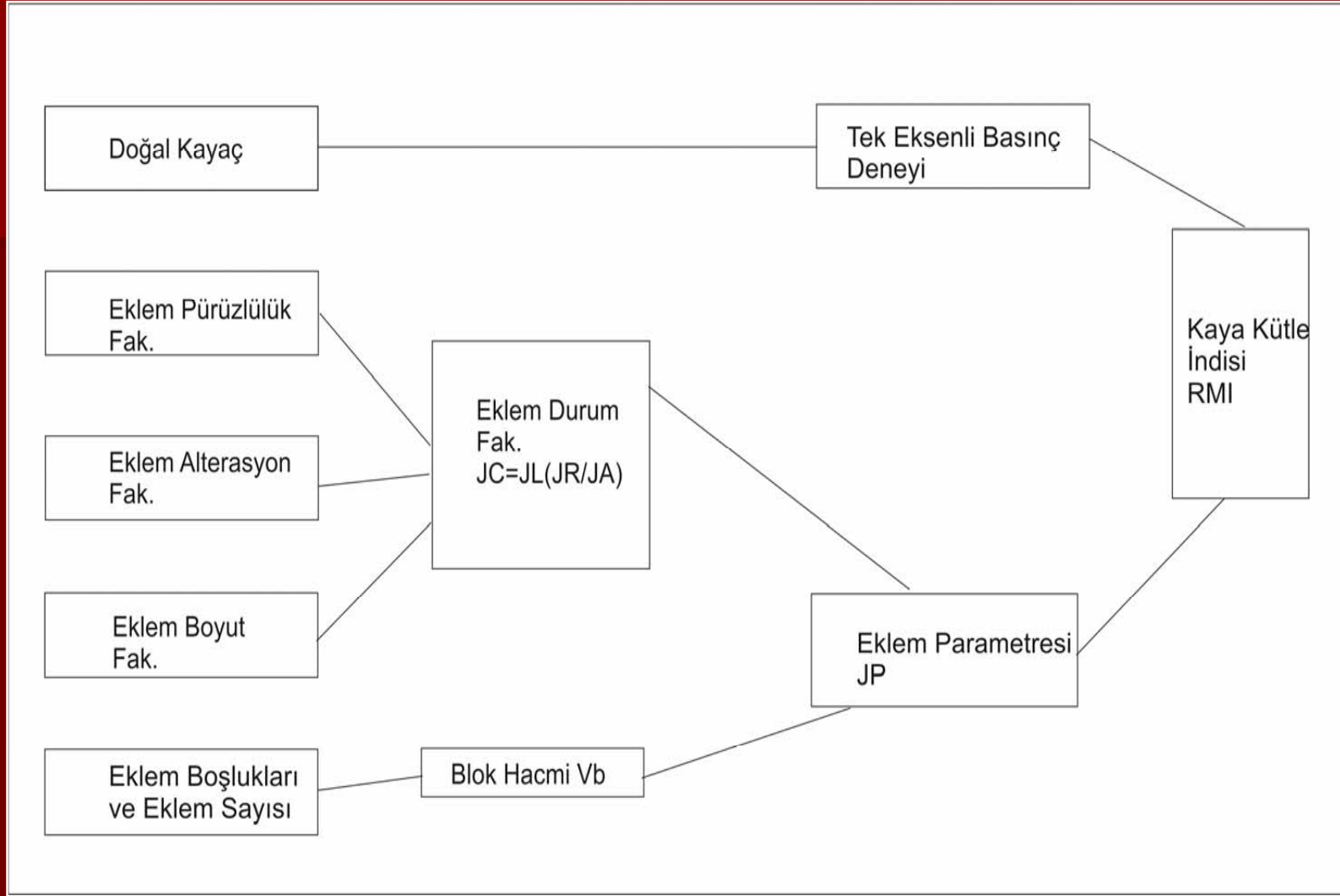


# Kaya Kütlesi İndisi Sistemi (RMI)

Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kullanılan kaya sınıfı parametreleri birbirleriyle benzer şekildedir. Kaya mühendisliği sınıflamaları sistemi, kaya mühendisliği ve dizayn açısından önemli bir role sahiptir (Bieniawski, Şubat 2008). Kaya tahkimat sistemlerinin tahmininde, kayanın durumu için önem teşkil eden girdi parametreleri, Q ve RMR (Rock Mass Rating) sistemlerinde kullanılmaktadır.

Tünel stabilitesi için sınıflamada kullanılan bu parametrelerin her biri belirlenen değerler veya puanlar toplanarak bir kaya sınıfını ortaya çıkartmaktadır. Ayrıca NATM (New Austrian Tunneling Method) ve RMI tahkimat metodlarında benzer parametreler kullanılmaktadır.

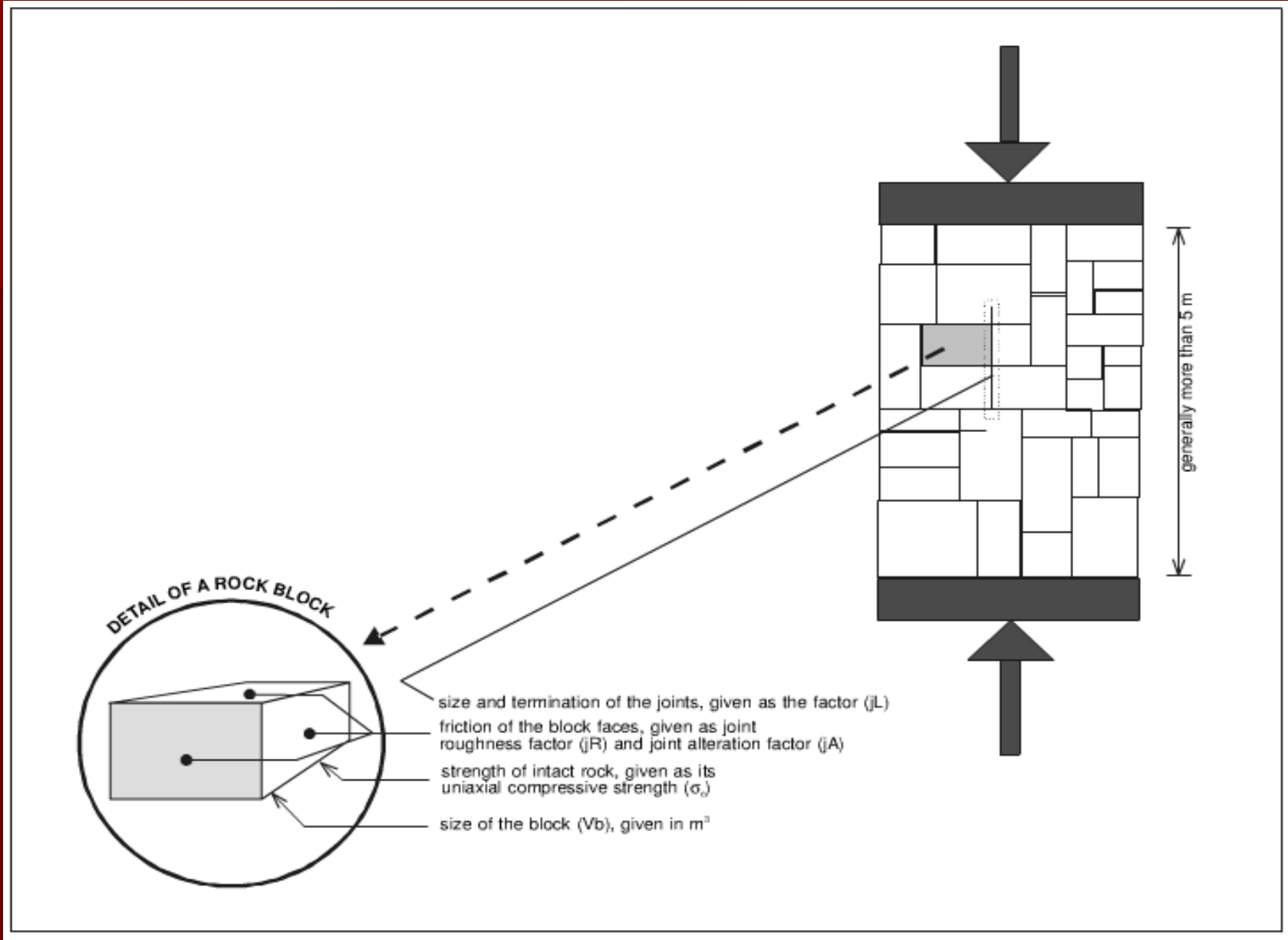
Çoğu mühendislik çalışmaları, değişik tanımlamalar, sınıflandırmalar ve tecrübelerden elde edilen bilgilerden yararlanılarak başarılmıştır. Hoke ve Brown, Bieniawski, Snow, Griani ve daha pek çok yazar, kaya kütlelerinin 'dayanım karakterizasyonu' na ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Kaya kütle indisi sistemi (RMI), bu ihtiyacı karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Mühendislik çalışmalarında en önemli işlemlerden birisi de RMI 'deki parametrelerin doğru bir şekilde kullanımıdır.



**RMI'nın önemli unsuru olan eklemler sisteminin genel prensip şeması (Palmstrom, 1995)**

RMI, önceki genel sınıflamalardan sayısal, üstel formüller içerdiği için daha farklı ve mühendislik jeolojisi uygulamalarında, tasarımların kullanılmasında yer almış bir sistemdir.

RMI'de girdi parametreleri olarak kullanılan önemli parametrelerden temel ikisi, tek eksenli basınç deneyi değeri ve eklem parametreleridir. Tek eksenli basınç dayanımı değeri genel olarak laboratuvar testlerinden elde edilmektedir. Fakat bu her zaman arazi koşullarında bu mümkün olmayabilir. Bundan dolayı Palmstrom'un geliştirmiş olduğu Şekil 15 de görülen bir kaya kütlesindeki yaklaşık olarak tek eksenli basınç deneyini karakterize eden şematik kesit mevcuttur.



**Kaya kütlesindeki yaklaşık olarak kayacın tek eksenli basınç dayanımını karakterize eden parametreler (Palstrom, 1995)**

RMI, kaya içerisindeki eklemlenmelerin kesişmesinin dayanımını düşüreceği prensibi üzerine kurulmuştur. Bu durum aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Palström,1995);

$$RMI = \sigma_c * JP$$

$\sigma_c$ :Doğal kayalar örneklerinde hesaplanmış olan, kayacın tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)

JP :Doğal kayaçta eklemlenmeler sebebiyle meydana gelen dayanım kaybını ifade eden, eklemlenme parametresidir



***Eklem parametresi (JP)***, blok büyüklüğünden yola çıkılarak elde edilen blok hacmi ( $V_b$ ) ve eklem durumu faktörü ( $jC$ ) ile hesaplanmaktadır.

***Blok hacmi ( $V_b$ )***, eklemlerin yoğunluğu ile veya eklemlerin derecelerinin ölçümü ile hesaplanmaktadır. Bundan dolayı da kayanın geometrisini doğru tanımlamak önemlidir.

***Eklem durumu faktörü ( $jC$ )***, bloklar arası sürtünme özelliğini ifade eder

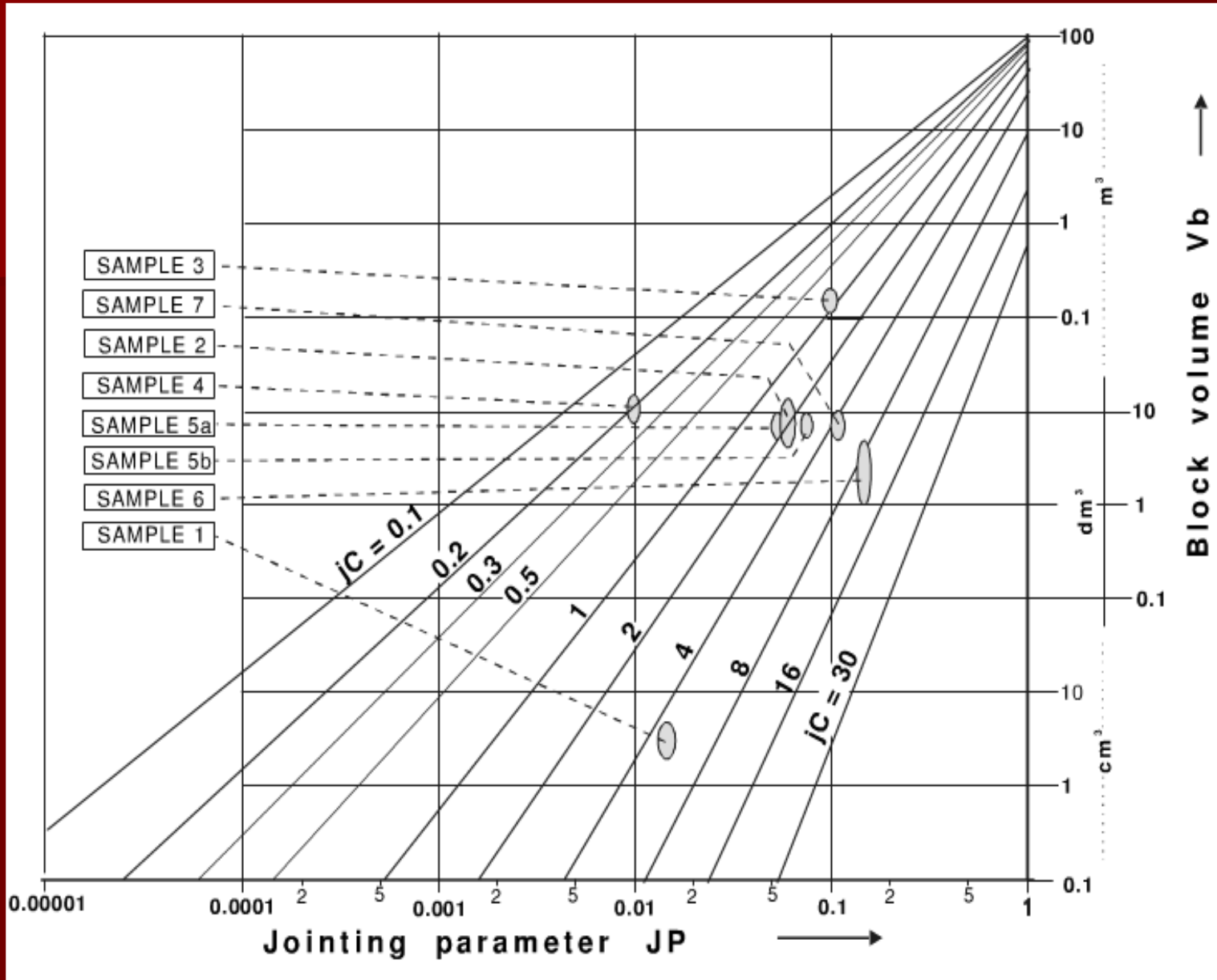
***Eklem büyüklük faktörü ( $j_L$ )***, eklemler için büyüklük faktörünün doğru seçilmesi önemli bir parametredir. Uzun kırık-çatlakların kayaya etkisi oldukça fazladır.

$$j_C = j_L * j_R / j_A$$

$j_R$ : Duvar yüzeylerindeki eklem düzlemselliği ve eklem pürüzlülüğü (Q sistemindeki  $J_r$  ile benzer şekilde)

$j_A$ : Duvar eklemine izafi karakteri, eklem ayrışma faktörü (Q sistemindeki  $J_a$  ile benzer şekilde)

$j_L$ : Eklem büyüklüğü ve devamlılık faktörü



**Eklem parametresi (JP) ve blok hacmi (Vb) ile eklem durum faktörü (jC) diyagramı**

Kaya tahkimat sistemi tahmininde RMI'nin kullanımı ise;  
Eklemlili kayalarda ve bloklu zeminlerde gerilme nin etkisi (SL)  
yer altı suyu (GW) etki etmektedir.Böylece ;

Zemin durum faktörü ;  $G_c = RMI * SL * GW$  olarak hesaplanır.

$G_c$  tahkimat yapılacak bölgenin büyüklüğü veya geometrisi ile orantılıdır. Bu nedenle;

$$S_r = D_t / D_b * C_o / N_j$$

$D_t$ : Tünel çapı

$D_b$ : Blok çapı

$C_o$ : Ana eklemlerin yönelimi

$N_j$ : Ana eklemlerin sayısı

## **RMR, Q ve RMI sistemleri arasındaki farklar**

Üç sistemdeki yaygın parametreler her ne kadar aynı gibi görünse de birtakım farklılıklar içermektedir.

**1-** Girdi parametrelerinin hesaplanması üç sistemde de farklıdır

-RMR sistemini kullananlar parametrelerdeki verilen değerleri toplayarak RMR değerine ulaşırlar

-Q sisteminde, seçilen veriler ile bir takım çarpma ve bölme işlemi yapılır

-RMI sistemini kullananlar ise çarpmanın kombinasyonu ile üstel hesaplamalar yapar ve daha doğru sonuçlar ortaya çıkar

**2-Kaya kalitesine göre tahkimatın seçiminde farklı yollar bulunur**

-RMR'de bir tablodan seçim yapılır (10 m yüksekliğindeki bir tünel)

-Q sisteminde; grafik üzerinde Q değeri ile tünel çapı veya yüksekliği karşılaştırılır ve tahkimat belirlenir

-RMI'de destek sistemleri ikiye ayrılır

*a)*Eklemlili kayalar, zemin koşulları ve geometrik oranlar (tünel büyüklüğü-çapı, blok büyüklüğü) ile grafik yardımıyla,

*b)*Aşırı gerilme olan zeminlerde (masif kayalar ve iri bloklar), teğetsel gerilmelerin yoğun olduğu yerlerde RMI değerlerine göre tahkimat sistemi oluşturulur.

**3-** Q sisteminde kaya parametreleri direkt olarak girilmemektedir, fakat bu parametrelerden bazıları dolaylı olarak kullanılmaktadır. 2002'de tek eksenli basınç deneyini direk olarak içeren Qc sistemi ortaya konuldu (Barton, 2002). Şimdiye kadar tahkimat sistemi için bu parametre nadiren kullanılıyordu.



**4-** RMR sisteminde gerilme 25 Mpa'a kadardı. Bunun anlamı RMR'da, tünelde gerilme problemi yoktur (örneğin, kaya patlaması, sıkışma vs).

**5-** Zayıf zonlar için üç sistemde farklı farklı nitelendirme yapmıştır. RMR'de özel bir parametre yoktur, Q sisteminde zonun derinliğine ve bileşimine bağlı tanımlama yapılmıştır. RMI sisteminde zonun büyüklüğüne yer verilmiştir.

# RMR, Q ve RMI sistemlerinde kullanılan girdi parametreleri

GİRDİ PARAMETRELERİ		BİRİM	KULLANILAN SEMBOL		
Parametre	Sınıflama		RMR	Q	RMI
A. Kaya	Tek Eksenli Basınç değeri	MPa	A1	1)	$\sigma_c$
B. Eklem durumu	RQD (Kaya Kalitesi Göstergesi)	%	A2	RQD	-
	Blok hacmi	m <sup>3</sup>	-	-	Vb
	Ortalama süreksizlik aralığı	m	A3	-	-
C. Eklem patemi	Eklem sistemi sayısı	puanlama	-	Jn	Nj
	Ana eklem takımının yönelimi	puanlama	B	-	Co
D. Eklem karakteristikleri	Eklem pürüzlülüğü	puanlama	A4c	Jr(2)	jR(2)
			-		$\frac{jS}{jW}$
	Eklem ayrışması (ayrışma ve dolgu)	puanlama	A4e	Ja	jA
	Eklem büyüklüğü	puanlama	A4a	-	jL
	Eklem devamlılığı	puanlama	-	-	cj
	Eklem açıklığı	puanlama	A4b	-	-
E. Kesişim (Interlocking)	Kayanın örselenme durumu	puanlama	-	-	IL
F. Yer altı suyu	Su gelişi veya su basıncı	puanlama	A5	Jw	GW
G. Kaya genilmesi (Tünel etrafında)	Gerilme seviyesi	puanlama	-	SRF	SL
	Aşırı genilme (kaya patlaması sıkışan zemin)	puanlama	-		CF(3)
H. Zayıf zon	Zayıf zonun tipi	puanlama	-	-	-
	Zayıf zonun büyüklüğü	m	-	-	Tz
	Zonun yönelimi	puanlama	-	-	Coz

# Sistemlerin karşılaştırılmasıyla ilgili örnekler

*Orta derecede eklem sıklığına sahip bir tünelde ;*  
10 m çapında bir otoyol tüneli için verilen karakteristikler aşağıdaki gibidir.

- Jeolojik birim granittir.
- Tek eksenli basınç deneyi  $\sigma_c = 125$  Mpa
- Eklem sayısı: 2 eklemli
- Eklem yönelim durumu: Uygun
- RQD değeri (Ort.): %85
- Blok hacmi  $V_b$ : 0.1 m<sup>3</sup>
- Eklem açıklığı: 0,2-0,4m
- Eklem dolgusu yok ve düzlemsel
- YAS durumu: Nemli
- 100 m örtü kalınlığında orta gerilme mevcut

Example 1: Moderately jointed rockmass		input symbol	Values or ratings in:				
INPUT PARAMETERS			RMR	Q	RMi		
A. ROCK	A1. Uniaxial compressive strength	f / value	A1 = 12	-	$\sigma_c = 125\text{MPa}$		
B. DEGREE OF JOINTING	B1. RQD	b / value	A2 = 17	RQD = 85	-		
	B2. Block size	value	-	-	$V_b = 0.1\text{m}^3$		
	B3. Average joint spacing	c	A3 = 10	-	-		
C. JOINTING PATTERN	C1. Number of joint sets	e	-	$J_n = 6$	$N_j = 1.2$		
	C2. Orientation of main joint set in roof	b	B = -2	-	$C_o = 1$		
D. JOINT CHARACTERISTICS	D1. Smoothness	joint roughness	b	A4c = 5	$J_r = j_s \times j_w = 1.5$	$j_s = 1.5$	
	D2. Undulation		e	-		$j_w = 1$	
	D3. Joint alteration	weathering	b	A4e = 6	A4 = 23	$J_a = 1$	$J_a = 1$
		filling		A4d = 6			
	D4. Joint size or persistence	e	A4a = 2	-		$J_l = 1$	
D5. Joint separation (aperture)	c	A4b = 4	-	-			
E. INTERLOCKING OF ROCKMASS		b	-	-		$I_L = 1$	
F. GROUND WATER		b	A5 = 10	$J_w = 1$	$G_W = 1$		
G. STRESSES AROUND TUNNEL		c	-	SRF = 1	SL = 1		
Ground parameters for support evaluation			RMR = 70	span/ESR = 10 Q = 21.3	$S_r = 13.5$ $G_c = 14.0$		
			good	good	good		
Estimated rock support, in roof			RMR	Q	RMi		
Rock bolt spacing			2.5m	spot bolting	2 - 3m		
Shotcrete thickness			50mm *)	-	40 - 50mm		

\*) where required

## ***Bol kırık çatlaklı kayaya sahip bir tünelde;***

Norveç'de 6 km uzunluğunda, 8 m çapında bir tünele ait karakteristikler aşağıdadır;

-Jeolojik birim meta-kumtaşıdır

- Tek eksenli basınç deneyi  $\sigma_c = 100 \text{ Mpa}$

- Eklem sayısı 3 ve düzensiz

- Eklem yönelimi : Uygun değil ve çok parçalı

- RQD değeri (Ort): %10

- Blok hacmi  $V_b$  (Ort): 0,001 m<sup>3</sup>

- Eklem arası açıklığı : 5-20 cm

- Örtü kalınlığı 40-100 m ( Orta Gerilme )

- YAS: Yok denecek kadar az oranda su gelimi

Example 2: Highly jointed rockmass		Rating symbol	Values or ratings used in:				
INPUT PARAMETERS			RMR	Q	RMi		
A. ROCK	A1. Uniaxial compressive strength	e //value	A1 = 7	-	$\sigma_c = 100\text{MPa}$		
B. DEGREE OF JOINTING	B1. RQD	e //value	A2 = 5	RQD = 10	-		
	B2. Block size	value	-	-	$V_b = 0.001\text{m}^3$		
	B3. Average joint spacing	d	A3 = 8	-	-		
C. JOINTING PATTERN	C1. Number of joint sets	e	-	$J_n = 6$	$N_j = 1.2$		
	C2. Orientation of main joint set (in roof)	c	B = -5	-	$C_o = 1.5$		
D. JOINT CHARACTERISTICS	D1. Smoothness	joint roughness	d	A4c = 1	$J_r = j_s \times j_w = 1$	$j_s = 1$	
	D2. Undulation		e	-		$j_w = 1$	
	D3. Joint alteration	weathering	f	A4e = 0	A4 = 13	Ja = 3	jA = 3
		filling		A4d = 6			
	D4. Joint size or persistence	e	A4a = 2	-		jL = 1	
D5. Joint separation (aperture)	c	A4b = 4	-	-			
E. INTERLOCKING OF ROCKMASS		b	-	-		IL = 1	
F. GROUND WATER		c	A5 = 7	$J_w = 0.66$	GW = 1		
G. STRESSES AROUND TUNNEL		c	-	SRF = 1	SL = 1		
Calculated parameters for support evaluation →			RMR = 35	Span/ESR = 10	Sr = 75		
			<i>poor</i>	Q = 0.28	Gc = 0.34		
				<i>very poor</i>	<i>very poor</i>		
Rock support, in roof			RMR	Q	RMi		
Rock bolt spacing			1 - 1.5	1.4 m	1.2 – 1.5m		
Shotcrete thickness			100 – 150mm	100 – 150mm	200mm		
Additional support			Light steel ribs spaced 1.5m where required				

Örneklerden de görölüyor ki ;

Eklemlerin durumu, dolgusu, yönelimi vb. parametreler sonucu direk olarak etkilemekte ve her üç sistemde de tahkimat sistemi de değişkenlik göstermektedir. RMR sisteminde tünel için en önemli parametrelerden overstress (aşırı gerilme) squeezing (sıkışan zemin) ve kaya patlamalarına değinilmemiştir. Bu sebeple kaya durumu, çok zayıf olması gerekirken zayıf çıkmıştır.

RMI tahkimat açısından kendini güvenli tarafa almaktadır ve zayıf zonların belirlenmesinde önem teşkil etmektedir.

Q,RMR ve RMI sınıflamasına ait korelasyonlar Şekil 17'de verilmiştir.



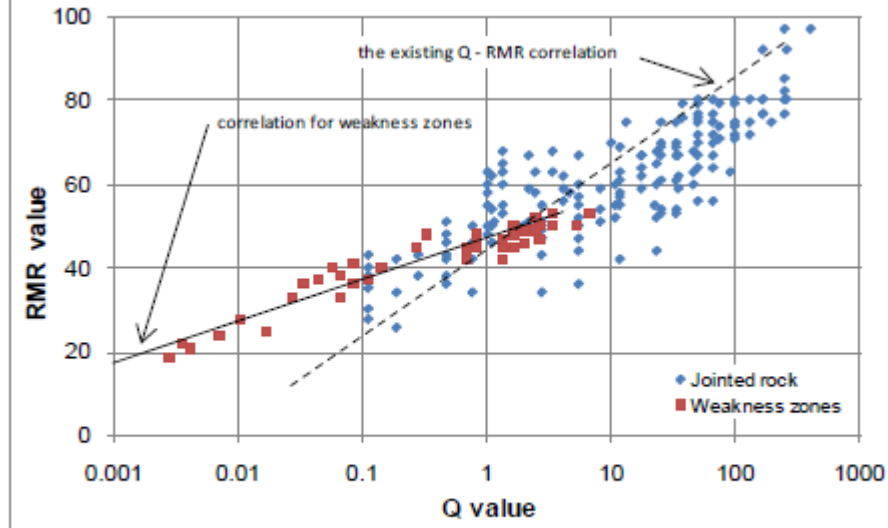


Figure 1. Comparison between the RMR and Q systems

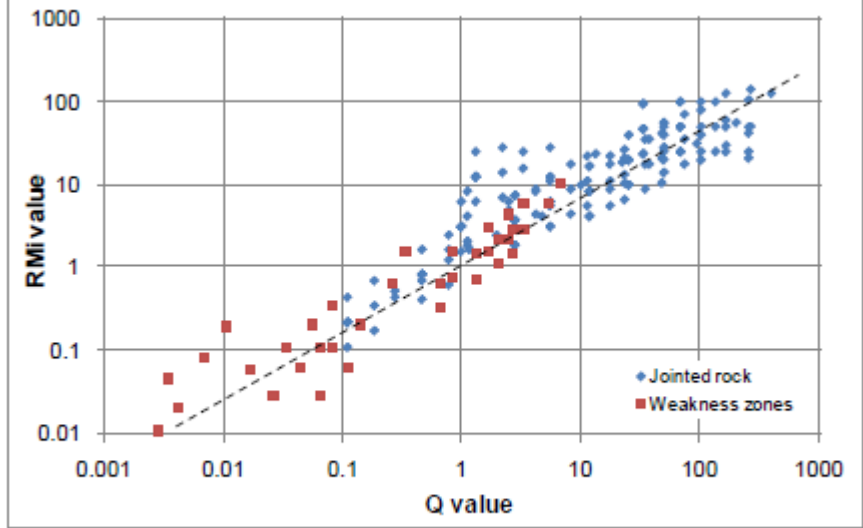


Figure 2. Comparison between the Q and RMI systems

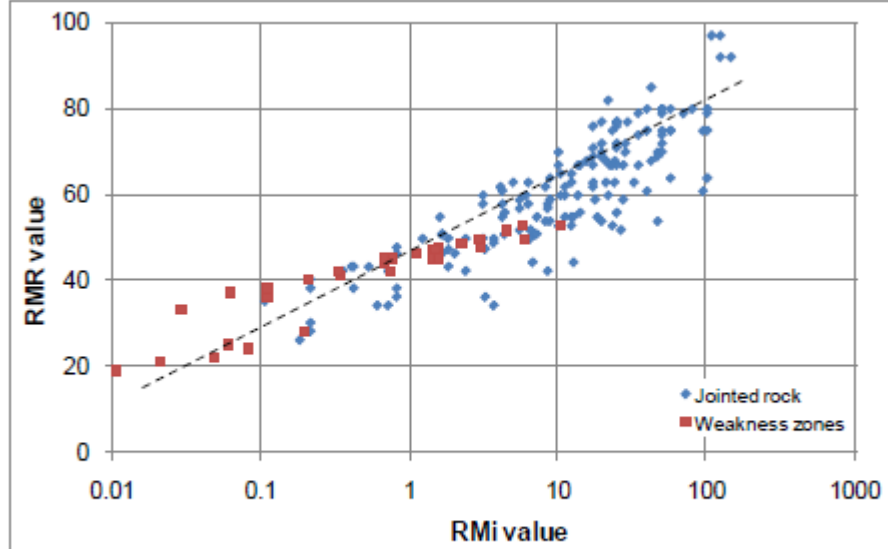


Figure 3. Comparison between the RMR and RMI systems

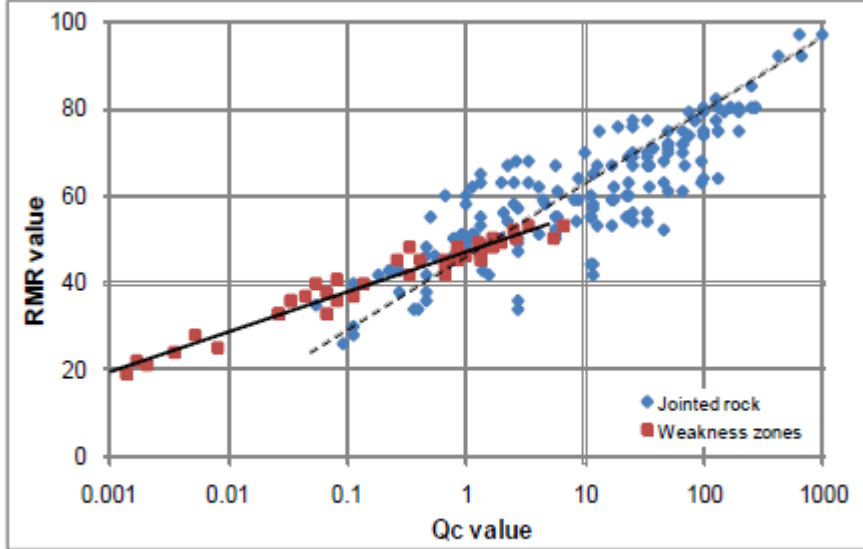
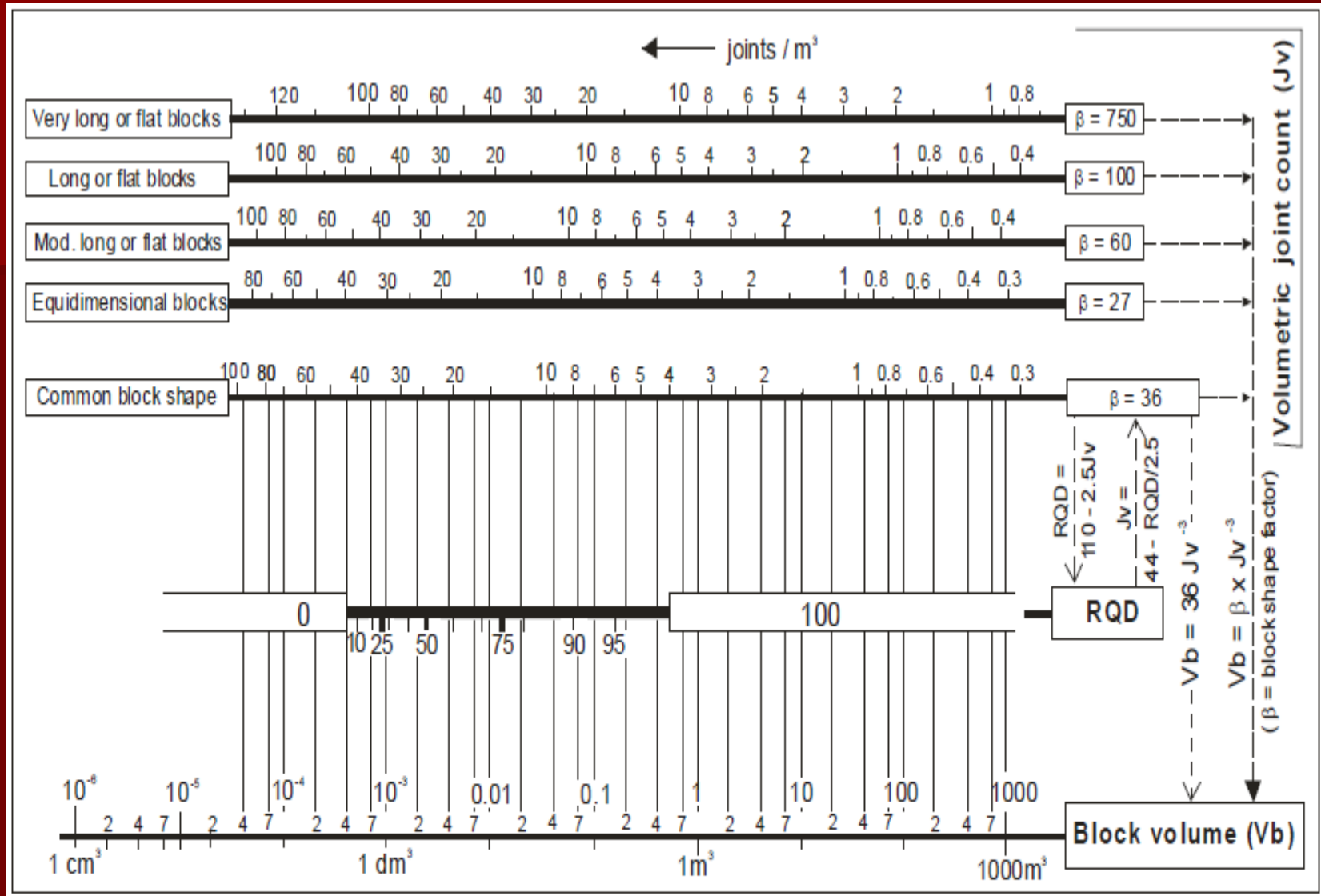


Figure 4. Comparison between the Qc and RMR systems

**Q,RMR ve RMI sınıflamalarının karşılaştırılması**

Yazarların kendi tecrübe ve basılmış makalelerine dayanarak yazılan bu yazıda aşağıdaki düşünceler, RMI'nin gelişimde ve girdi parametrelerinin seçilmesinde önem kazanmıştır;

- Basit ifadeler için az girdi parametrelerine yer verilmelidir.
- Mümkün olduğu kadar, jeolojik verilere yer verilmeli ve varolan yöntemler uygulanmalı
- Girdi parametrelerini bulmak için basit ve pratik yöntemler tercih edilmelidir.
- Sayısal değerlere kolayca çevrilebilmesi açısından doğru tanımlamalar yapılmalıdır.



**Eklem parametrelerinin RQD, Jv ve Vb'nin korelasyonu (Palmstrom, 2005)**