kütlesi	2. Kaya kütlesi	1. Kaya kütlesi	2. Kaya kütlesi
Dayanım (MPa)	105	245	12 10*	12 15*
RQD (%)	52	70	13 10*	13 14*
Süreksizlik aralığı (mm)	210	580	10 8*	10 11.5*
Süreksizliklerin durumu	Az pürüzlü yüzeyler Açıklık <1 mm Yumuşak eklem yüzeyi	Az pürüzlü yüzeyler Açıklık <1 mm Yumuşak eklem yüzeyi	20	20
Yeraltısuyu	Islak	Islak	7	7
**Temel RMR puanı:			62 55	62 62.5 = 63
Kaya Sınıfı:			Orta kaya	İyi kaya

CHART A Ratings for Strength of Intact Rock

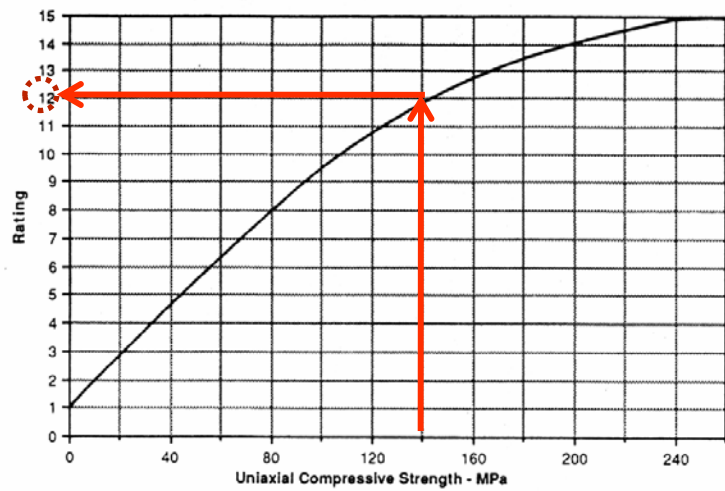


CHART C Ratings for Discontinuity Spacing

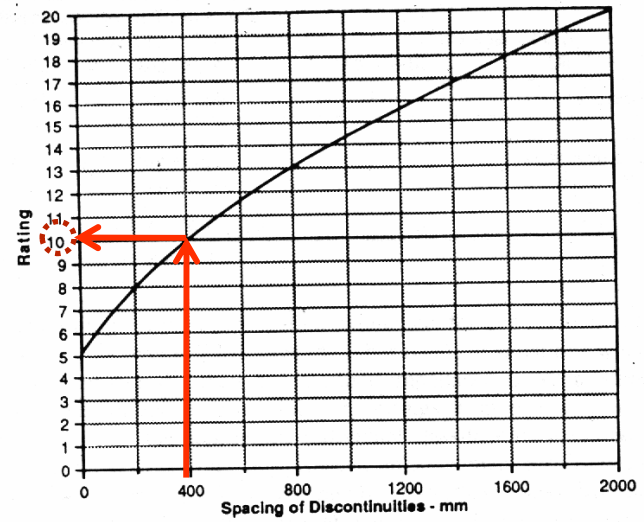


CHART B Ratings for RQD

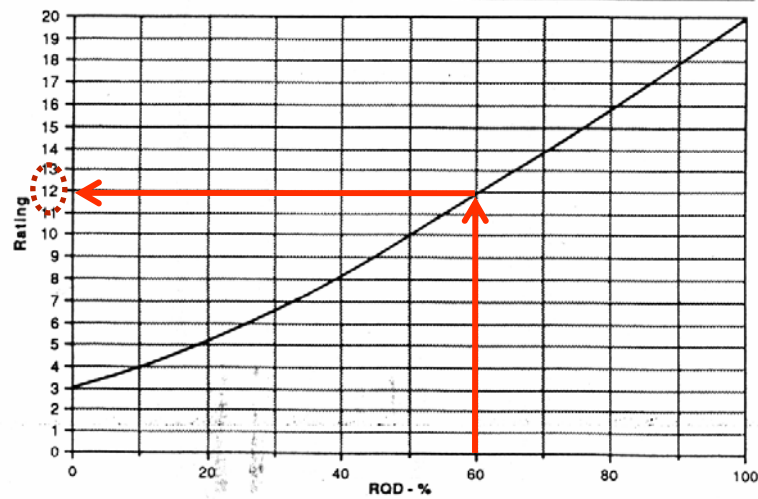
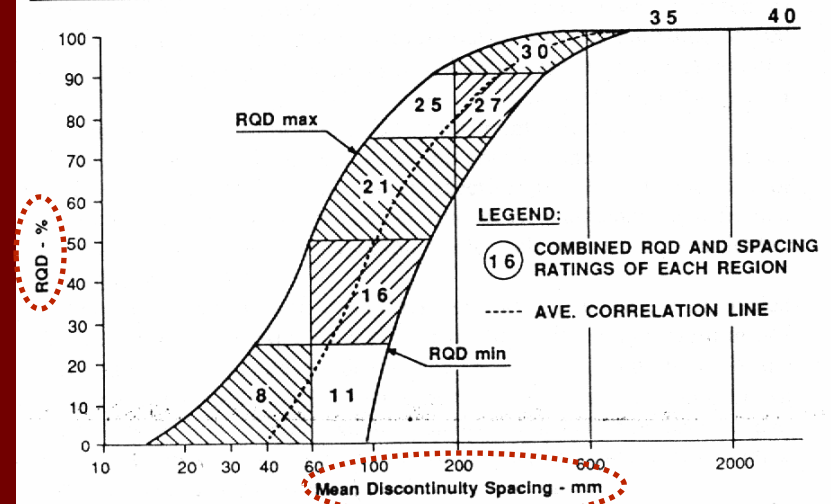
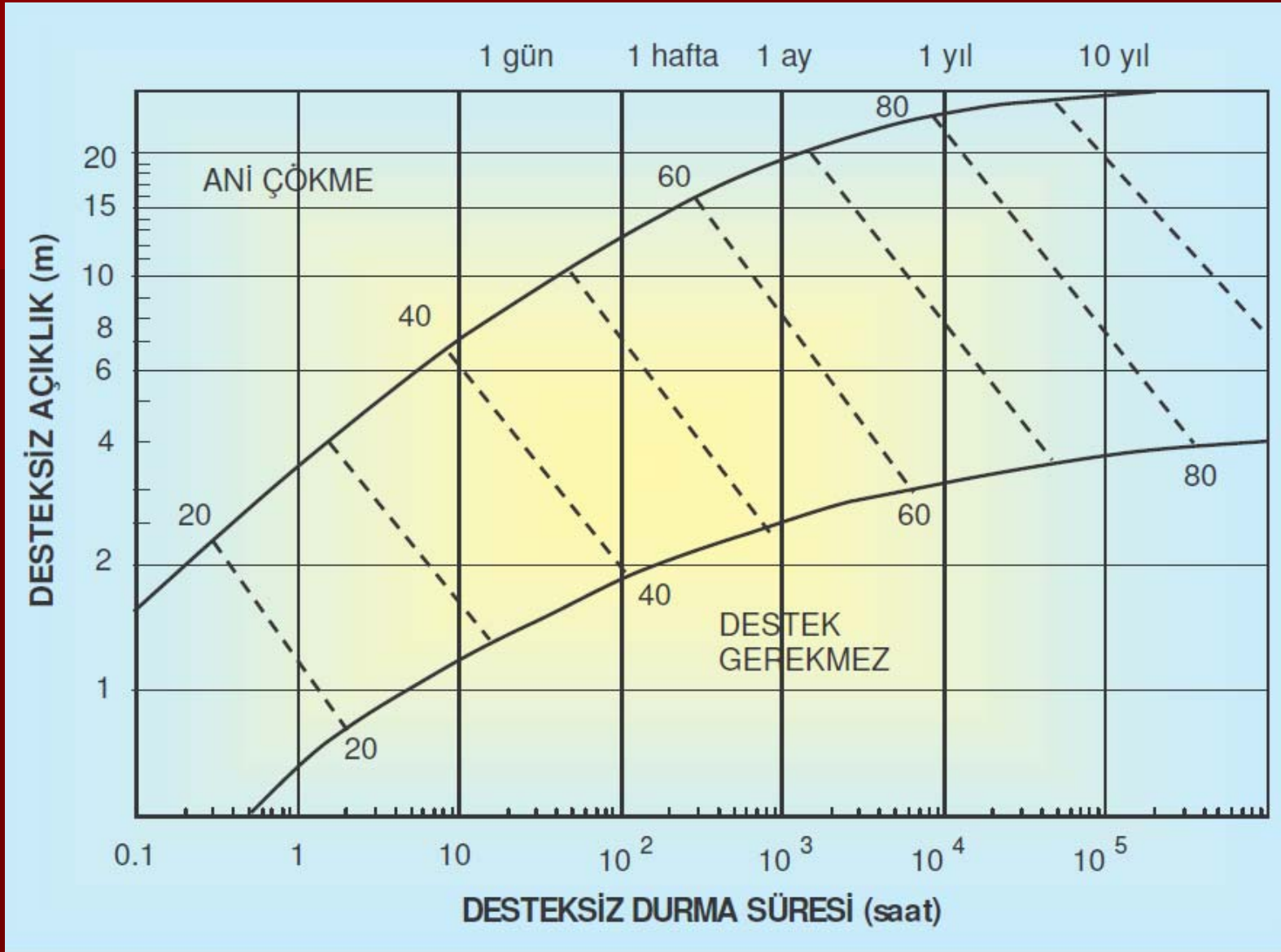


CHART D Chart for Correlation between RQD and Discontinuity Spacing





Şekil: RMR değerlerine bağlı olarak tünel kazılarının ayakta kalma zamanı (Bienawski, 1989)

(A) Patlatma Düzeltmesi (A_B)			
Koşullar / Yöntem		Uygulanabilir terim	Düzeltilme katsayısı, A_B
1.	Makineyle kazı	Hasarsız	1.0
2.	Denetimli patlatma	Çok az hasar	0.94 – 0.97
	a. Pratik olarak patlatmada tüm deliklerin izleri gözlenebilir.		
	b. Gevşemiş bloklar veya açılmış süreksizlikler söz konusu değildir.		
	c. Aşırı sökülme: Genellikle 15 cm'den az, en derin olarak 30 cm'den azdır		
	d. Eklemler arasında yeni kırıklar yok veya çok azdır.		
3.	İyi klasik patlatma	Orta derecede hasar	0.90 – 0.94
	a. Bazı patlama deliklerinin izleri gözlenebilir.		
	b. Az sayıda gevşek bloklar söz konusu olabilir ve bazı eklemler açılabilir.		
	c. Aşırı sökülme: Yaygın olarak 30 cm, yerel olarak 30 cm'yi aşabilir.		
	d. Sağlam kaya bloklarında ve eklemler arasında kılcal çatlaklar gelişebilir.		
4.	Kötü klasik patlatma	Şiddetli hasar	0.90 (en iyi) 0.80 (en kötü)
	a. Patlatma deliklerinden sadece birkaçı gözlenir.		
	b. Açıklığın tavanında çok sayıda gevşemiş blok gözlenir. Çok sayıda eklem açılmış ve bloklar düşebilecek hale gelmiştir.		
	c. Aşırı sökülme: Genellikle 30 cm'den büyük, yerel olarak 1 m veya daha fazladır.		
	d. Patlatmayla ilgili herhangi bir bilgi yok.	Orta derecede hasar	0.90 (göreceli)
(B) Başlıca Zayıflık Düzlemleriyle İlgili Düzeltme (A_w)			
Koşul		Düzeltilme, Katsayısı A_w	
1. Zayıflık düzlemi yok		1.0	
2. Sert dayklar		0.90	
3. Yumuşak cevher zonları		0.85	
4. Ana kaya/cevher dokanak zonları veya homojen olmayan tavan kayası		0.80	
5. Kıvrımlar (senklinal ve antiklinaler)		0.75	
6. Münferit fay zonları		0.70	

Kaya malzemesinin dayanımı I_D
Puan: 1-15
Şekil

RQD I_{RQD}
Puan: 3-20
Şekil

Süreksizlik aralığı I_{SA}
Puan: 5-20
Şekil

Süreksizlik yüzeyinin durumu I_{SD}
Puan: 0-30
Çizelge

Yeraltısuyu koşulu I_{YA}
Puan: 0-15
Çizelge

Süreksizlik yönelimi düzeltmesi I_{SYD}
Çizelge B ve C

Patlatma düzeltmesi, A_B
0.8 - 1.0
Çizelge A

Gerilme düzeltmesi, A_S
0.7 - 1.2
Şekil

Başlıca zayıflık düzlemleri düzeltmesi, A_W
0.7 - 1.0
Çizelge B

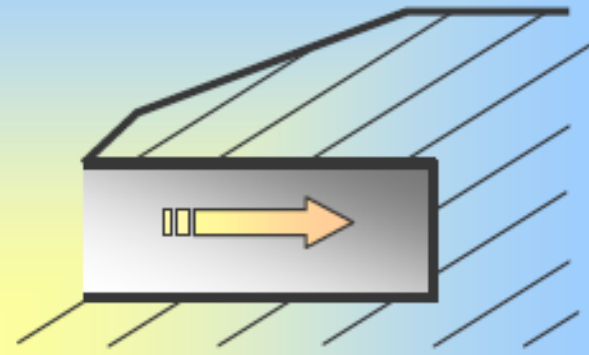
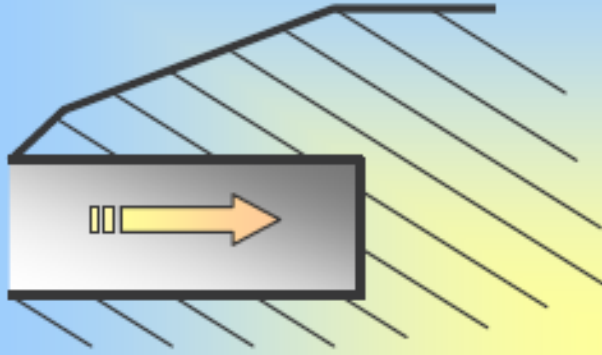
Temel RMR

Sonuç RMR (0-100)
 $RMR = (I_D + I_{RQD} + I_{SA} + I_{SD} + I_{YA}) + I_{SYD}$

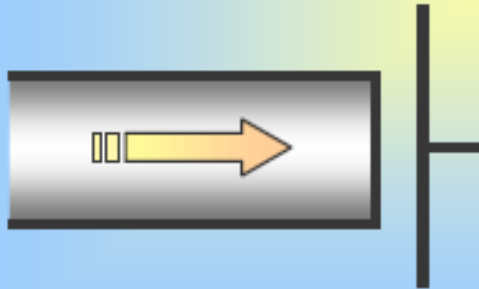
Düzeltilmiş RMR
 $RMR \times A_B \times A_S \times A_W$
0.5-1

Ön destek önerileri
Çizelge

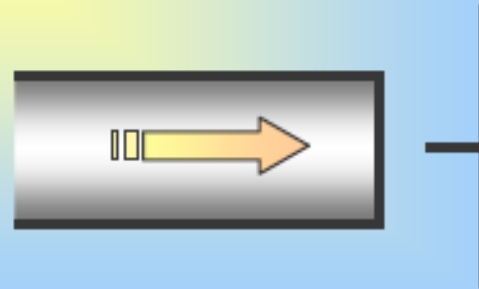
Doğrultu tünel eksenine dik



Eğim yönünde ilerleme



Eğime karşı yönde ilerleme



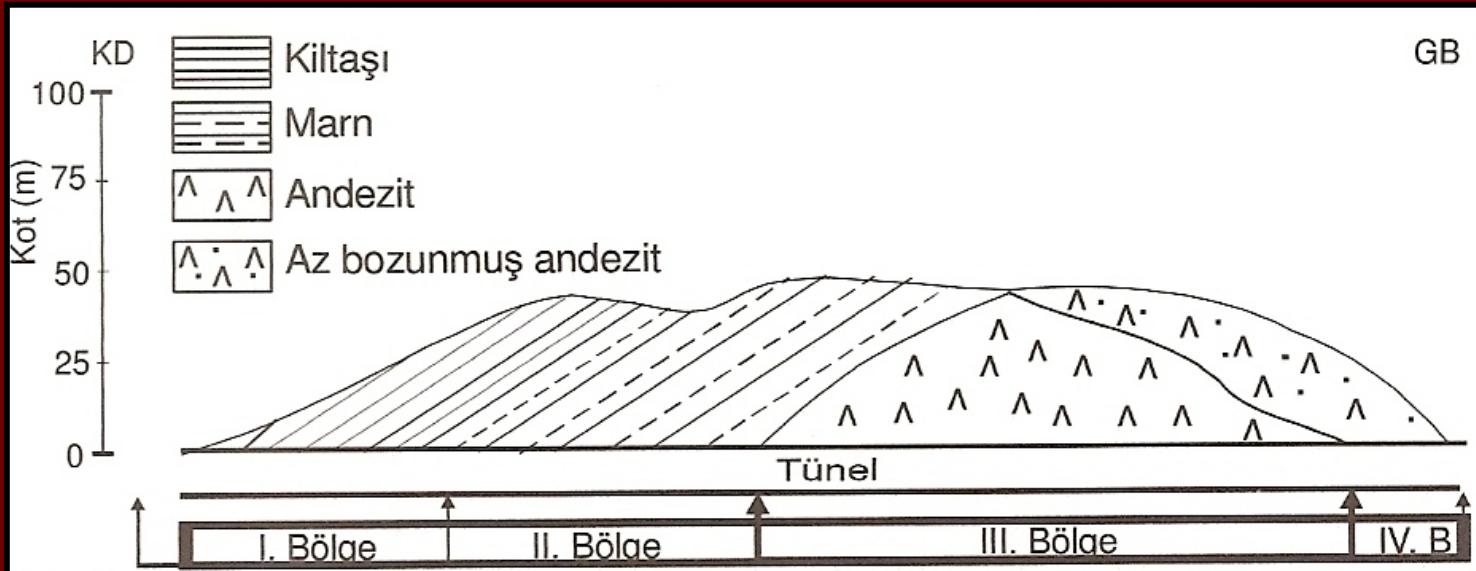
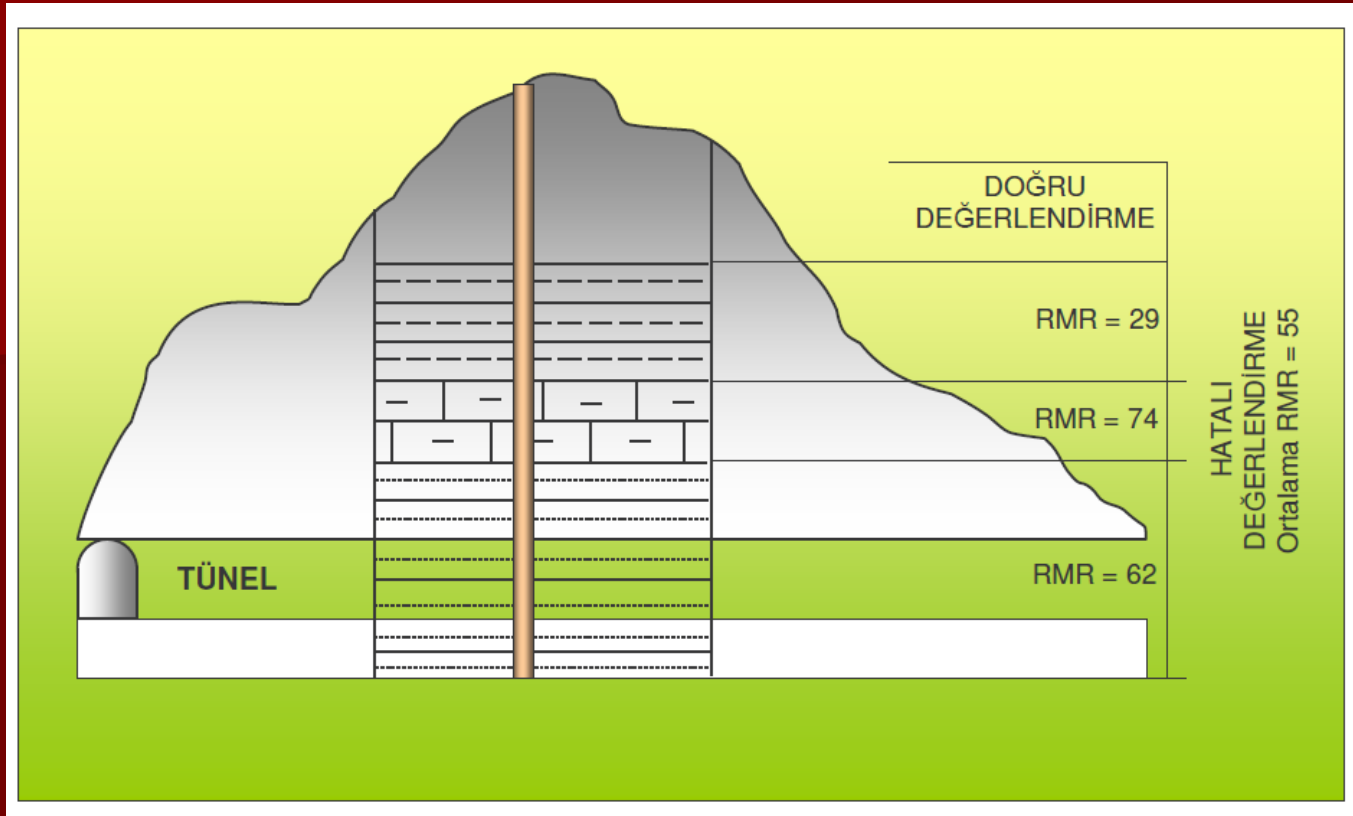
$$P = \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \gamma BS$$

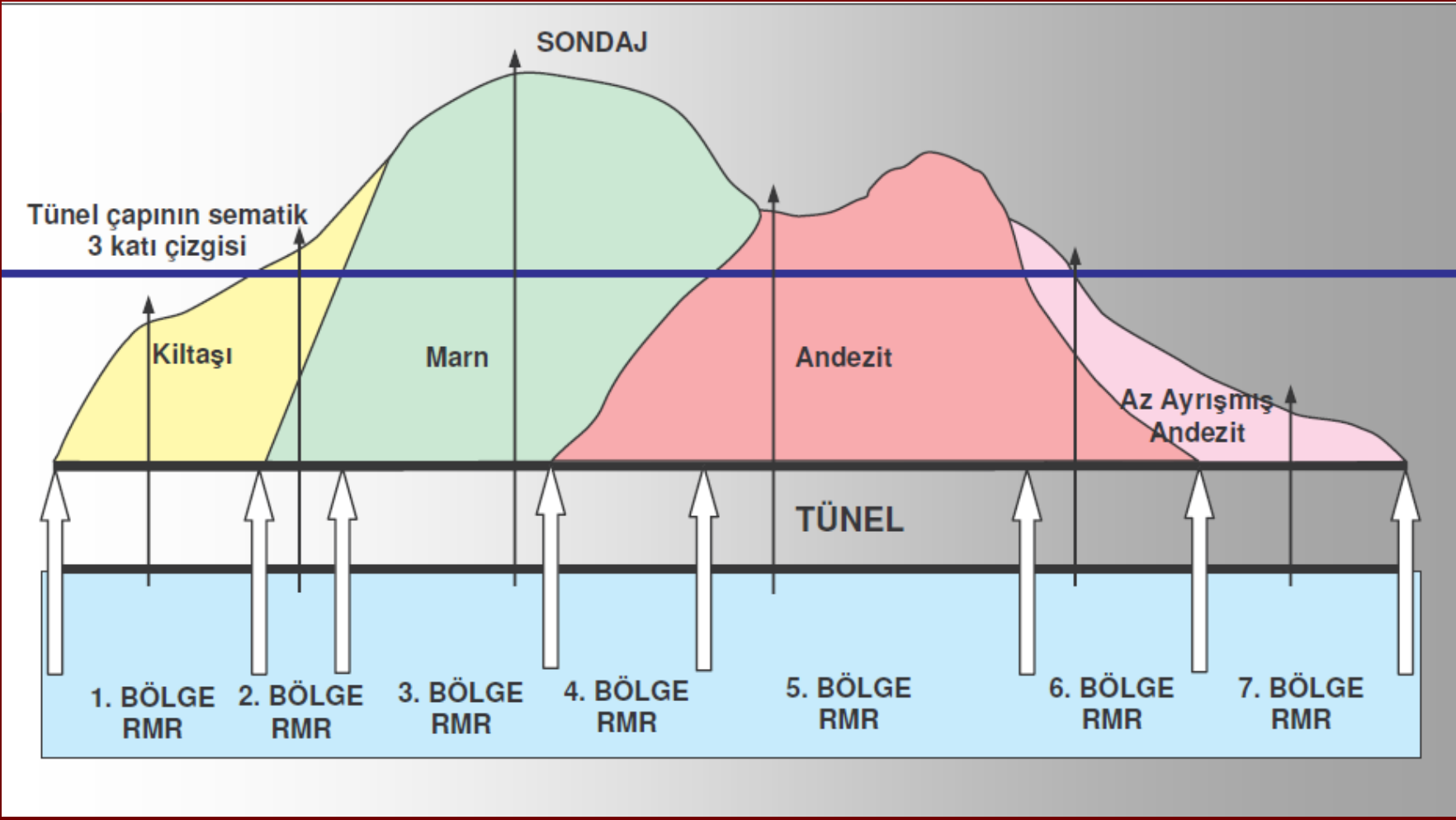
P: Destek basıncı kN/m²

γ : Kayanın birim hacim ağırlığı kN/m³

B: Tünel genişliği m

S: Gerilme faktörü (Yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı)





Q Sistemi (NGI Sınıflaması)

- 1974 yılında Barton ve arkadaşları tarafından Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nde geliştirilmiş bir sınıflamadır. Sistem altı adet parametreyi esas almaktadır:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{W_w}{SRF}$$

RQD	: kaya kalitesi tanımı
J _n	: eklem takım sayısı
J _r	: eklem pürüzlülük sayısı
J _a	: eklem alterasyon sayısı
J _w	: eklem suyu indirgeme sayısı
SRF	: gerilme indirgeme faktörü

Q DEĞERİNE BAĞLI KAYA KÜTLESİ SINIFLAMASI

<u>Q değeri</u>	<u>Kaya kütlesi sınıfı</u>
1000 - 400	Son derece iyi
400 - 100	Pek çok iyi
100 - 40	Çok iyi
40 - 10	İyi
10 - 4	Orta
4 - 1	Zayıf
1 - 0,1	Çok zayıf
0,1 - 0,01	Çok fazla zayıf
0,01 - 0,001	Son derece zayıf

Kaya Kalitesi Tanımı (RQD)

	Tanım	Değerlendirme	Not
A	Çok kötü	0-25	*Q hesaplanırken
B	Kötü	26-50	RQD≤10 ise (0 dahil)
C	Orta	51-75	10 alınır.
D	İyi	76-90	*RQD 5 ve katları
E	Mükemmel	91-100	olarak alınır

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{W_w}{SRF}$$

Eklem Takım Sayısı (Jn)

	Tanım	Değerlendirme	Not
A	Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5-1	
B	Bir eklem takımı	2	*Kesişme yerlerinde
C	Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	3	(3xJn)
D	İki eklem takımı	4	*Giriş ve çıkışlarda
E	İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	6	ağızlarında (2xJn)
F	Üç eklem takımı	9	kullanılmalıdır
G	Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	12	
H	Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel çok sayıda eklemler, küp şeker görünümünde	15	
J	Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20	

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{W_w}{SRF}$$

Eklem Pürüzlülük Sayısı (Jr)

	Tanım	Değerlendirme	Not
	a) Kaya duvar kontağı, b) 10 cm lik kesmeden önce kaya duvar kontağı		*İlgili eklem takımlarının ortalama ara mesafesi 3 metreden büyükse 1.0 ilave edilir. *Lineasyon içeren düzlemsel fay aynalı eklemler için, lineasyonların uygun olması koşulu ile Jr=0.5 alınabilir. *B den G ye kadar olanlar küçük, diğerleri büyük yapılardır
A	Süreksiz eklemler	4	
B	Pürüzlü ya da düzensiz dalgalı	3	
C	Düz, dalgalı	2	
D	Sürtünme izli (slikensided) dalgalı	1.5	
E	Pürüzlü veya düzensiz düzlemsel	1.5	
F	Düz, düzlemsel	1	
G	Sürtünme izli, düzlemsel	0.5	
	c) Kesmeden sonra kaya duvar kontağı yok		
H	Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kil mineralleri içeren zon	1	
J	Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kumlu, çakıllı, ezilmiş zon	1	

Ekleme Alterasyon Sayısı (Ja)

	Tanım	Değerlendirme		Not
		Değer	~φ _r	
Kaya duvar kontağı				
A	Sıkıca bağlanmış, sert, yumuşamaz, geçirimsiz dolgu (öğneğin kuvars veya epidot)	0.75	-	*φ _r değerleri, eğer varsa alterasyon ürünlerinin mineralojik özelliklerini yaklaşık olarak göstermek için verilmiştir.
B	Altere olmamış eklem yüzeyleri, sadece yüzeysel paslanma	1	25°-35°	
C	Hafif altere olmuş eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları	2	25°-35°	
D	Siltli veya kumlu kil kaplamaları, düşük kil oranı (yumuşamayan)	3	20°-25°	
E	Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral kaplamalı (kaolinit, mika gibi). Aynacaklorit, talk, jips, grafit ve az miktarda şişen killer (1-2 mm veya daha az kalınlıkta kesikli kaplamalar)	4	8°-16°	
F	Kum taneleri, kil içermeyen kaya parçaları	4	25°-30°	
G	Aşırı konsolide olmuş yumuşamayan kil mineral dolguları (kesiksiz, kalınlık 5 mm'den az)	6	16°-24°	
H	Orta ve yüksek derecede konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolgulu (kesiksiz, kalınlık 5 mm'den az)	8	12°-16°	
J	Şişen kil dolgulu (örn. montmorillonit) (kesiksiz, kalınlık 5 mm'den az). Ja'nın değeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesine ve su etkisinde kalıp kalmayacağına göre değişir	8-12	6°-12°	
b)Kaya duvar kontağı yok				
K	Dağılmış veya ezilmiş kaya ve kil zonları veya bantları	6, 8 _{veya} 8-12	6°-24°	
L	Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, küçük kil parçaları (yumuşamayan)	5	-	
M	Sürekli, kalın kil zonları veya bantları (kilin tanımı için G,H, J şıklarına bakınız)	10, 13 _{veya} 13-20	6°-24°	

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{W_w}{SRF}$$

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{W_w}{SRF}$$

Ekleme Suyu İndergeme Faktörü (Jw)

	Tanım	Değerlendirme		Not
		Değer	Su basıncı (kg/cm ²)	
A	Kuru kazılar veya su gelişi 5 lt/dk dan az	1	<1.0	*C den F ye kadar olan parametreler kaba tahminlerdir. Drenaj yapıldığında Jw arttırılmalıdır. *Buz içeren tabakalar olduğunda farklı problemlerle karşılaşılabilir ve burada göz önüne alınmamıştır.
B	Orta derece su gelişi veya basıncı, genellikle eklem dolgularının yıkanması (5 lt/dk yerel)	0.66	1-2.5	
C	Dolgusuz, dayanımlı ve eklemli kayada çok su gelişi veya yüksek su basıncı	0.5	2.5-10.0	
D	Çok miktarda su gelişi veya yüksek su basıncı ile eklem dolgularının fazlaca yıkanması	0.33	2.5-10.0	
E	Patlatma ile çok fazla su gelişi, zamanla azalma	0.2-0.1	>10.0	
F	Zamanla azalmayan çok fazla su gelişi veya basıncı	0.1-0.05	>10.0	

Eklem İndergeme Faktörü (SRF)

	Tanım	Değerlendirme	Not	
a) Kazıyı kesen ve tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilecek zayıflık zonları			*Kazıyı etkileyen fakat kesmeyen zayıflık zonu varsa SRF değerlerini % 25-50 azaltınız.	
A	Kil veya kimyasal olarak ayrışmış kaya kapsayan birden fazla zayıflık zonu, çevre kaya çok gevşek (herhangi bir derinlikte)	10.0		
B	Kil ve kimyasal olarak ayrışmış kaya kapsayan tek bir zayıflık zonu (kazi derinliği ≤50 m)	5.0		
C	Kil ve kimyasal olarak ayrışmış kaya kapsayan tek bir zayıflık zonu (kazi derinliği >50 m)	2.5		
D	Sağlam kayada çoklu makaslama zonları (kil yok), çevre kaya çok gevşek (herhangi bir derinlikte)	7.5		
E	Sağlam kayada çoklu makaslama zonları (kil yok), çevre (kazi derinliği ≤50m)	5.0		
F	Sağlam kayada çoklu makaslama zonları (kil yok), çevre (kazi derinliği >50m)	2.5		
G	Gevşek, açık eklemler, çok fazla eklemlili veya küp şeker görünümlü (herhangi bir derinlikte)	5.0		
b) Sağlam kaya, kaya gerilme problemleri				
	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1		
H	Yüzeye yakın düşük gerilme	>200	>13	2.5
J	Orta gerilme	200-10	13-0.66	1.0
K	Yüksek gerilme (çok sıkı yapı)	10-5	0.66-0.33	0.5-2.0
L	Orta şid. (masif) kaya patlaması	5-2.5	0.33-0.16	5-10
M	Yüksek şid. (masif) kaya patlaması	<2.5	<0.16	10-20
c) Sıkışan kaya, yüksek basınç altında sağlam olmaya kayanın plastik akışı			*Kazı derinliğinin kazı genişliğinden az olduğu durumlarda SRF yi 2.5 ten 5 e çıkartınız.	
N	Orta miktarda sıkışan kaya basıncı	5-10		
O	Yüksek miktarda sıkışan kaya basıncı	10-20		
d) Şişen kaya; Suyun varlığına bağlı kimyasal şişme				
P	Orta miktarda şişen kaya basıncı	5-10		
R	Yüksek miktarda şişen kaya basıncı	10-15		

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{W_w}{SRF}$$

ESR değerleri

	Kazı Türü	ESR
A	Geçici maden kazıları	3.0-5.0
B	Dikey bacalar (şaftlar)	2.5
	Dairesel kesitli Dikdörtgen/dairesel kesitli	2.0
C	Kalıcı maden kazıları, HES için su tünelleri (cebri borular hariç), pilot tüneller, pilot kazılar, büyük kazılar için yapılan ön kazılar,	1.6
D	Yeraltı depoları, tasfiye odaları, küçük kara ve demiryolu tünelleri, yaklaşım tünelleri, su işlem üniteleri	1.3
E	Santral binaları, ana kara ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları, giriş çıkış ağızları, kesişme bölgeleri	1.0
F	Yeraltı nükleer santralleri, metro istasyonları, fabrikalar ve sosyal tesisler	0.8

ESR: KAZI DESTEK ORANLARI FAKTÖRÜ

KAYA KÜTLESİ NİTELİĞİ (Q) İÇİN DESTEK SİSTEMLERİ

A - Q = 1000 -10 İÇİN DESTEK SİSTEMLERİ

Destek Katego.	Q	Şartlı faktörler			Destek Tipi
		$\frac{RQD}{J_n}$	$\frac{J_r}{J_a}$	$\frac{Kazı eni}{ESR}$	
1	1000-400	-	-	20-40	sb(utg)
2	1000-400	-	-	30-60	sb (utg)
3	1000-400	-	-	46-80	sb (utg)
4	1000-400	-	-	65-100	sb (utg)
5	400-100	-	-	12-30	sb (utg)
6	400-100	-	-	19-45	sb (utg)
7	400-100	-	-	30-65	sb (utg)
8	400-100	-	-	48-88	sb (utg)
9	100-40	≥ 20 <20	-	8,5-19	sb (utg) B (utg) 2,5 - 3 m
10	100-40	≥ 30 <30	-	14-30	B (utg) 2 - 3 m B (utg) 1,5-2 m+clm
11	100-40	≥ 30 >30	-	23 -48	B (tg) 2 - 3 m B(tg)1,5-2m
12	100-40	≥ 30 <30	-	40-72	B (tg) 2 - 3 m B (tg) 1,5-2 m+clm
13	40-10	≥ 10 ≥ 10 <10	$>1,5$ $<1,5$ $\geq 1,5$ $<1,5$	5-14	sb (utg) B (utg) 1,5 - 2 m B(utg) 1,5-2m B (utg) 1,5 - 2 m + S 2 - 3 cm
14	40 - 10	≥ 10 < 10 -	- - -	9-23	B (tg) 1,5 - 2 m+clm B (tg) 1,5 - 2 m + S (mr) 5 - 10 cm B (utg) 1,5-2 m+clm
15	40 - 10	> 10 ≥ 10	- -	15-40	B (tg) 1,5 - 2 m+clm B (tg) 1,5 - 2 m + S (mr) 5 - 10 m
16	40 - 10	> 15 ≥ 15	- -	30-65	B (tg) 1,5 - 2 m+clm B (tg) 1,5 - 2 m + S (mr) 10 - 15 cm

B - Q = 10 -1 İÇİN DESTEK SİSTEMLERİ

Destek Katego.	Q	Şartlı faktörler			Destek Tipi
		$\frac{RQD}{J_n}$	$\frac{J_r}{J_a}$	$\frac{\text{Kazı eni}}{\text{ESR}}$	
17	10-4	> 30	-	3,5-9	sb (utg)
		$\geq 10, \leq 30$	-		B (utg) 1 - 1,5 m
		< 10	-		B (utg) 1 - 1,5 m +S2 - 3 cm
		< 10	-		S 2 - 3 cm
18	10-4	> 5	-	7-15	B (tg) 1 - 1,5 + clm
		> 5	-		B (utg) 1 - 1,5 m+clm
		≤ 5	-		B (tg) 1 - 1,5 m +S 2 - 3 cm
		≤ 5	-		B (utg) 1 - 1,5 m + S 2-3 cm
19	10-4	-	-	12-29	B (tg) 1-2 m +S (mr) 10-15 cm
		-	-	< 20	B (tg) 1-1,5 m +S (mr) 5-10 cm
20	10-4	-	-	24-52	B (tg) 1-2 m +S (mr) 20-25 cm
		-	-	< 35	B (tg) 1-2 m +S (mr) 10-20 cm
21	4-1	$\geq 12,5$	$\leq 0,75$	2,1-6,5	B (utg) 1m +S 2-3 cm
		< 12,5	$\leq 0,75$		S 2,5-5 cm
			> 0,75		B (utg) 1m
22	4-1	>10, <30	> 1,0	4,5-11,5	B (utg) 1 m + clm
		≤ 10	> 1,0		S 2,5-7,5 cm
		< 30	$\leq 1,0$		B (utg) 1 m +S (mr) 2,5-5 cm
		≥ 30	-		B (utg) 1 m
23	4-1	-	-	8-24	B (tg) 1-1,5 m +S (mr) 10-15 cm
		-	-	< 15	B (utg) 1-1,5 m +S (mr) 5-10 cm
24	4-1	-	-	18-46	B (tg) 1-1,5 m +S (mr) 15-30 cm
		-	-	< 30	B (tg) 1-1,5 m +S (mr) 10-15 cm

C - Q = 1,0-0,1 İÇİN DESTEK SİSTEMLERİ

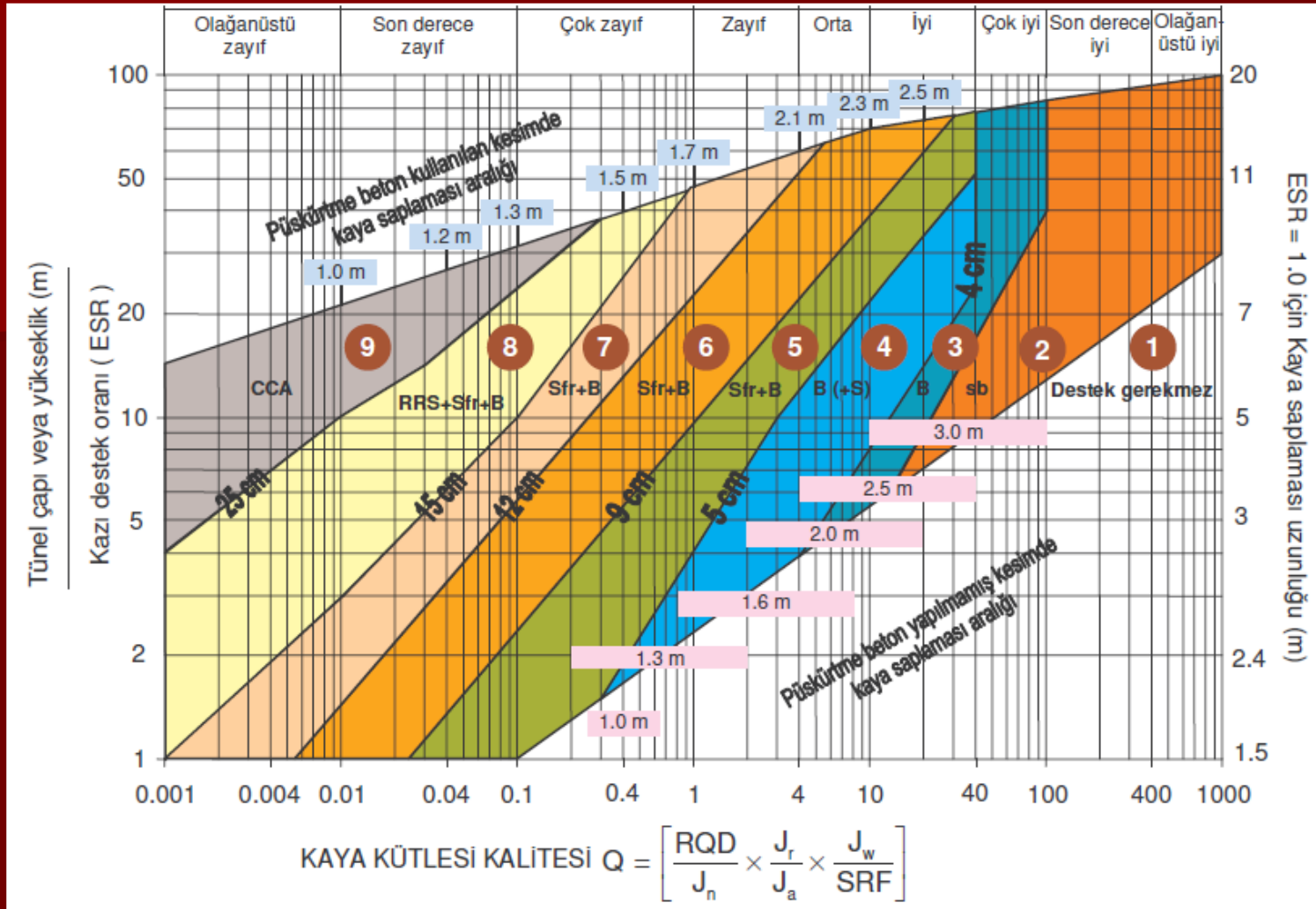
Destek Kategori	Q	Şartlı faktörler			Destek Tipi
		$\frac{RQD}{J_n}$	$\frac{J_r}{J_a}$	$\frac{Kazı\ eni}{ESR}$	
25	1,0-0,4	> 10	> 0,5	-	B (utg) 1 m+mr veya clm
		≤ 10	> 0,5	-	B (utg) 1 m + S (mr) 5 cm
		-	≤ 0,5	-	B (tg) 1 m + S (mr) - 5 cm
26	1,0-0,4	-	-	-	B (tg) 1 m
		-	-	-	+S (mr) 5-7,5 cm
		-	-	-	B (utg) 1 m + S 2,5 - 5 cm
27	1,0-0,4	-	-	≥ 12 m	B (tg) 1 m
		-	-	-	+S (mr) 7,5 - 10 cm
		-	-	< 12 m	B (utg) 1 m
		-	-	-	+S (mr) 5-7,5 cm
		-	-	> 12 m	CCA 20-40 cm
		-	-	-	+B (tg) 1 m
28	1,0-0,4	-	-	< 12 m	S (mr) 10-20 cm
		-	-	-	+B (tg) 1 m
		-	-	≥ 30 m	B (tg) 1 m
		-	-	-	+S (mr) 30-40 cm
		-	-	≥ 20 < 30m	B (tg) 1 m
		-	-	-	+S (mr) 20-30 cm
29	0,4-0=0,1	-	-	< 20 m	B (tg) 1 m
		-	-	-	+S (mr) 15-20 cm
		-	-	-	CCA (sr) 30-100 cm
		-	-	-	B (tg) 1 m
30	0,4-0,1	> 5	> 0,25	-	B (utg) 1 m+S 2-3 cm
		-	> 0,25	-	B (utg) 1 m+S (mr) 5 cm
		-	≤ 0,25	-	B (tg) 1 m+S (mr) 5 cm
31	0,4-0,1	≥ 5	-	-	B (tg) 1 m+S 2,5-5cm
		< 5	-	-	S (mr) 5-7,5 cm
		-	-	-	B (tg) 1m+S (mr) 5-7,5
32	0,4-0,1	> 4	-	-	B (tg) 1 m
		≤ 4, ≥ 1,5	-	-	+S (mr) 5-12,5 cm
		< 1,5	-	-	S (mr) 7,5-25 cm
		-	-	-	CCA 20-40 cm
		-	-	-	+B (tg) 1m
33	0,4-0,1	-	-	-	CCA (sr) 30-50 cm
		-	-	-	+B (tg) 1 m
		-	-	≥ 20 m	B (tg) 1 m
		-	-	-	+S (mr) 40-60 cm
34	0,4-0,1	-	-	< 20 m	B (tg) 1 m
		-	-	-	+S (mr) 20-40 cm
		-	-	-	CCA (sr) 40-120 cm
35	0,4-0,1	-	-	-	+B (tg) 1 m
		-	-	-	-

D - Q = 0,1-0,001 İÇİN DESTEK SİSTEMLERİ

Destek Kategori	Q	Şartlı faktörler			Destek Tipi
		$\frac{RQD}{J_n}$	$\frac{J_r}{J_a}$	$\frac{\text{Kazı eni}}{\text{ESR}}$	
33	0,1-0,01	≥ 2	-	-	B (tg) 1 m +S (mr) 2,5-5 cm
		< 2	-	-	S (mr) 5-10 cm
		-	-	-	S (mr) 7,5-15 cm
34	0,1-0,01	≥ 2	$\geq 0,25$	-	B (tg) 1 m +S (mr) 5-7,5 cm
		< 2	$\geq 0,25$	-	S (mr) 7,5-15 cm
		-	$< 0,25$	-	S (mr) 15-25 cm
		-	-	-	CCA (sr) 20-60 cm +B (tg) 1 m
35	0,1-0,01	-	-	≥ 15 m	B (tg) 1m +S (mr) 30-100 cm
		-	-	≥ 15 m	CCA (sr) 60-200 cm +B (tg) 1 m
		-	-	< 15 m	B (tg) 1 m+S (mr) 20-75 cm
		-	-	< 15 m	CCA (sr) 40-150 cm +B (tg) 1 m
36	0,01-0,001	-	-	-	S (mr) 10-20 cm
		-	-	-	S (mr) 10-20 cm +B (tg) 0,5-1,0 m
37	0,01-0,001	-	-	≥ 10 m	CCA (sr) 100-300 cm
		-	-	≥ 10 m	CCA (sr) 100-330 cm +B (tg) 1 m
		-	-	< 10 m	S (mr) 70-200 cm
		-	-	< 10 m	S (mr) 70-200 cm +B (tg) 1 m

sb = Yersel bulonlama
(utg) = Germesiz, enjeksiyonlu
B = Sistematik bulonlama
(tg) = Germeli, enjeksiyonlu
sr = Çelik donatı

clm = Zincir kafes
S = Shotcrete
mr = Tel kafes
CCA = Beton kemer



DESTEK KATAGORİLERİ

- 1) Desteksiz
- 2) Yerel bulonlama
- 3) Sistematik bulonlama
- 4) Sistematik bulonlama (ve takviyeli, püskürtme beton 4-10 m)
- 5) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton 5-9 cm
- 6) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton ve bulonlama, 9-12 cm
- 7) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton ve bulonlama, 12-15 cm
- 8) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton >15 cm, güçlendirilmiş Çelik hasırlı püskürtme beton ve bulonlama
- 9) Beton kaplama
- 5) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton 5-9 cm)

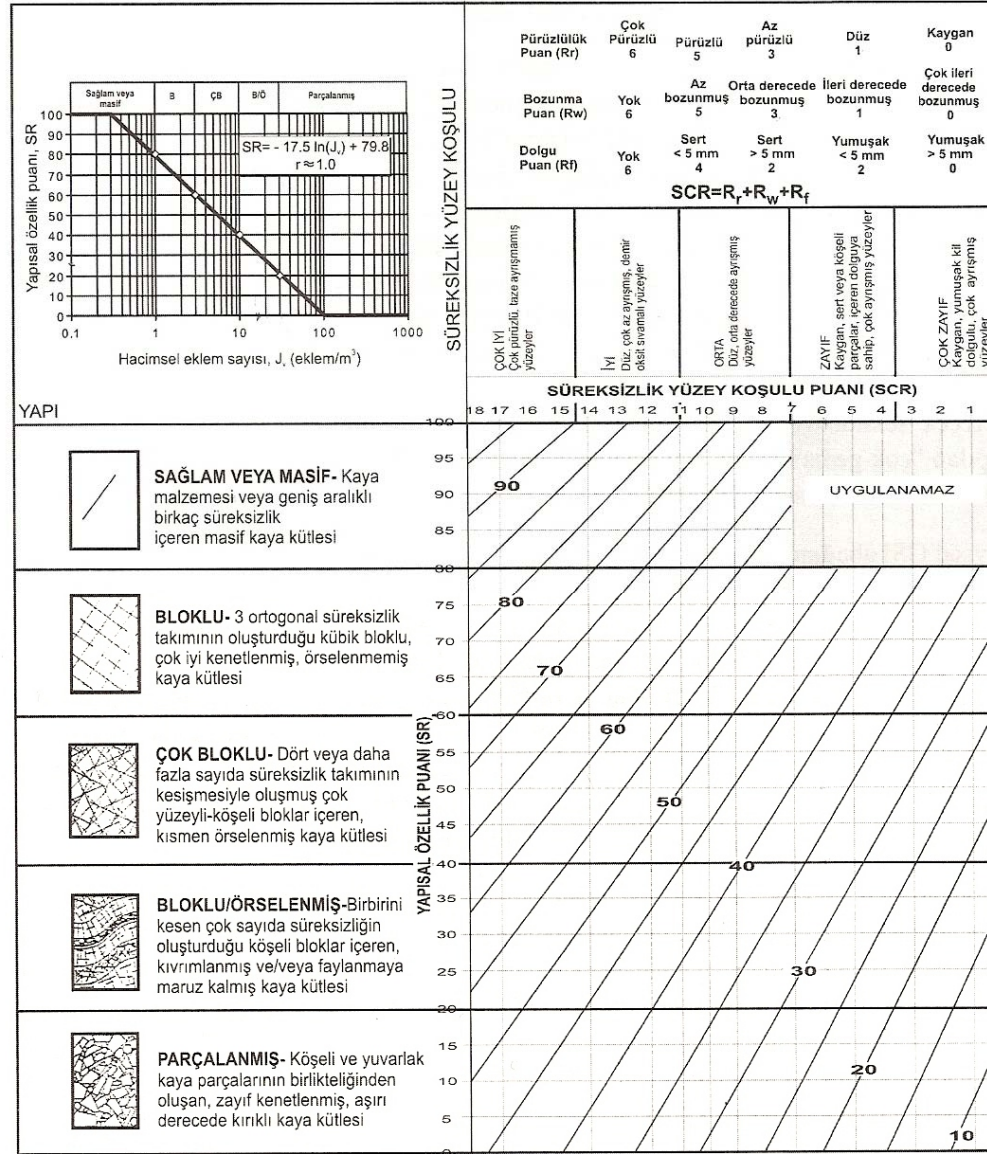
$$B_{\max} = 2(ESR)Q^{0.4}$$

$$P_{tavan} = \left(\frac{2}{J_r}\right)Q^{-1/3}$$

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

İlişki	Ülke	Kazı türü
RMR= 13.5 logQ+43	Yeni Zelanda	Tüneller
RMR= 12.5 logQ+55.2	İspanya	Tüneller
RMR= 5 lnQ+60.8	G. Afrika	Tüneller
RMR= 213.89-9.19 lnQ	İspanya	Madencilik-yumuşak kaya
RMR= 10.5 lnQ+41.8	İspanya	Madencilik-yumuşak kaya
RMR= 12.11 logQ+50.81	Kanada	Madencilik- sert kaya
RMR= 8.7 lnQ+38	Kanada	Tüneller-sedimanter kaya
RMR= 10 lnQ+39	Kanada	Madencilik- sert kaya

JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ (GSI)



Şekil 5.22. Sönmez ve Ulusay (1999)'ın önerdiği niceliksel GSI Sınıflama Sistemi Abağı'nın "Sağlam ve Masif" kaya grubu da eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali (Sönmez ve Ulusay, 2002).