

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RMI KAYAÇ KÜTLE SINIFLAMA YÖNTEMİNİN**  
**MERMER OCAKLARINDA BLOK ÜRETİM**  
**BOYUTLARININ BELİRLENMESİNDE**  
**KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**



**Koray KAYA**

**Mayıs, 2005**

**İZMİR**

**RMI KAYAÇ KÜTLE SINIFLAMA YÖNTEMİNİN  
MERMER OCAKLARINDA BLOK ÜRETİM  
BOYUTLARININ BELİRLENMESİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı**

**Koray KAYA**

**Mayıs, 2005**

**İZMİR**

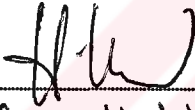
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Koray KAYA, tarafından Prof. Dr. Turgay ONARGAN yönetiminde hazırlanan “RMI Kayaç Kütle Sınıflama Yönteminin Mermer Ocaklarında Blok Üretim Boyutlarının Belirlenmesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Turgay ONARGAN

Yönetici



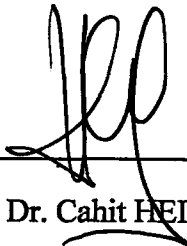
Prof. Dr. Halil Köse

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Necdet Türk

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Tezimin konusunun belirlenmesi ve yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Turgay Onargan' a teŐekkürü bir borç bilirim. Tezin hazırlanması sırasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Ahmet Hakan Onur' a ve ayrıca bölümümüzde bulunan bilgi ve tecrübelerini benimle paylaŐan ve bana yardımcı olan tüm diğer hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Kütüphanesi çalıŐanlarına ve bu tezin oluşması sırasında benden maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen aileme teŐekkürü bir borç bilirim.

Koray KAYA

# RMI KAYAÇ KÜTLE SINIFLAMA YÖNTEMİNİN MERMER OCAKLARINDA BLOK ÜRETİM BOYUTLARININ BELİRLENMESİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

## ÖZ

Yerbilim ile uğraşanların ilgi alanlarının en önemli parçası olan kaya malzemeleri diğer meslek dallarında karşılaşılan malzemelerden hem çok farklı hem de çok bilinmeyenlidir. Eski zamanlardan bu yana bir çok bilim adamı bir takım kaya sınıflama sistemleri geliştirmiş ve uygulama alanı bulmuştur. Genelde doğal taşlar doğada heterojen yapıda olup, fiziksel, mekaniksel ve diğer özellikler bakımından bir çok farklılıklar içermekte olup, bu farklılıklar kayaların oluşum koşulları, çevresel etkenler ...v.b gibi iç ve dış etkilerden kaynaklanmaktadır. Bir çok araştırma bu çok bilinmeyenli kaya kütlelerinin mühendislik tasarımlarında kullanılmasına yönelik kaya kütle tanımlama ve sınıflama sistemi geliştirmeye yönelik yapılmıştır ve yapılmaktadır.

Mermer ocak işletmeciliğinde en önemli ve başta gelen husus, mermer sahalarından ticari olarak değerlendirilebilecek en uygun blok boyutunun elde edilmesidir. Bunun için işletmeciliğe uygun olabilecek sahalarda işletmeye geçmeden önce arama-araştırma, jeolojik, jeoteknik etüdler, laboratuvar destekli ön çalışmalar yapılmakta ve pilot çapta deneme işletmeleri açılmaktadır.

Bu çalışmada Palmström' ün(1995) doktora tezinde geliştirmiş olduğu RMI (Rock Mass İndeks) isimli kaya kütle sınıflama sistemi kullanılarak karbonatlı doğal taşlarda (mermer) sahadan alınabilecek minimum ve maksimum blok boyutlarının belirlenmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

**Anahtar sözcükler :** mermer, kaya, blok, boyut, saha, sınıflama, ticari, heterojen, fiziksel, mekaniksel

# **AN INVESTIGATION OF MARBLE BLOCK DIMENSIONS IN MARBLE QUARIES BY UTILIZING RMI (ROCK MASS INDEX) ROCK MASS CLASSIFICATION METHOD**

## **ABSTRACT**

Rock materials which are the most important part of the areas of interest of those who deal with geology are both significantly differ from those encountered in other occupations and also the most unknown. A number of scientists have developed a range of rock classification systems and found application areas since old times. Generally, natural rocks have a heterogenic nature and possess a number of differences in regards to physical, mechanical and other characteristics which result from internal and external factors such as formation conditions of rock and environmental influences. A number of investigations have been carried out and to be carried out for developing a mass identification and classification system to be used in engineering projects of these multi-unknown rock masses.

The most important and the foremost subject in marble quarry administration is to obtain the block that has the most appropriate dimension to be commercially evaluated in marble fields. Therefore, before proceeding to operation in fields suitable to business investigation-research, geological, geotechnical studies, laboratory-supported preliminary works are carried out and pilot trial enterprises are opened up.

This study has investigated the usability of a rock-mass classification system called Rock Mass Index (RMI) which was developed by Palmström (1995) in his doctorate thesis in identification of minimum and maximum block dimensions that will be obtained from field on carbonated natural rocks (marble).

**Key words:** marble, rock, block, dimension, field, classification, commercial, heterogen, physical, mechanical.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT .....	v
<b>BÖLÜM NO BİR – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Kaya Kütlelerini Meydana Getiren Unsurların İrdelenmesi.....	2
1.1.1 Süreksizlik Türleri.....	3
1.1.2 Süreksizlik Aralığı .....	6
1.1.3 Süreksizliklerin Devamlılığı .....	8
1.1.4 Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Dalgallığı.....	9
1.1.5 Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı.....	19
1.1.6 Dolgu Malzemesinin Özellikleri .....	22
1.1.7 Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı .....	24
1.1.8 Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu.....	28
1.1.9 Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Seti Kavramı .....	30
1.1.10 Blok Boyutu .....	34
1.1.10.1 Blok Boyutu İndeksi (İb).....	35
1.1.10.2 Hacimsel Eklem Sayısı (Jv) .....	36
1.1.10.3 Blok Hacim Hesabı .....	37
1.2 RMI Sisteminin İrdelenmesi ve Bu Yöntem İle Mermer Blok Boyutlarının Nasıl Elde Edileceğinin İncelenmesi .....	38
1.2.1 RMI Nedir ve Kullanım Alanları Nelerdir.....	38
1.2.1.1 RMI Bize Neyi İfade Etmektedir .....	38
1.2.1.2 RMI 'nin Kullanım Alanları.....	44

1.2.2 RMI' yi Meydana Getiren Etmenlerin İncelenmesi.....	46
1.2.2.1 Kaya Kütlesi İndeksinin Yapısı ve RMI' ye İlişkilendirilmesi....	47
1.2.2.2 Bilinen Kaya Kütlesinin Gerilim Verisinden RMI' nin İlişkilendirilmesi .....	51
1.2.2.3 RMI ' deki Girdi Parametrelerinin İfade Edilmesi .....	57
1.2.2.3.1 Sağlam Kayanın Basınç Dayanımı.....	58
1.2.2.3.2 Blok Hacmi .....	58
1.2.2.3.3 Eklem Durum Faktörü (jC).....	60
<b>BÖLÜM NO İKİ – METOD VE UYGULAMA.....</b>	<b>68</b>
2.1 Projede Uygulanan Yöntem .....	68
2.2 RMI Kaya Kütle Sınıflama Yönteminin Uygulanması.....	69
2.2.1 RMI Yönteminin Blok Boyutlarının Belirlenmesinde İzlenen Yol .....	69
2.2.1.1 RMI Yöntemi Yardımıyla Yapılan Blok Hesabında Girdi Parametreleri .....	69
2.2.1.2 Saha Gözlemleri ve Ölçümlerine Göre Veri Girişi Sonucu Blok Hacminin Elde Edilmesi .....	74
2.2.1.3 Bilgisayar Destekli Hesaplama Yöntemini Kullanarak Girdiğimiz Parametrelerin Değişimine Bakarak Blok Hacminin (Vb) ve RMI' nin Nasıl Değiştiğinin İzlenmesi.....	78
<b>BÖLÜM NO ÜÇ – DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA.....</b>	<b>80</b>
<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>86</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>89</b>



## BÖLÜM NO BİR

### GİRİŞ

Mermer ülkemiz madenciliği ve ekonomisi için önemli bir yere sahiptir. Buna bağlı olarak mermercilik ülkemizde hızla gelişmekte olan bir sektördür. Türkiye mermer blok üretim miktarları; 2001 yılı için 2.8 milyon ton, 2002 yılı için 3,6 milyon ton, 2003 yılı için 4,5 milyon ton ve 2004 yılında 6,0 milyon ton civarındadır. Ülkemizde ve diğer ülkelerin ekonomilerinde daralma görüldüğü bir dönemde mermer sektöründeki üretim artışı madencilik ve ülkemizin ekonomisi için umut vericidir. Gelişmekte olan mermer sektörünün üretim ve tüm aşamasındaki sorunları irdeleyip çözümler bulmak için değişik bilimsel ve teknik çalışmalar yapılmaktadır ve yapılmalıdır. Günümüzde işletilmekte olan mermer sahalarında ana kütleden ticari blok boyutundaki blok verimleri ortalama % 25-30 lar civarında gerçekleşmekte olup, ciddi üretim kayıpları söz konusu olmaktadır. Bu çalışmanın ana amacı da mermer ocaklarında hakim süreksizlikler ve diğer jeolojik parametrelere bağlı en uygun mermer blok boyutunun belirlenmesi, ve işletme yönlerinin tespitine yönelik çalışmalar yaparak, kayıpların en aza indirilmesidir.

Bir kaya kütlelerinin istenilen ticari boyutlarda blok mermer verebilmesi için fiziko-mekanik ve teknolojik özellikleri açısından standartlara uygun, renk ve desen açısından da aranılan niteliklerde olması ve 1,5-12 m<sup>3</sup> hacim aralığında bloklar veriyor olması esastır. Bu nedenle bir mermer sahasında, mermer ocağı açılmadan önce yukarıda bahsedilen parametrelerin detaylıca incelenmesi, hem üretime geçme kararının verilmesi ve hem de üretimin planlanması açısından oldukça önem arz etmektedir.

Ülkemizin büyük bir potansiyeli olan karbonatlı kaya rezervlerimizden optimum koşullarda yararlanabilmemiz ancak doğru işletme şekli ve yönteminin seçiminin mermer sahasının doğal koşulları, ya da jeolojik parametrelerine uygun olarak gerçekleştirilmesi ile mümkün olabilecektir. Bu nedenle mermer ocaklarından, minimum kayıpla maksimum blok mermer verimi elde etmek, ancak bilimsel ve teknik detay çalışmaların yapılması ve sahadaki jeolojik faktörlerin doğru bir şekilde belirlenerek işletilmesi ile mümkün olabilecektir.

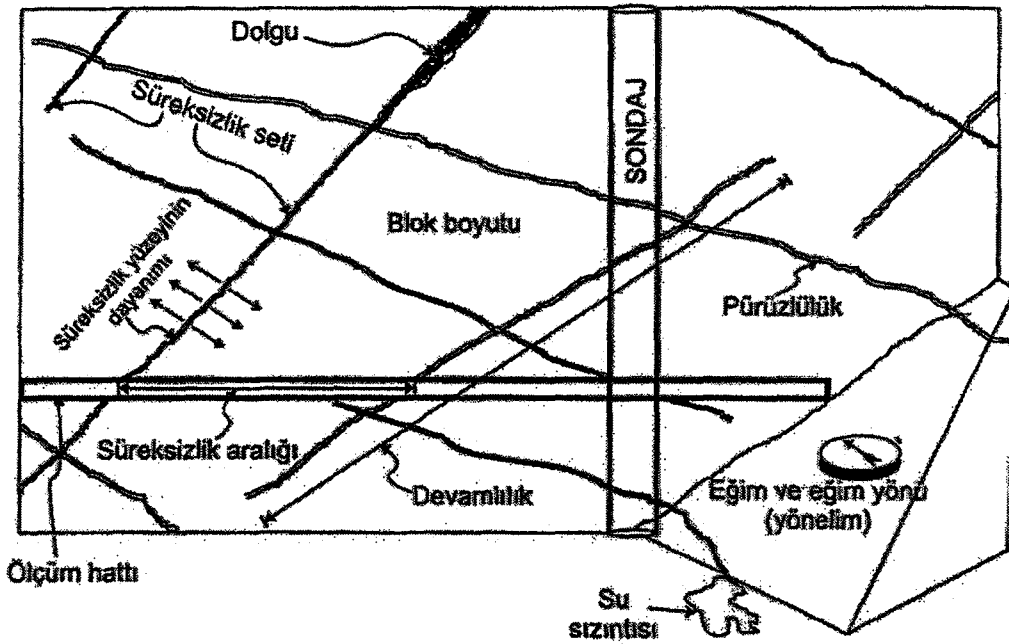
## 1.1 Kaya Kütlelerini Meydana Getiren Unsurların İrdelenmesi

Bu işlemde en önemli aşama, süreksizliklere ait özelliklerin tanımlanmasıdır. Süreksizliklerin özellikleri aşağıda belirtilen amaçlara yönelik olarak tayin edilir.

- (a) Jeolojik yapının ortaya konulması,
- (b) Kaya kütlelerinin mühendislik sınıflaması ve
- (c) Kaya kütlelerinin duraylılığı (örneğin, şev duraylılığı veya yer altı açıklıklarının tavanında oluşan blokların duraylılığı vb.), deformasyonu, sıvı akışı, patlatma ve destek tasarımı gibi uygulamalarda kullanılan kinematik, analitik, sayısal veya görgül yöntemler için veri sağlanması.

Süreksizliklerin özellikleri çikmalarda (mostrada) veya sondaj karotlarında değişik ölçüm teknikleri uygulanarak tayin edilir ve/veya tanımlanır. Kaya kütlelerinin tanımlanması amacıyla, süreksizliklerin aşağıda belirtilen ve Şekil 1.1' deki blok diyagramda şematik olarak gösterilen fiziksel parametreleri belirlenir :

- (a) Süreksizliğin türü
- (b) Süreksizlik aralığı
- (c) Süreksizliğin devamlılığı
- (d) Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı
- (e) Süreksizlik yüzeyinin açıklığı
- (f) Süreksizlikler arasındaki dolgu malzemesinin özellikleri
- (g) Süreksizlik yüzeyinin bozulma derecesi ve dayanımı
- (h) Süreksizlik bölgesinde su durumu
- (i) Süreksizliğin yönelimi ve süreksizlik seti kavramı
- (j) Blok boyutu ( Ulusay ve Sönmez, 2002 s.12 )



Şekil 1.1 Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri  
(Hudson,1989)

### 1.1.1 Süreksizlik Türleri

Süreksizliklerin özellikleri tanımlanırken, öncelikle süreksizliğin türü belirlenir. Başlıca yapısal süreksizlik (zayıflık düzlemi) türlerinin tanımları aşağıda verilmiştir.

**Dokanak;** iki farklı litolojik birim arasındaki sınır olup, bu sınır uyumlu, ya da uyumsuz veya geçişli olabilen bir süreksizlik yüzeyidir.

**Tabaka düzlemi;** Sedimanter kayaların oluşumu sırasında tane boyu ve yönelimi, mineralojik bileşim, renk ve sertlik gibi faktörlerdeki değişime bağlı olarak gelişen bir yüzeydir. Tabakalanma, her zaman ayırık bir süreksizlik yüzeyi olmayabilir ve bazı durumlarda kayaç malzemesi içinde hafif bir renk değişimi şeklinde de gözlenebilir. Tabaka düzlemleri arasındaki uzaklık, birkaç milimetreden (laminasyon) metre (çok kalın tabaka) boyutuna kadar değişebilir. Sedimanların mineralojisindeki değişimler, tabakalanma yüzeyleri arasında ince kil seviyelerinin oluşumuna veya sıvama şeklindeki yüzey kaplamalarına neden olabilir. Bu durum,

kil dolgulu fay ve eklem yüzeylerindeki benzer mühendislik problemlerinin gelişmesine yol açabilir. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.13 )

“ Bu süreksizlikler ; Mikrofissürler, fissürler, çatlaklar, kırıklar, faylar, tabaka yüzleri, şistiyet yüzleri, foliasyon yüzleridir. Bunlar, her türlü kesiklik yüzeyleri olup, kayaların dış etkilerle temasa gelen düzlemleridir. Bu düzlemler boyunca yer altı ve yerüstü suları, atmosferin yıkıcı ve bozucu etkileri kayaya etki etmektedir. ” ( Köse ve Kahraman, 1999 chap.5 )

**Fay ve makaslama zonu;** yüzeyi boyunca birkaç santimetreden metrelerce uzunluğa kadar göreceli bir yer değiştirmenin meydana geldiği makaslama yenilmesine maruz kalmış yüzeylerdir. Fay, tektonik hareketler sırasında gelişen makaslama geriliminin kaya kütledeki bir düzlemin makaslama dayanımını aşması sonucu meydana gelen bir kırık şeklinde de tanımlanmaktadır. Fay kırığının yüzeyleri arasında; parçalanmış kayaç parçalarının oluşturduğu fay breşi, çok ince taneli malzemeyle temsil edilen fay dolgusu ve kil vb. zayıf malzemeler de yer alabilir. Faylar, çoğu kez tek bir düzlem olmaktan çok, birbirine paralel veya yan paralel konumlu gruplar halinde meydana gelirler ve bunlar fay zonu veya makaslama zonu şeklinde adlandırılırlar.

**Eklem;** yüzeyi boyunca herhangi bir yer değiştirmenin meydana gelmediği doğal kırıktır. Kırık yüzeyleri, örtü yükünün kalkması (gerilim boşalması), patlatma ...v.b nedenlerle birbirlerinden bir miktar uzaklaşmış (açılmış) olmakla birlikte, aralarında gözle görülür göreceli bir hareket söz konusu değildir. Yer kabuğunda 1 km derinliğe kadar kaya kütlelerinde gözlenebilen eklemler; birkaç milimetreden metrelerce uzunlukta, açık, dolgulu veya kapalı (sıkı) olabilirler. Eklemler, genellikle düzlemsel yüzeyli, yarı paralel gruplar veya setler halinde gözlenirler ve bu eklemlere *sistemik eklemler* adı verilir. Düzensiz bir geometriye sahip ve birbirine paralel olmayan eklemler ise, *sistemik olmayan eklemler* şeklinde tanımlanırlar.

**Dilinim (Klivaj);** ince taneli kayalarda, sıkıştırıcı kuvvete dik yönde oluşmuş, sık aralıklı, birbirine paralel yönde gelişmiş zayıflık düzlemleridir. Mekanik anlamda, makaslama yüzeylerini oluşturan bu yüzeyler boyunca kayma söz konusu olabilir.

Birkaç bilim adamı, başlıca iki tür dilinim tanımlamışlardır. Bunlardan *kırık dilinimi*, minerallerin birbirine paralel yönde bir dizilim göstermedikleri, çimentolanmış veya kaynaşmış paralel süreksizlikler şeklinde tanımlanır. Bu bilim adamlarından biri, bu tür dilinimin oluşum mekanizmasında litolojinin ve gerilim koşullarının makaslama, açılma ve sıkıştırma süreçlerine neden olduğunu ve bunların da sağlam kayada ince dilimler halinde çok yakın aralıklı süreksizliklerin gelişmesine yol açtığını belirtmiştir.

Diğer bir dilinim türü ise, *akma dilinimi* olup, yeniden kristallenme ve mika gibi yapraksı minerallerin birbirlerine paralel şekilde yönelmelerine bağlı olarak, bir *foliasyon* yapısının oluşumuyla gelişmektedir. Bu tür dilinim, genel olarak, ince taneli kayaların yüksek sıcaklık ve/veya yüksek basınç altında metamorfizmaya uğramış olmalarıyla yakından ilgilidir. Dilinim, özellikle sleyt, fillit ve şist gibi kayalarda gözlenmekle birlikte, dilinim düzlemlerinin çoğu önemli derecede çekilme dayanımına sahip oldukları için süreksizlik ağı kapsamında değerlendirilmezler. Bununla birlikte dilinim, bu tür kayaların deformabilite ve dayanım özelliklerinde önemli düzeyde bir anizotropiye neden olmaktadır. ( Ulusay ve Sönmez, 2002 s.15 )

" Fisür, sürekli bir malzemeyi ufak birimlere ayırmadan bölen süreksizliktir. " ( Fookes &Denness, 1969 s.453 )

" Fisür, iki yönde gözlenebilen, ancak üçüncü yönde sınırlanan düzlemsel süreksizlik " ( Priest, 1993, s.473 )

**Fisür;**Dolayısıyla bir ölçüde farklı anlamlara gelebilen fisür sözcüğünün, herhangi bir özel süreksizlik türünün tanımlanması amacıyla kullanılmasına ve karıştırılmamasına dikkat edilmelidir. Süreksizlik türleri; bundan sonraki bölümde değinilecek olan süreksizlik veri formlarına veya jeoteknik sondaj loglarına kaydedilirler ve Tablo 1.1' de verilen ve uluslararası literatürde kabul görmüş simgeler kullanılarak tanımlanırlar. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.16 )

### 1.1.2 Süreksizlik Aralığı

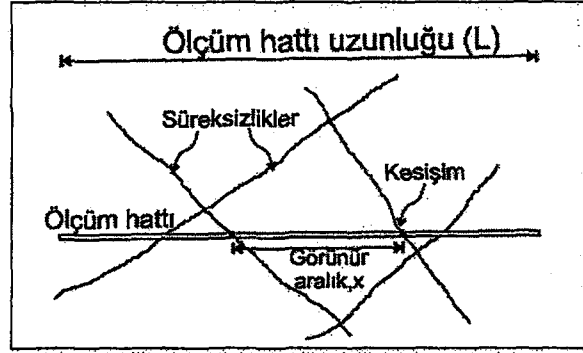
Süreksizlik aralığı, kaya kütlelerinde komşu konumlu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik setindeki iki süreksizliğin arasındaki dik mesafedir. Süreksizlik veya bunun tersi olan süreksizlik sıklığı, ya da eklem sıklığı parametresi; süreksizlik yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra, kaya kütlelerinin geçirgenliğinin ve kayaç malzemesinin oluşturduğu blokların boyutlarını denetleyen bir parametre olması nedeniyle de kaya kütlelerinin en önemli özelliklerinden biridir. Bu parametre, kaya kütlelerinin dayanımı ve davranışı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu için, yerüstü kazılarının veya açıklıklarının duraylılıklarını da doğrudan etkilemektedir. Süreksizlik aralığının düşük olması, özellikle yeraltı açıklıklarında duraylılığın sağlanmasını güçleştiren bir faktör olarak bilinir. Bu nedenle, süreksizlik aralığı parametresinin ölçülüp tanımlanması kaya mühendisliği uygulamalarında önem taşır.

Süreksizlik aralığı, mostra yüzeyi üzerinde belirli bir yönde serilen şerit metre boyunca şerit metreyi kesen süreksizliklerden ölçülebileceği gibi (Şekil 1.2), sondaj karotlarından da tayin edilebilir. Ancak uygulamada şerit metrenin her zaman süreksizlik setlerine dik yönde serilmesi mümkün olamadığından, iki tür açıklık ölçülebilmektedir.

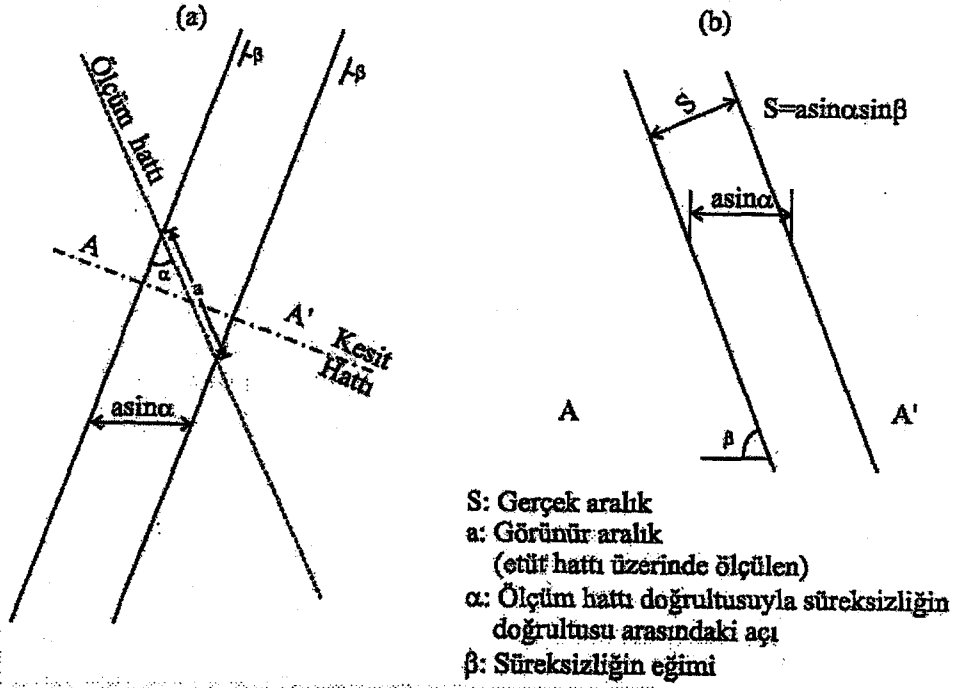
- Görünür açıklık ( şerit metre veya sondaj eksenine boyunca karşılaşılan süreksizlikler arasındaki uzaklık; Şekil 1.3a' da "a" mesafesi )
- Gerçek aralık ( birbirine paralel yönde gelişmiş süreksizliklerin oluşturduğu bir süreksizlik setine ait iki süreksizlik düzlemi arasındaki dik mesafe; Şekil 1.3b' de S mesafesi )

Bir süreksizlik setindeki süreksizliklerin birbirlerine tam paralel olması çok ender olarak görüldüğü için, gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı mostranın, ya da aynanın konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle, süreksizlik sıklığının değerlendirilmesinde görünür aralık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir. ( Ulusay ve Sönmez, 2002 s.16-17 )





Şekil 1.2 Ölçüm hattı boyunca süreksizlik aralığının tayini ve hat ettidünden bir görüntüm(Ulusay,Sönmez,2002)



Şekil 1.3 Görünür (a) ve gerçek aralık (b) parametrelerinin ilişkisi(U,S,2002)

Tablo 1.1 Süreksizlik aralığının tanımlama ölçütleri ( ISRM, 1981 )

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

### 1.1.3 Süreksizliklerin Devamlılığı

İdeal olarak kaya kütlesi kavramı, süreksizlik düzlemleri tarafından bloklara ayrılmış bir sistemi ifade eder. Ancak, süreksizlik düzlemleri kaya kütlelerinde sonsuz bir devamlılığa sahip değildir. En yüksek devamlılığa sahip süreksizlik türü olan tabakalanma düzlemleri bile havza kenarlarında sonlanır. Süreksizliklerin iz uzunluğu bir kaya mostrasında gözlenebildiği için, bunların devamlılıklarının ölçülmesi de çoğu kez üzerinde çalışılan mostranın yüzeyi ile sınırlanmaktadır.



Dolayısıyla bu durum, devamlılık parametresinin ölçülmesini güçleştiren bir faktördür.

Süreksizliklerin devamlılığı, süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi veya boyutları olup, duraylılığı etkileyen önemli bir parametredir. Devamlılığın artması, kazı duraylılığı üzerinde daha olumsuz etki yapmaktadır. Örneğin, eğimi şev aynasının tersi yönde, ancak devamlılığı az olan eklemler şevlerde devrilme duraysızlığı açısından çok daha az risk taşıırken aynı yönelime sahip olmakla birlikte, devamlılığı yüksek olan ve bu nedenle kaya kütlelerinde kolonsal veya levhalı bir yapı oluşturan süreksizlik sistemleri, devrilme duraysızlığı açısından şevi daha kritik bir konuma getirebilmektedir. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.21)

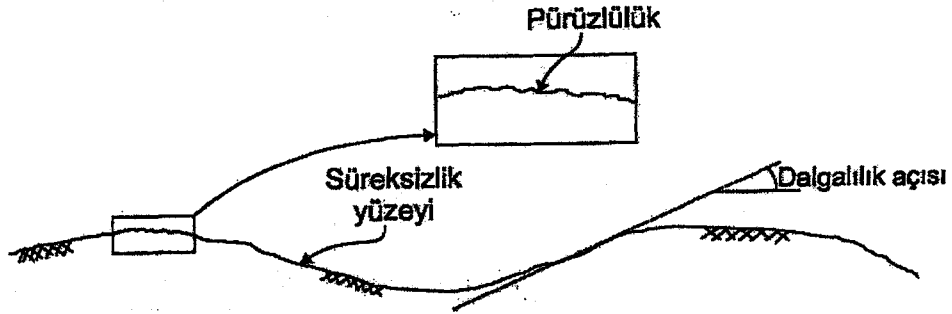
Tablo 1.2 Süreksizliklerin devamlılığını tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Tanımlama	Süreksizlik izinin uzunluğu
Çok düşük devamlılık	< 1 m.
Düşük derece devamlılık	1-3 m.
Orta derece devamlılık	3-10 m.
Yüksek devamlılık	10-20 m.
Çok yüksek devamlılık	>20 m.

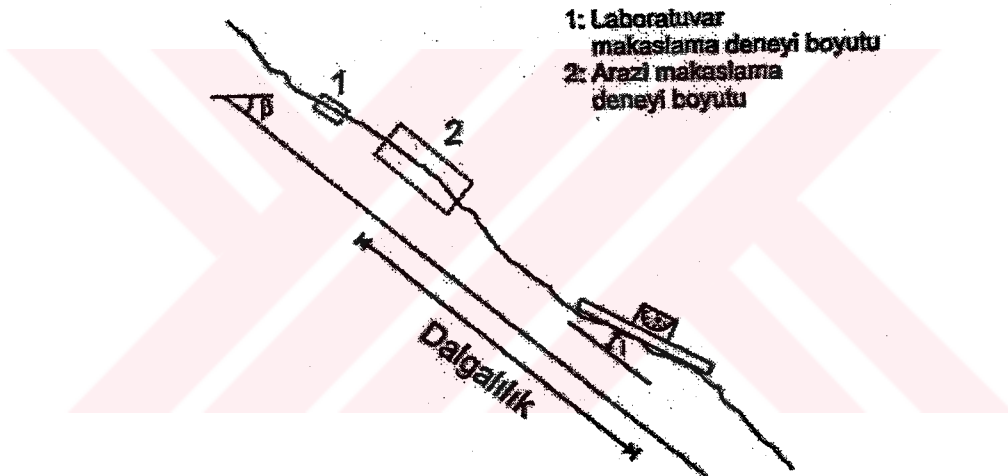
#### 1.1.4 Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Dalgalılığı

Pürüzlülük ve dalgalılık sırasıyla, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ve büyük ölçekte düzlemsellikten sapmasının bir ölçüsüdür. Dalgalılık, düzlemsellikten büyük ölçekteki bir sapmayı karakterize ederken, küçük ölçekteki sapmalar ise pürüzlülük olarak tanımlanır (Şekil 1.4). Her iki özellik de süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımının önemli bir bileşeni olarak rol oynar. Ancak süreksizlik açıklığının, ya da dolgu malzemesinin kalınlığının artmasıyla, pürüzlülüğün süreksizliğin makaslama dayanımı üzerindeki etkisi de azalmaktadır. Uygulamada dalgalılık, süreksizlik düzleminin konumuna göre makaslama yer değiştirmesinin konumunu etkilerken, pürüzlülük laboratuvar ölçeğindeki küçük veya arazi deneylerine uygun

boyutlardaki orta ölçekli süreksizlik örneklerinin makaslama dayanımını etkiler (Şekil 1.5). (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.24 )



Şekil 1.4 Süreksizlik yüzeylerinin dalgallılığı ve pürüzlülüğü(Ulusay,S,2002)



Şekil 1.5 Farklı ölçekteki deneyler için örneklenebilecek farklı ölçekte pürüzlülük yüzeyleri ( ISRM, 1981 )

“ Erişilmesi güç süreksizlik yüzeylerinde, aynı amaçla alternatif bir yöntem olarak, fotoğrametri tekniğinden yararlanılmaktadır. ” ( ISRM, 1981 s.211 ).

Eğer potansiyel kayma yüzeyinin eğim yönü biliniyorsa, pürüzlülük kayma yönüne paralel olarak seçilmiş profiller boyunca ölçülmelidir. Potansiyel kayma yönünün kestirilemediği koşullarda ise, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülük ve dalgallılık ölçümleri pusula ve disk şeklindeki klinometreler kullanılarak gerçekleştirilir. Pürüzlülüğün daha duyarlı bir şekilde belirlenmesi amacıyla, son

yıllarda mekanik profilometre adı verilen düzeneğe kullanılmaktadır. Bu düzeneğin içerdiği bir rulman süreksizlik yüzeyi boyunca hareket ettirilerek, yüzeyin profili çıkarılmakta ve bu profil sayısallaştırılarak bilgisayar ortamında değerlendirilmektedir. Bunların yanısıra, mevcut pürüzlülük, hazırlanmış standart pürüzlülük profilleri ile karşılaştırılarak da pratik olarak tanımlanabilmektedir. Pürüzlülüğün belirlenmesindeki başlıca amaç; kaya kütlesi sınıflaması için gerekli bir girdi parametresini elde etmek, süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımını değerlendirmek ve potansiyel kayma yönünü belirlemektir. Süreksizliklerin pürüzlülüklerinin belirlenmesine yönelik bu yöntemler, ana hatlarıyla aşağıda verilmiştir.

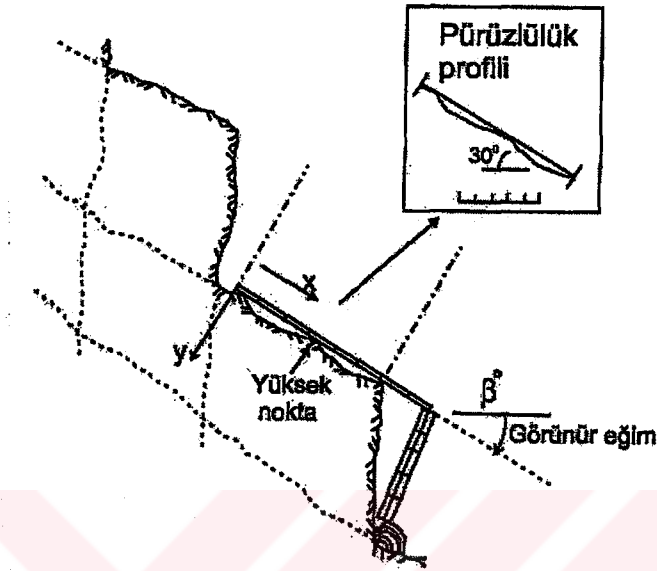
**Doğrusal profil alma yöntemi:** Bu yöntemde; milimetre bölmeli ve uzunluğu en az 2 m olan bir şerit metre, pusula ve üzerinde 1m ve 10 cm' lik mesafelerin işaretlenmiş olduğu 10 m uzunluğunda bir metal çubuk kullanılmaktadır. Metal çubuk, süreksizlik yüzeyinin ortalama eğim yönüne paralel bir şekilde mostra yüzeyine konur ve her iki ucundan ahşap bloklara sabitlenir. Böylece ondülasyonlu süreksizlik yüzeyinin üzerinde bir referans hattı oluşturulur (Şekil 1.6).

Ölçülecek süreksizlik profilinin uzunluğuna bağlı olarak, 2 m' lik şerit metre veya 10 m' lik metal çubuk yüzeye serilir. Sağlıklı ölçüm alınabilmesi için bu gereçler süreksizlik yüzeyinin en yüksek noktalarıyla temas edecek ve düz olacak şekilde serilmelidir. Şerit metre veya çubuktan süreksizlik düzlemine dik yöndeki mesafe (y) belirli bir teğetsel mesafe (x) için milimetre duyarlılığında kaydedilir (Şekil 1.7). Duyarlı bir ölçüm yapılabilmesi açısından, örneğin 5 cm gibi bir aralık yerine, ölçüm alınan uzunluğun yaklaşık %2' si kadar ölçüm aralıkları (x) esas alınmalıdır. Böylelikle arada kalabilecek çıkıntıların da dikkate alınması sağlanır. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.25-26 )

Ayrıca bu konuyla ilgili değerli bir bilim adamının görüşü aşağıda belirtilmiştir.

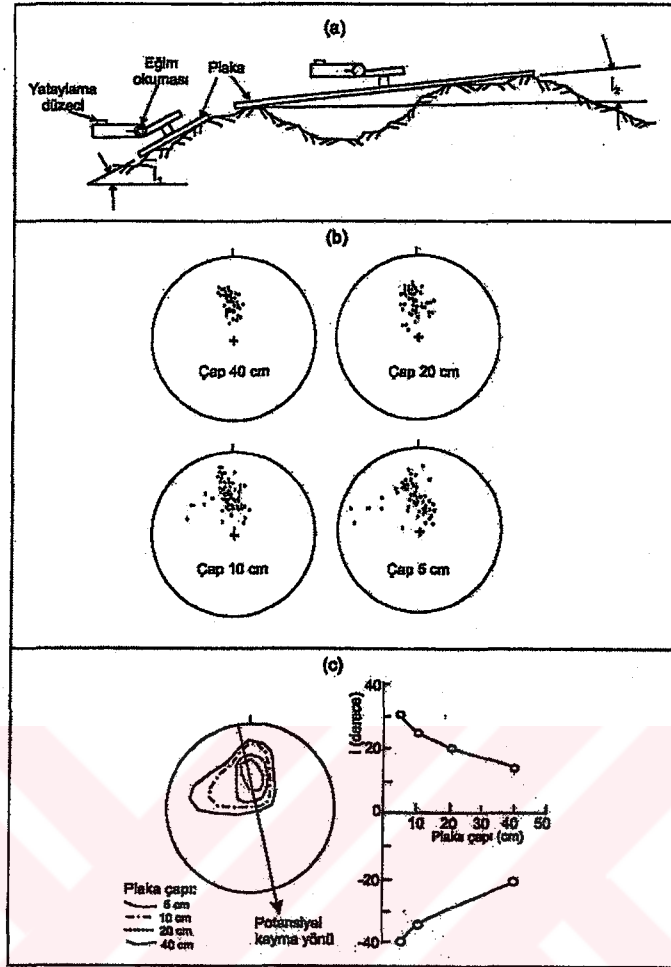
“ (x) ve (y) okumaları ölçüm yönünün eğim ve azimut açılarıyla birlikte kaydedilir ve en az 50 noktada ölçüm yapılması önerilir ” ( Giani, 1992 s.361 ).

En yüksek, en düşük ve en yaygın pürüzlülükleri temsil eden tipik profiller, aynı yöntem izlenerek ve tüm süreksizlik setleri için uygulanarak kaydedilir. Kaydedilen (x) ve (y) değerleri aynı ölçek esas alınarak ve Şekil 1.6' de görüldüğü gibi işlenerek profiller çizilir.



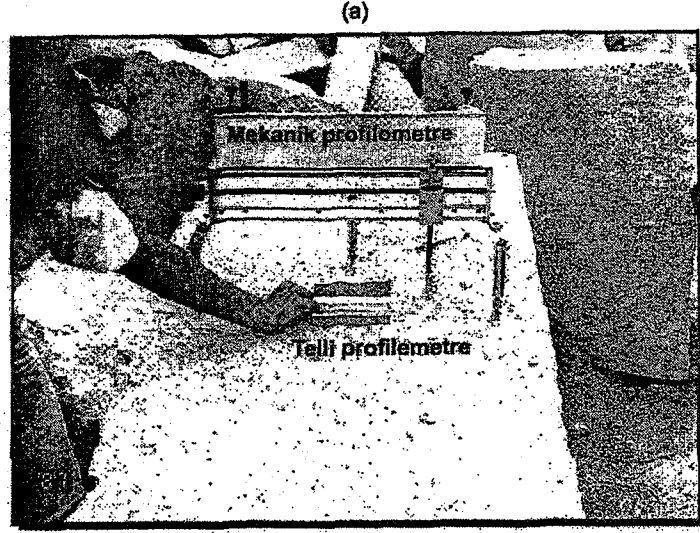
Şekil 1.6 Süreksizlik yüzeyinde doğrusal profil alma yöntemiyle pürüzlülüğün ölçümü (ISRM, 1981).

**Pusula ve disk şeklindeki klinometre ile pürüzlülük ve dalgalıhğın ölçümü:** Bu yöntemde pusulanın yanısıra, değişik çaplardaki ve disk şeklinde klinometreler kullanılır. Küçük ölçekteki pürüzlülük açıları (i) en geniş plaka (40 cm çaplı) süreksizlik yüzeyine dayanarak, en az 25 farklı konum için eğim ve eğim yönü değerleri ölçülür (Şekil 1.7a). Aynı işlem, değişik çaptaki diğer plakalarla da yapılır. Ölçümlerin duyarlılığı, daha küçük çaplı plakalarla ve daha çok sayıda ölçüm alınarak artırılabilir. Örneğin; 20 cm çaplı plaka ile 50 ölçüm alınırken, 10 cm ve 5 cm çaplı plakalarla sırasıyla, 75 ve 100 ölçüm alınmalıdır. En küçük plakalar okumalarda en büyük saçılımı ve en büyük pürüzlülük açısını verir. Buna karşın, büyük çaplı plakalarla alınan ölçümlere ait saçılım en alt düzeyde olup, en küçük pürüzlülük açıları elde edilir. Ölçülen her eğim ve eğim yönü değeri plaka çapları dikkate alınarak stereo netlere ayrı ayrı işlenir (Şekil 1.7b). Her ölçüm seti için konturlar çizilerek potansiyel kayma yönü belirlenir ve ayrıca plaka çapına göre pürüzlülük açısının değişim grafikleri çizilir (Şekil 1.7c).



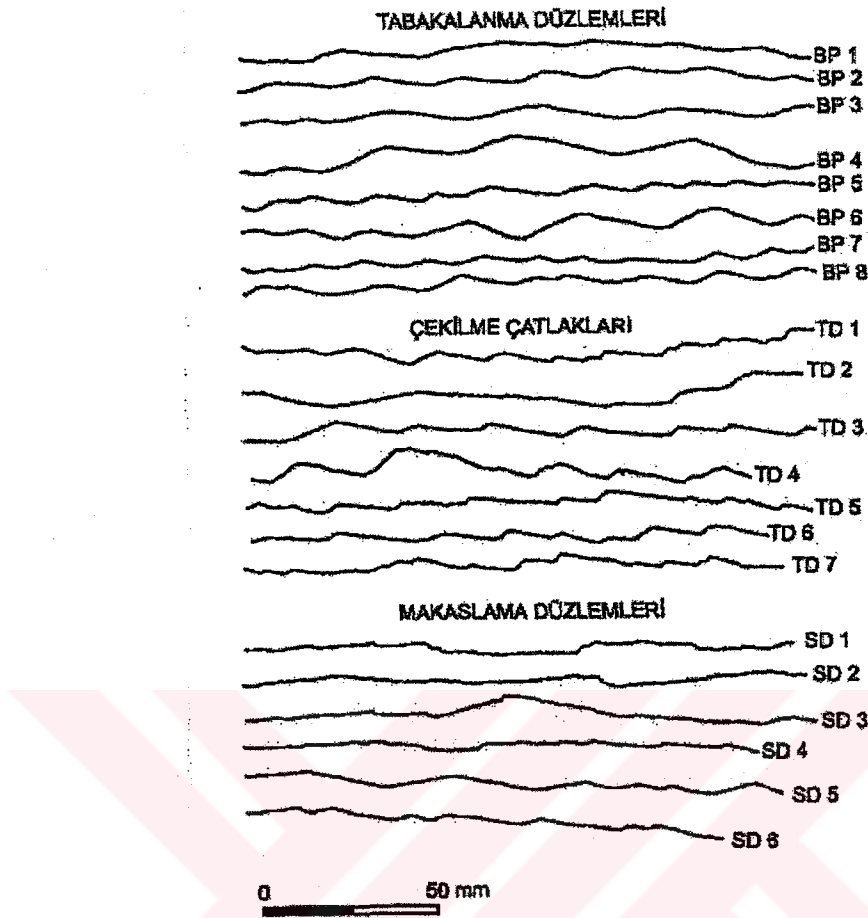
Şekil 1.7 (a) Üç boyutta süreksizliklerin pürüzlülüğünün değerlendirilmesi, (b) ölçümlerin alınması ve (c) ölçümlerin değerlendirilmesi (ISRM, 1981)

**Mekanik profilometreler:** Profilometreler, arazide veya laboratuvar ölçeğinde süreksizliklerin pürüzlülük profillerinin sayısallaştırılması amacıyla kullanılan mekanik gereçlerdir. Bu gereçler iki tiptir. Birinci tip profilometreler, bir pim üzerine yerleştirilmiş küçük bir rulmanın (bilyalı tekerlek) mekanik bir kolla pürüzlü eklem yüzeyi üzerinde hareket ettirilerek, tekerleğin düşey ve yatay yöndeki hareketini bir kalem yardımı ile aletin tamburuna takılmış kağıda aktaran bir düzenekten oluşmaktadır (Şekil 1.8). 5 kg ağırlığında ve hafif metalden yapılmış bu profilometreler taşınabilir olup, doğrudan arazide kullanılabilirler. Tambura takılı kağıda kaydedilen pürüzlülük profilleri sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmakta ve buradan yüzey morfolojisi parametreleri elde edilebilmektedir. Bu yöntemle çeşitli süreksizlik yüzeylerinden elde edilmiş pürüzlülük profilleri Şekil 1.9' de örnek olarak verilmiştir.



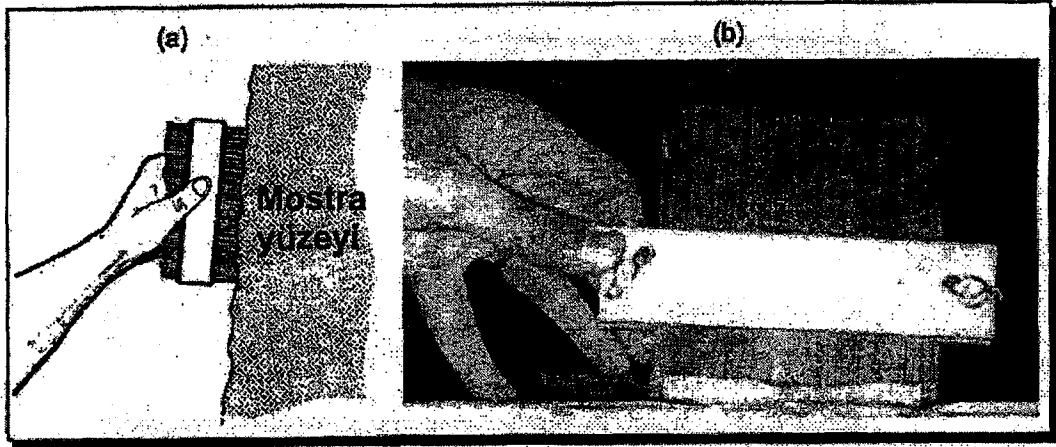
Şekil 1.8 (a) Kalemli ve metal telli mekanik profilometreler ve (b) bir süreksizlik yüzeyinde kalemli profilometre ile pürüzlülük profilinin belirlenmesi. (Ulusay, Sönmez, 2002)





Şekil 1.9 Çeşitli süreksizliklerin mekanik (kalemli) profilometre ile belirlenmiş yüzey profillerine ait Örnekler (Aydan ,1995).

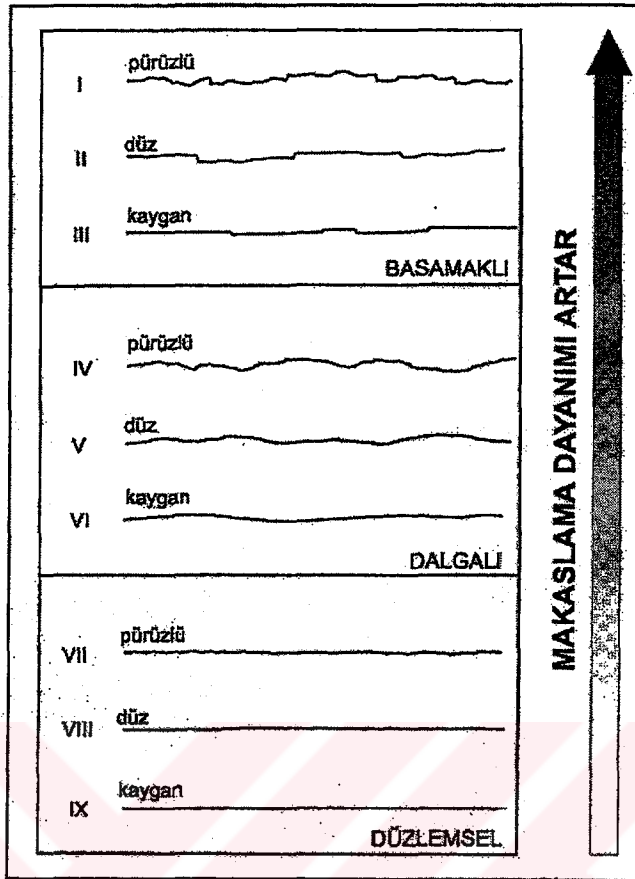
Daha basit bir profilometre ise, ahşap bir mengenenin arasına yerleştirilmiş 0.9 mm çapındaki tellerden oluşmaktadır (Şekil 1.10). Hem arazide ( Şekil 1.8a ve 1.10a ), hem de laboratuarda (Şekil 1.10b) kullanılan bu mekanik gereçle, süreksizlik yüzeyinin üzerine elle bastırılarak tellerin süreksizlik yüzeyinin şeklini alması sağlanır ve ahşap kısım üzerindeki vidalar sıkıştırılarak teller sabitlenir. Daha sonra süreksizlik yüzeyinin şekline göre dizilen tellerin konumundan ortaya çıkan profil kalemle bir kağıda çizilerek ve gerekirse sayısallaştırılarak bilgisayar ortamında değerlendirilebilir.



Şekil 1.10 Metal telli profilometre ile süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüklerini arazide(a)ve laboratuarda (b) ölçümü.(Ulusay,Sönmez,2002)

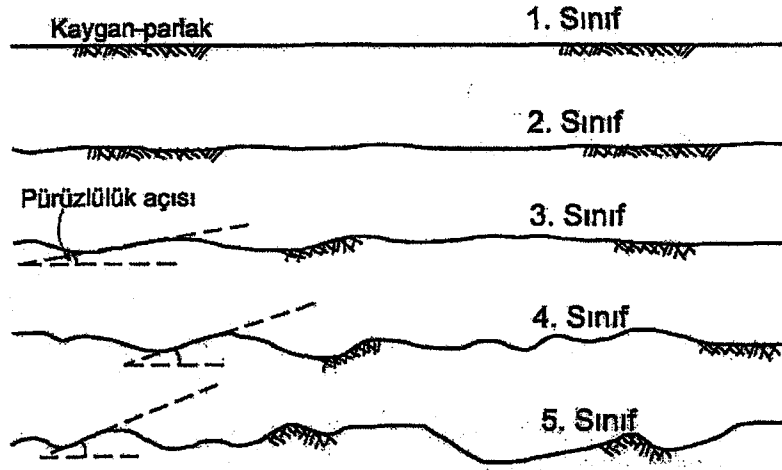
**Kalitatif pürüzlülük tanımlamaları:** Kaya mekaniği çalışmalarında çoğu kez yukarıda belirtilen gereç ve yöntemlerin kullanılması, proje bütçesinin ve zamanın sınırlı olması nedeniyle mümkün olamayabilir. Bu durumlarda pürüzlülük, kalitatif tanımlama ölçütleri esas alınarak tanımlanır. Bu amaçla ISRM (1981) tarafından önerilen ölçüte göre, süreksizlik yüzeyi üzerinde gözlem yapılarak, küçük (birkaç santimetre) ve orta ölçekte (birkaç metre) olmak üzere, Şekil 1.11' de verilen tipik pürüzlülük profilleri incelenen süreksizlik yüzeyi ile karşılaştırılmak suretiyle pürüzlülük tanımlanır veya sınıflandırılır. Bu sınıflandırmaya göre profiller; basamaklı, dalgalı (ondüleli) ve düzlemsel şeklinde üç orta ölçek grubuna ayrılmakta ve ayrıca her grupta küçük ölçek bazında pürüzlü, düz ve kaygan şeklinde bir sınıflanma yapılmaktadır. Kaygan terimi, süreksizlik yüzeyinde bir makaslama yer değiştirmesinin meydana geldiğine dair parlak ve kaygan bir yüzeyin olması koşulunda kullanılmaktadır. Şekil 1.11' de görüleceği gibi, süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımı, okla gösterilen yönde, IX numaralı yüzey profilinden I numaralı profile doğru artış göstermektedir.





Şekil 1.11 Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM, 1981)

Tipik süreksizlik profilleri esas alınarak yapılan bir diğer pürüzlülük tanımlamasında ise, Şekil 1.12' de gösterilen profiller kullanılmaktadır. Bu profiller ölçüm yapılan süreksizlik yüzeyleri ile karşılaştırılarak, Tablo 1.3' te verilen tanımlamalar esas alınır. Söz konusu yöntemde pürüzlülük ölçümü kalitatif olmakla birlikte, tanımlama göreceli olarak daha kolaydır.

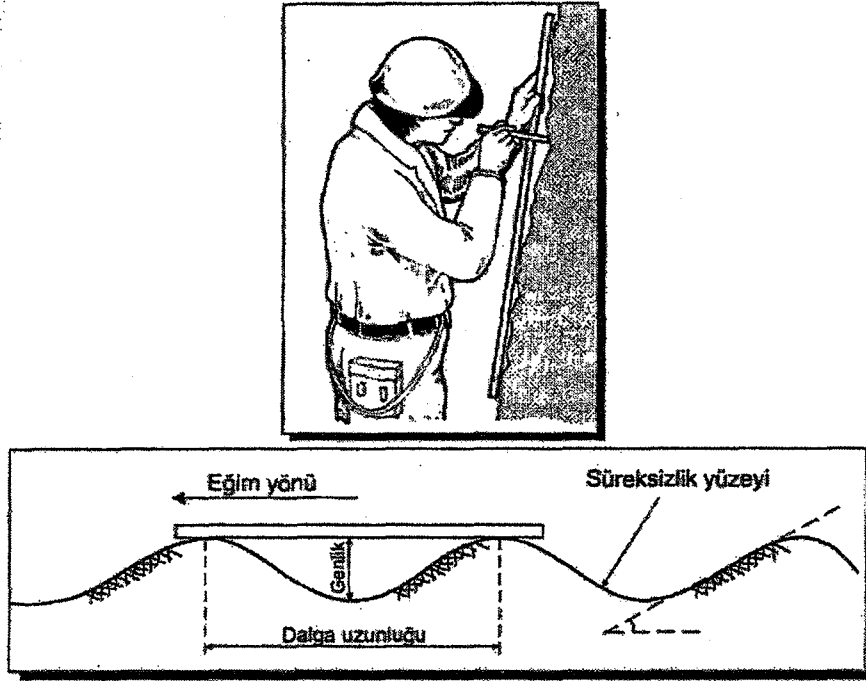


Şekil 1.12 Pürüzlülük sınıfları (Golder Hoek and Associates, 1979a)

Tablo 1.3 Pürüzlülük ve dalgalık sınıflamaları (Golder Hoek and Associates, 1979a)

	Tanımlama	Sınıf
Pürüzlülük	Kaygan-parlak	1
	Düz	2
	Pürüzlü	3
	Çıkıntılı	4
	Basamaklı	5
Dalgalık	Düzlemsel	1
	Az Dalgalı	2
	Dalgalı	3
	Kavisli	4
	Kıvrımlı	5

**Dalgalıhın ölçülmesi:** Süreksizlik yüzey profillerinin değerlendirilmesi amacıyla ayrıca büyük ölçekte dalgalıhın dalga boyu ve genlik parametreleri de ölçülmelidir. Bu amaçla Şekil 1.13' de gösterilen yöntemden yararlanılır. Söz konusu yöntemde; 1 m uzunluğunda bir cetvel süreksizlik yüzeyine dayatılır ve yüzeyin cetvele olan mesafesi ölçülür. Bu ölçüm, süreksizlik yüzeyinin genliğini verir ve yüzey boyunca değişik noktalarda tekrarlanmalıdır. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.26-31 )



Şekil 1.13 Süreksizliklerin dalga boylarının ve genliklerinin ölçülmesi.(Ulusay,Sönmez,2002)

### 1.1.5 Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı

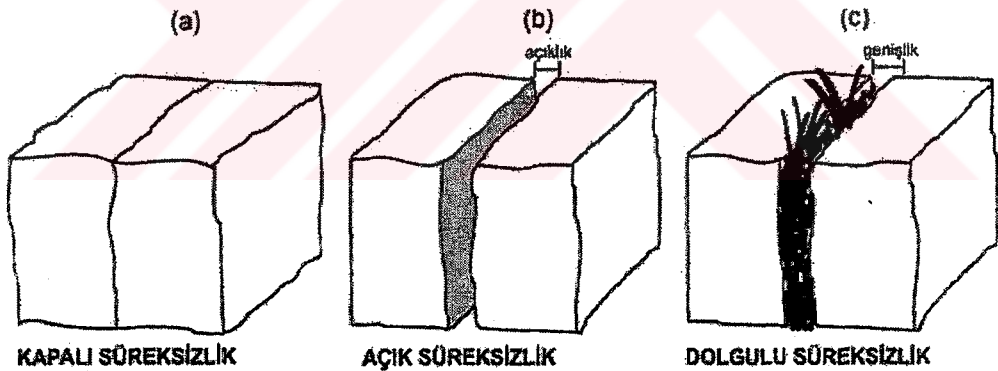
Eğer süreksizlik yüzeyi temiz ve kapalı (sıkı) ise, diğer süreksizlik parametreleri jeoteknik tanımlama açısından yeterli olabilmektedir. Ancak süreksizlik yüzeyi açık ise, bu açıklığın ölçülmesi gerekmektedir. Açıklık, bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi, su veya herhangi bir dolgu malzemesi tarafından doldurulmuş da olabilir (Şekil 1.14). Süreksizlik yüzeyleri arasındaki açıklıklar, genellikle erozyona veya kazıya bağlı gerilim azalmasıyla veya süreksizlik yüzeyindeki dolgu malzemesinin yıkanmasıyla yakından ilgilidir. Geniş açıklıklar, önemli derecede pürüzlülüğe ve dalgalılığa sahip süreksizliklerin makaslama yer değiştirmesine veya çekilme açılmasına maruz kalmalarından, yüzeyin yıkanmasından veya çözeltilerden kaynaklanmaktadır. Süreksizlikler çok düz yüzeylere sahip olmadıkları sürece, 0,1 mm veya 1,0 mm genişliğindeki açıklıkların süreksizliklerin makaslama dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmamaktadır.

Açıklık parametresi, kaya kütlelerinin gevşemesi ve sıvıları iletmeye kapasitesi açısından da önem taşır. Süreksizlikler boyunca gelişen su basıncı, su girişi ve akışı ve kaya kütlelerine gömülen atıkların ortamdan uzaklaşması (sıvı ve gaz), büyük ölçüde açıklık parametresi tarafından denetlenir. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.32 )

“Açıklığın ölçülmesi amacıyla mostrada floresanslı boya yöntemini uygulayabiliriz.” ( Snow, 1970 s.23 )

Yukarıda belirtilen floresanslı boya yöntemi, diğer bilim adamlarının yöntemleri ve benzeri gibi yöntemler kullanılmakla birlikte, en basit ve pratik ölçüm milimetre bölmeli şerit metre veya mikrometre ile yapılmaktadır (Şekil 1.15).

Bu amaçla kirli yüzeyler temizlenir ve geniş açıklıklar mikrometre ile ölçülür, ölçüm hattını kesen tüm süreksizliklerin açıklıkları kaydedilir. Diğer bir seçenek olarak, başlıca süreksizlik setinde açıklığın ölçüm hattı boyunca gösterdiği değişim de ölçülebilir.



Şekil 1.14 Kapalı, açık ve dolgulu süreksizlikler (ISRM, 1981)



Şekil 1.15 Yumuşak dolgulu bir süreksizlik yüzeyinde mikrometre ile açıklık ölçümü(Ulusay,Sönmez,2002)

Yüzeysel bozunma veya kazı yönteminden dolayı kaya mostralarında gözlenen açıklıklar genellikle örselenmiş açıklıklardır. Bu nedenle, yüzeyde ölçülen açıklıkların kaya kütlelerinde yüzeyden içe doğru ölçülen açıklıklara göre biraz daha geniş olacağı dikkate alınmalıdır. Süreksizlik açıklıklarının tanımlanması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilmiş ölçütler Tablo 1.4' da verilmiştir.

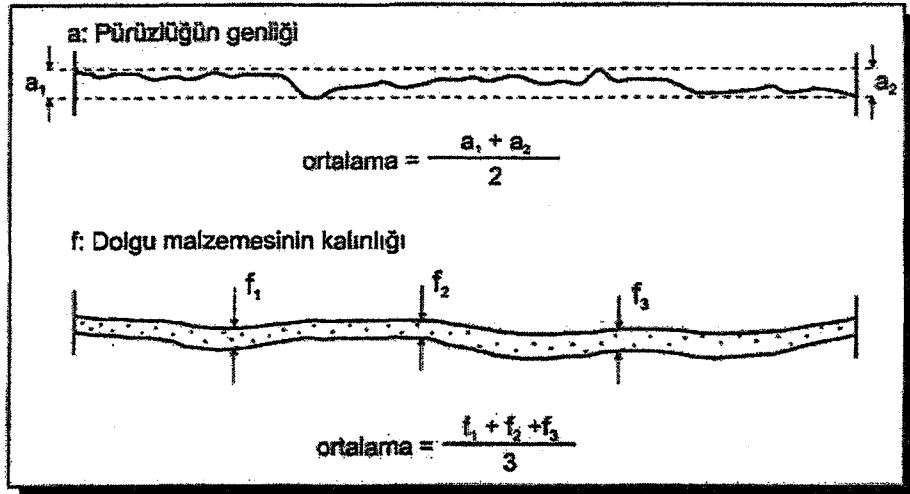
Tablo 1.4 Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981)

Açıklık	Tanımlama	
	< 0,1 mm	Çok sıkı
0,1 – 0,25 mm	Sıkı	
0,25 – 0,5 mm	Kısmen açık	
0,5 – 2,5 mm	Açık	"Boşluklu" yapılar
2,5 – 10 mm	Orta derecede geniş	
>10 mm	Geniş	
1-10 cm	Çok geniş	
10- 100 cm	Aşırı geniş	
> 100 cm	Boşluklu	"Açık" yapılar

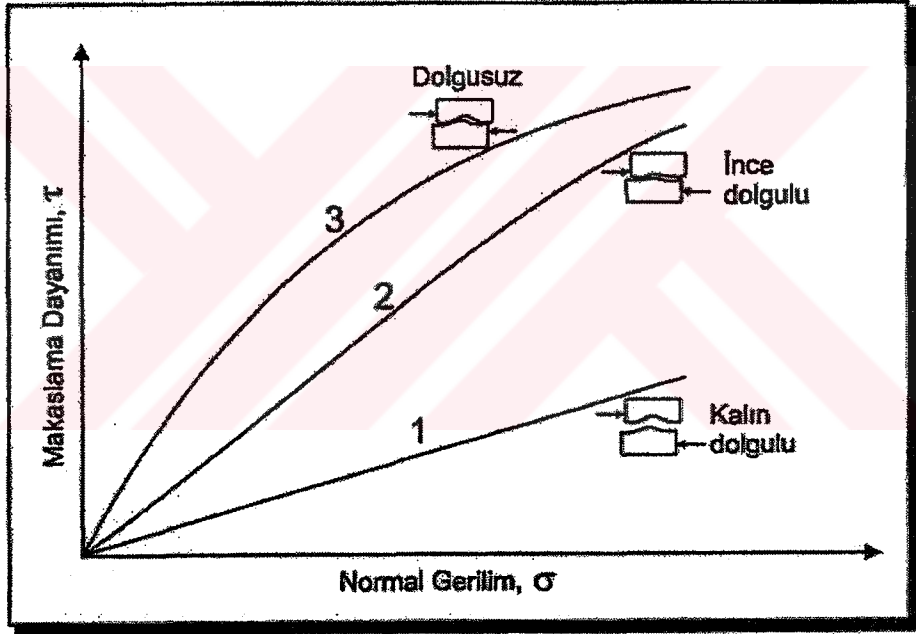
Açıklık parametresi değerlendirilirken, her süreksizlik seti için ortalama açıklık değeri belirlenir ve ortalama değerden daha geniş açıklığa sahip süreksizlikler, lokasyonları ve yönelimleri (eğim/eğim yönü) ile birlikte tanımlanır. Ayrıca aşırı derecede geniş aralıklı (10-100 cm) süreksizlikler ve/veya boşluklu (>1 m) yapıya sahip kaya kütleleri fotoğrafları da çekilerek kaydedilirler. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.33 )

#### *1.1.6 Dolgu Malzemesinin Özellikleri*

Dolgu malzemesi, süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kayaç malzemesinden daha zayıf olan malzemedir (Şekil 1.14c). Kum, şilt, kil, breş ve milonit tipik dolgu malzemeleridir. Dolgulu bir süreksizlikte süreksizliğin iki yüzeyi arasındaki uzaklık dolgunun kalınlığı olarak tanımlanır. Kalsit, kuvars ve pirit gibi yüksek dayanıma sahip mineraller hariç tutulursa, dolgu içeren süreksizlikler dolgusuz veya pürüzlü yüzeylere oranla daha düşük makaslama dayanımına sahiptirler ve bu nedenle kaya kütlelerinin dayanımı üzerinde daha etkin bir rol oynamaları beklenir. Eğer dolgu malzemesinin kalınlığı (f), süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğünün genliğinden (a) büyükse, süreksizlik yüzeyinin makaslama dayanımı dolgunun makaslama dayanımı tarafından denetlenir (Şekil 1.16). Pürüzlü ve pürüzsüz süreksizliklerde dolgu malzemesinin makaslama dayanımına etkisi, Şekil 1.17' da verilen yenilme zarflarıyla gösterilmiştir. Düşük normal gerilim seviyelerinde süreksizlik yüzeyinin makaslama dayanımını, dolgunun makaslama dayanımı denetlemektedir ( Şekil 1.17; 1 no.lu zarf ). İnce dolgulu süreksizliklerde normal gerilimin artmasıyla pürüzlü yüzeyler dolguyu ezerek kenetlenirken, yenilme zarfının eğimi de artmaktadır ( Şekil 1.17; 2 no.lu zarf). Dolgusuz, ancak pürüzlü bir süreksizlik yüzeyinde ise, normal gerilim arttıkça pürüzlülükler (çıkıntılar) yenilmekte ve süreksizlik boyunca meydana gelen yer değiştirme, dolayısıyla makaslama dayanımı, doğrudan düz süreksizlik yüzeyleri tarafından denetlenmektedir.



Şekil 1.16 Dolgu malzemesinin kalınlığı ve pürüzlü süreksizlik yüzeyinin genişliği arasındaki ilişki (ISRM, 1981)



Şekil 1.17 Dolgu malzemesinin kalınlığının ve süreksizliğin makaslama dayanımına etkisi (Hoek ve Bray, 1981)

Dolgu malzemesinin pek çok özelliği arasında aşağıda verilenler en önemli özellikler olup, tanımlanmaları gerekir (ISRM, 1981).

- Mineraloji
- Tane boyu dağılımı
- Aşırı konsolidasyon oranı
- Su içeriği ve geçirgenlik



- Dolgunun daha önce maruz kaldığı makaslama yer değiştirmesi
- Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü
- Dolgunun kalınlığı
- Süreksizlik yüzeyini oluşturan kayacın kırılma veya parçalanma özelliği

(Ulusay ve Sönmez, 2002 s.34-37 )

### *1.1.7 Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı*

Süreksizlik yüzeylerini içeren kayacın dayanımı, özellikle süreksizlik yüzeylerinin dolgusuz ve birbiriyle temas halinde olması koşulunda, makaslama dayanımı ve deformabilite açısından son derece önemlidir. Kaya kütleleri yüzeye yakın kesimlerde genellikle bozunmuş veya biraz daha derinde hidrotermal süreçlere bağlı olarak alterasyona uğramış olabilirler. Bu nedenle süreksizlik yüzeylerinin dayanımı, bu yüzeylerin ve yakın civarındaki kayaç malzemesinin bozunma derecesiyle yakından ilişkilidir. Bozulmanın derecesine bağlı olarak, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı ana kayaç malzemesinin dayanımından daha düşük olabilir. Dolayısıyla hem kayaç malzemesinin, hem de kaya kütlelerinin bozunma durumunun tanımlanması, süreksizlik yüzeylerinin dayanımının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Süreksizlik yüzeylerinin dayanımını bu denli yakından ilgilendiren bozunmanın, mekanik parçalanma ve kimyasal ayrışma gibi iki önemli sonucu vardır. Genel olarak kayaç üzerinde fiziksel (mekanik) ve kimyasal faktörler birlikte etkirler. Ancak, iklim koşullarına bağlı olarak, bunlardan biri diğerinden daha baskın olabilir. Fiziksel bozunma, süreksizliklerin açıklıkları boyunca meydana gelir ve kayacın parçalanması sonucu komşu mineral tanelerinde dilinim ve kırıkların gelişerek yeni mikro süreksizliklerin oluşumuna neden olur. Kimyasal bozunma ise, kayaçlarda renk değişimi ve özellikle silikat minerallerinin kil minerallerine dönüşmesiyle sonuçlanmaktadır. Ancak, kuvars gibi dayanıklı bazı mineraller bu etkilere karşı direnç göstererek değişmeden kalırlar. Kimyasal bozunma sonucunda karbonat ve tuz minerallerinin çözünmesi de önemlidir. Ayrıca süreksizlik yüzeylerindeki mineral sıvılamaları veya kaplamaları da, özellikle yüzeyler düz ve pürüzsüz ise, makaslama dayanımını bir ölçüde etkileyebilmektedir.



Bu açıdan, gözlemler sırasında süreksizlik yüzeylerindeki mineral kaplamalarının veya sıvamalarının tanımlanmasında yarar vardır. ( Ulusay ve Sönmez, 2002 s.38 )

“Bozulmanın derecesi genel olarak ; test çukurlarında, şev aynalarında, tünel veya galerilerde ve sondaj karot örneklerinden ayırtılabilir. Kaya kütlelerinin bozulması ; bozulmaya uğramış malzemenin kütledeki dağılımına, bozulmanın süreksizlikler üzerindeki etkisine ve kayadaki renk değişimlerine göre değerlendirilir.”( Ulusay,. 1994 s.10 )

Tablo 1.5 Kaya kütlelerinin bozulma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981)

Tanım	Tanımlama ölçütü	Bozulmanın derecesi
Bozulmamış (taze)	Kayacın bozulduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözlenebilir.	1
Az bozulmuş	Kayaç malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozulma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiş ve kayaç taze halinden daha zayıf olabilir.	2
Orta derece bozulmuş	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Kayaç; taze yada renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	3
Tamamen bozulmuş	Kayacın tümü toprak zemine dönüşerek ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	4
Artık zemin	Kayacın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmakla birlikte zemin taşınmamıştır.	5

Dayanımın tahmin edilmesi amacıyla basit deneylerden veya Schmidt çekicinden yararlanılmaktadır. Ayrıntılı tanımlama ölçütleri Tablo 1.7' de verilen basit deneyler, süreksizlik yüzeylerinde veya bu yüzeyleri temsil eden kayaç malzemesi üzerinde yapılabilir. Bu deneylerle tahmin edilen dayanım tamamen göreceli olup, kayaç malzemesini temsil eden el örneklerinde, bıçak veya jeolog çekici darbeleriyle kayacın ufalanmasına veya kırılmasına göre zayıf, orta ...v.b gibi tanımlamalar esas alınmaktadır.

Tablo 1.6 Kayaç malzemesinin bozulma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981)

Tanım	Tanımlama ölçütü
Taze (bozulmamış)	Kayaç malzemesinin bozulduğuna ilişkin görünür bir belirti yoktur
Rengi değişmiş	Orijinal kayaç malzemesinin rengi değişmiş olup, renkteki değişimin derecesi belirgindir. Renk değişimi sadece bazı mineral taneleri ile sınırlı ise bu durum kayıtlarda belirtilmelidir.
Bozulmuş	Kayaç malzemesi orijinal dokusunu korumakla birlikte, toprak zemine dönüşmüştür. Ancak minerallerin bir kısmı veya tamamı bozulmuştur.
Bozulmuş-dağılmış	Kayacın orijinal dokusu korunmakla birlikte kayaç malzemesi tamamen bozularak toprak zemine dönüşmüş olup, kırılıdır.

Tablo 1.7 Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)

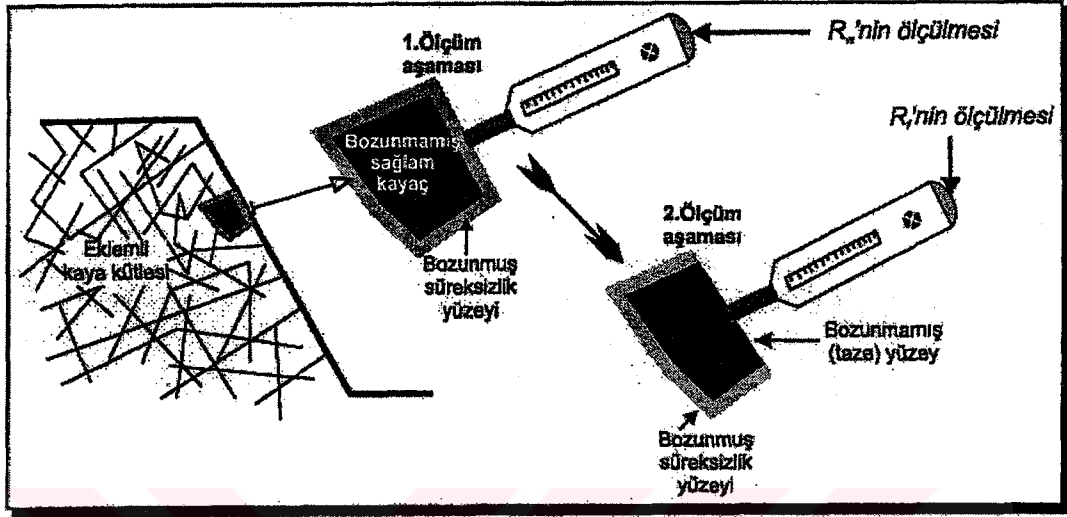
Simge	Tanım	Saha Tanımlaması	Tek eksenli sıkışma dayanımı, $\sigma_c$ (MPa)
R0	Aşırı derecede zayıf kayaç	Kayaçın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir	0,25 – 1,10
R1	Çok zayıf kayaç	Jeolog çekiciyle sert bir darbeyle ufalanan kayaç çakı ile doğranabilir	1,0 – 5,0
R2	Zayıf kayaç	Kayaç, çakı ile güçlükle doğranır. Jeolog çekiciyle yapılacak sert bir darbe kayaçın yüzeyinde iz bırakır	5,0 – 25
R3	Orta derece sağlam kayaç	Kayaç, çakı ile doğranamaz. Kayaç örneği, jeolog çekiciyle yapılacak tek ve sert bir darbe ile kırılabilir	25 – 50
R4	Sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle birden fazla darbenin uygulanması gerekir	50 – 100
R5	Çok sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile çok sayıda darbe gerekir	100 – 250
R6	Aşırı derecede sağlam kayaç	Kayaç örneği, jeolog çekiciyle sadece yontulabilir	> 250

**Schmidt çekici deneyi:** Eklem yüzeylerinin sıkışma dayanımının, dolaylı da olsa, arazide tahmini açısından pratik bir yöntemdir. Çekiç, deney sırasında süreksizlik yüzeylerine dik yönde uygulanır. Tutucu tarafta kalınması amacıyla süreksizlik yüzeylerinin ıslak olarak deneye tabi tutulması çoğu kez tercih edilen bir uygulamadır. Deneyin yapılacağı yüzeydeki döküntülerin temizlenmiş olması gerekir. Bu deney, çok dar aralıklı süreksizlikleri içeren gevşek kaya kütleleri için uygun değildir. Bu tür koşullarda, kaya kütlesi ortamından alınmış küçük blok örnekler metal bir kanala yerleştirildikten sonra Schmidt çekici uygulanmalıdır.

Schmidt çekici kullanılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Çekiç, süreksizlik yüzeyine dik yönde uygulanır. Uygulamada çekicinin, ekseninden en fazla  $\pm 5^\circ$  kadar sapmasına izin verilir.
- Deney, süreksizlik yüzeyinde 10 ayrı noktada uygulanır ve en düşük beş geri sıçrama sertlik değeri iptal edilerek, diğer beş okumanın ortalaması alınır.

(c) Belirlenen ortalama geri sıçrama sertlik değeri, çekicinin yönelimi ve kayacın birim hacim ağırlığı kullanılarak belirli bir hata payıyla da olsa, yüzeyin tek eksenli basma dayanımı belirlenir. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.39 )



Şekil 1.18 Eklem yüzeylerinin bozunma sınıflaması için önerilen ve sahada yapılan Schmidt çekici deneyini esas alan yöntem (Gökçeoğlu, 1997)

### 1.1.8 Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Kaya kütlelerinde suyun sızması, birbirleriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca (ikincil geçirgenlik) meydana gelen akışla gerçekleşir. Sızma hızı, kabaca yerel hidrolik eğime ve yönsel geçirgenliğe bağlıdır. Açık süreksizlikler boyunca yüksek hızdaki akış, türbütanstan dolayı artan basınç kayıplarına neden olur. Yeraltı suyu tablasının konumunun ve su basınçlarının belirlenmesi, duraysızlıkla ilgili bir uyarıcı olabileceği gibi, inşaat sırasında sudan kaynaklanabilecek güçlüklerin önceden kestirilebilmesi açısından da önem taşır. Özellikle süreksizlikler boyunca sürekli bir su akışının varlığı halinde, kaya kütlelerinin ve süreksizliklerin mekanik ve hidrojeolojik özellikleri değişebilir. Süreksizlik yüzeyleri arasındaki su basıncı normal gerilimi, dolayısıyla makaslama dayanımını azaltır veya yüksek normal gerilimler altında süreksizliklerin geçirgenliği azalır. Kaya kütlelerinde ayrıca düzensiz ve tünek su tablaları ile karşılaşılabilir ve bunlar sürekliliği fazla olan dayk ve kil dolgululu süreksizlikler veya geçirimsiz tabakalar gibi yapısal unsurlarla ilişkili

olabilirler. Bu tür potansiyel akış bariyerleri, özellikle tünel ve benzeri yapılarda yüksek basınçlı su akışına yol açabilir.

Kaya kütlelerinin hidrojeolojik özelliklerinin tayini amacıyla sondaj yapılmasının ve bu sondajlar boyunca pompaj ve izleme deneyleri gibi arazi deneylerinin gerçekleştirilmesinin yanı sıra, yeraltı suyu tablasının belirlenmesi, piezometre yerleştirilmesi ...v.b türdeki uygulamalar yaygındır. Bununla birlikte, kaya mekaniği çalışmalarının ilk aşamalarında genellikle pek fazla sondaj yapılmadığı için, hidrojeolojik özellikler başlangıçta daha çok gözleme dayalı tanımlamaları esas alan ölçütlerle belirlenir. Bu amaçla ISRM (1981) tarafından önerilmiş olan ve kazı aynalarında yapılacak gözlemleri esas alan su sızıntısıyla ilgili tanımlamalardan yararlanılmaktadır.

Kaya mühendisliği uygulamaları, örneğin tüneller, kaya kütleindeki suyun drene olması yönünde rol oynarlar. Bu nedenle, mühendislik yapısının belirli bir bölümüne kaya kütlelerinden gelen suyun tanımlanmasında yarar vardır. Bu değerlendirme, Tablo 1.8' te verilen tanımlama ölçütlerine göre, kazı sırasında veya kazıdan hemen sonra yapılmalıdır. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.45)

Tablo 1.8 Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri  
(ISRM,1981)

Sızıntı Sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru, sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış, sürekli akışın gözleendiği süreksizlikler belirlenmeli
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmeli
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözleniyor

### 1.1.9 Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Seti Kavramı

Süreksizliklerin uzaydaki konumları, eğim ve doğrultularıyla tanımlanır. Özellikle genel jeoloji çalışmalarında esas alınan bu iki parametre, jeolog pusulası ile ölçülmektedir (Şekil 1.19). Buna karşın, daha hızlı ölçüm alınmasını sağlaması ve veri işlemeyi (değerlendirmeyi) kolaylaştırması nedeniyle, jeoteknik uygulamalarda doğrultu yerine eğim yönünün ölçülmesi tercih edilmektedir. Eğim, bir süreksizlik düzleminin yatay düzlemle yaptığı açı olup, kuzeyden itibaren saat yönünde ölçülen ve kuzey yönü ile eğim çizgisinin yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açı ise, eğim yönü olarak tanımlanır (Şekil 1.20a). Doğrultu ile eğim yönü arasında  $90^\circ$  lik bir fark vardır. "Doğrultu/eğim" değerleri K20D/37GD olan bir süreksizlik düzleminin "eğim yönü/eğim" değerleri 110/37° dir (Şekil 1.20b). Eğim ve eğim yönü, klasik jeolog pusulasından biraz farklı olan pusulalarla ölçülür. Bu pusulalarla eğim, pusulanın sırtındaki tamburdan, eğim yönü ise iç kadrandan ölçülmektedir. Ölçümleri hafızaya kaydedilip, daha sonra veriyi bilgisayar ortamına aktarabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Eğim yönü değerleri,  $0^\circ$  ile  $360^\circ$  arasında değişir. Dolayısıyla  $0^\circ$  ile  $99^\circ$  arasındaki eğim yönlerinin eğim değerleriyle karıştırılmaması amacıyla, bu aralıktaki eğim yönü değerlerinin önüne 0 eklenir (örneğin; 060, 091 gibi). Süreksizlik düzlemlerinin konumlarını tanımlayan bu iki değer, eğim yönü/eğim veya eğim/eğim yönü şeklinde kaydedilir (örneğin; 110/65° veya 65°/110 gibi).

Yönelimleri hemen hemen birbirleriyle aynı olan münferit süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa "süreksizlik seti" veya "süreksizlik takımı" adı verilir. Kaya kütleleri çoğu kez birden fazla süreksizlik seti tarafından bölünmüştür. Süreksizlik setlerinin en çok gözlendiği yönelim ile mühendislik yapılanma veya kazılarının (örneğin; yeraltı açıklıkları veya şevler) yönelimi arasındaki ilişki, duraysızlık modelinin ve potansiyelinin değerlendirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, arazide ölçülmüş çok sayıda süreksizlik yöneliminin istatistiksel yöntemlerle değerlendirilerek, süreksizlik seti sayısının ve bunların ortalama yönelimlerinin belirlenmesi, kaya mühendisliği uygulamalarının ayrılmaz bir

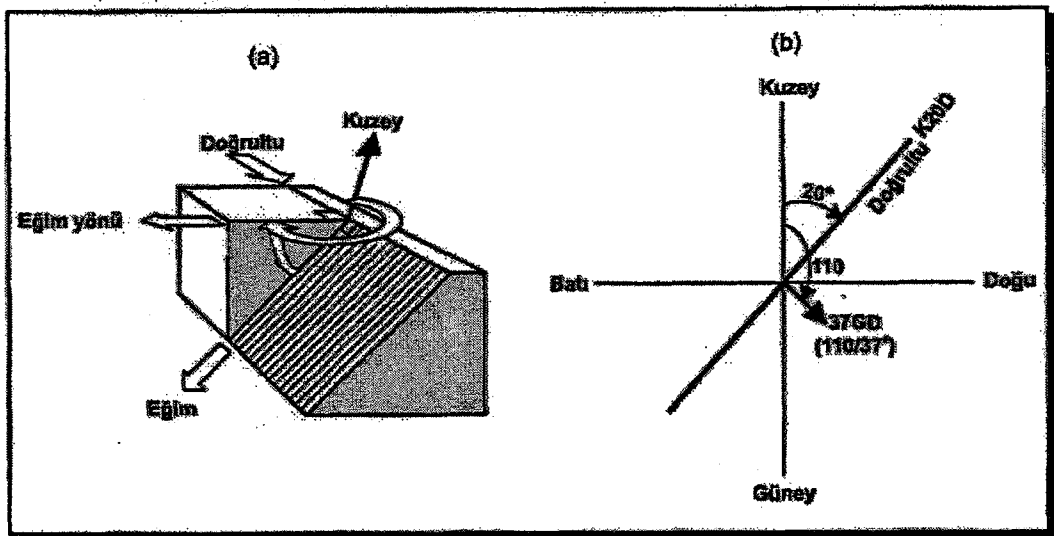


parçasıdır. Süreksizlik yönelimi verileri, grafiksel olarak “gül diyagramları ve histogramlar” ve “stereografik izdüşüm” teknikleriyle değerlendirilir. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.47 )



Şekil 1.19 Bir süreksizlik düzleminin yöneliminin jeolog pusulası ile ölçümü.

(Ulusay,Sönmez,2002)

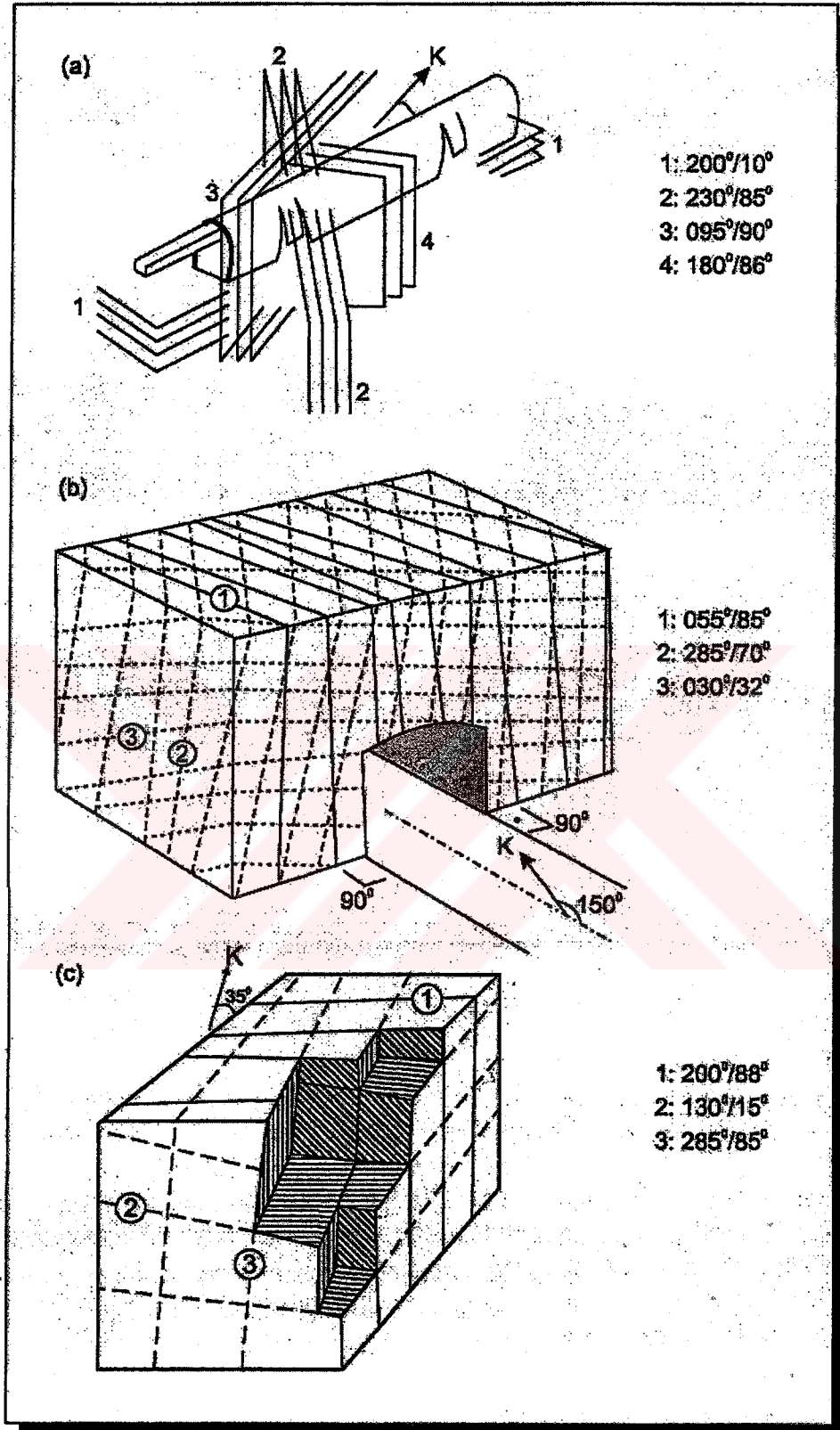


Şekil 1.20 (a) Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramlarını gösteren blok diyagram (b) doğrultu ve eğim yönü arasındaki ilişkiye bir örnek.(U,S,2002)

Süreksizlik yönelimlerinin değerlendirilmesiyle ilgili olarak yukarıda belirtilen yöntemlerin yanısıra, daha basit, ancak kaya mühendisliği çalışmalarının ilk aşamalarında yararlanılabilecek değerlendirme teknikleri de kullanılmaktadır. Örneğin, Şekil 1.21a' da gösterilen ve mühendislik yapısı ile kaya kütesinin yapısı arasındaki ilişki hakkında genel bir fikir verebilecek perspektif çizimler, bu tür değerlendirmelere bir örnek oluşturmaktadır. Ayrıca ayrıntılı blok diyagramlar (Şekil 1.21b ve c) hazırlanarak, örneğin tünel girişleri, kaya şevleri, baraj abatmanları gibi yapılar için kaya kütleleri temsil edici şekilde belirtilebilir.

Birbirini kesen süreksizlik setlerinin sayısı, kaya kütlelerinin hem mekanik davranışı, hem de görünümü üzerinde etkilidir. Örneğin geniş aralıklı ve az sayıdaki süreksizlik setlerinin varlığı kaya kütesindeki duraysızlık riskini azaltır. Ancak sık aralıklı ve devamlılığı yüksek çok sayıdaki süreksizlik seti tarafından bölünmüş kaya kütleleri, örneğin şev kazılarında, potansiyel duraysızlık modelinin düzlemsel veya kama tipi olmaktan çok dairesel bir modele dönüşmesine yol açabilir. Süreksizlik seti sayısı yeraltı açıklıkları açısından değerlendirildiğinde; üç, ya da daha fazla sayıda ve nisbeten sık aralıklı süreksizlik setlerini içeren kaya kütleleri, daha az sayıda süreksizlik setiyle bölünmüş kaya kütlelerine oranla daha kolay serbest katabilecek ve deformasyona uğrayabilecek bloklu bir yapıya sahiptirler. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.56 )



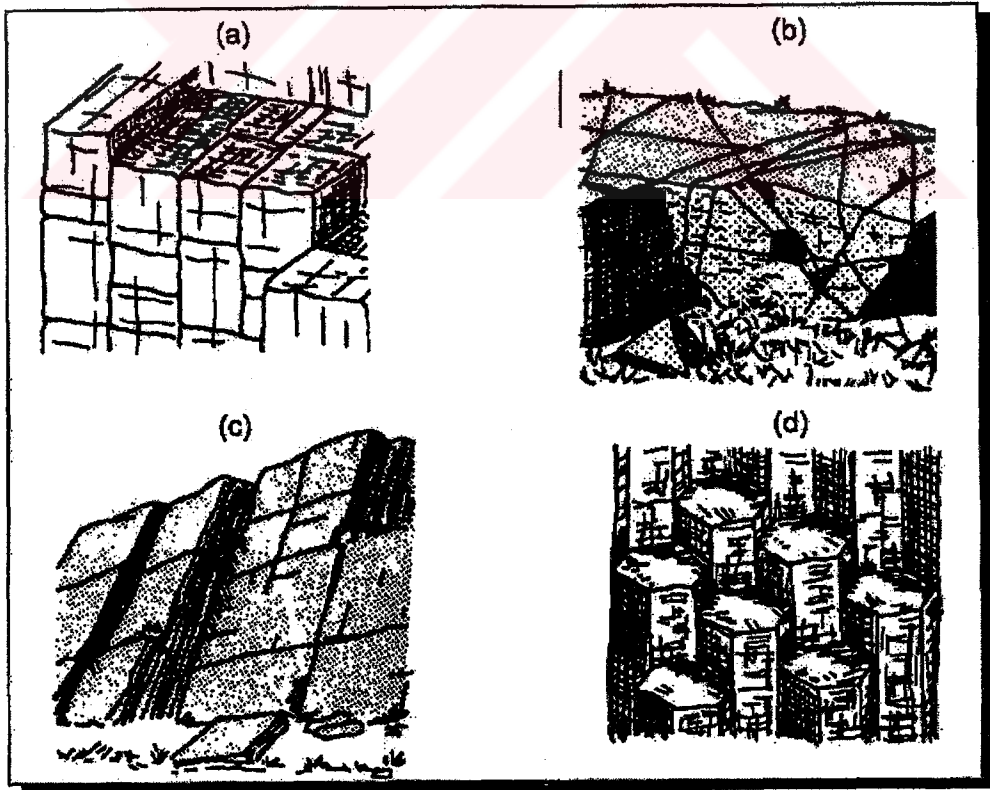


Şekil 1.21 Süreksizlik setleriyle mühendislik yapılarının ilişkisini gösteren perspektif görüntümler ve blok diyagramlar (ISRM, 1981).

### 1.1.10 Blok Boyutu

Blok boyutu, kaya kütlelerinin davranışının önemli bir göstergesi olup, süreksizlik aralığı, set sayısı ve yönelimi gibi faktörler oluşan blokların şeklini tayin eder. Blok büyüklüğüne ve şekline göre ISRM (1981) tarafından kaya kütleleri için Önerilen gruplandırma ve tanımlamalar aşağıda verilmiş olup, bu tanımlamalara esas olan kaya kütlelerinin arazideki görünüşleri ise Şekil 1.22' de gösterilmiştir.

- (a) Masif: Birkaç süreksizlik veya çok geniş aralıklı süreksizlikler içeren kaya kütleleri
- (b) Bloklu: Yaklaşık eş boyutlu bloklardan oluşan kaya kütleleri
- (c) Yassı/plaka: Bir boyutu diğerlerine göre daha küçük blokları içeren kaya kütleleri
- (d) Kolonsal: Bir boyutu diğer iki boyutundan daha büyük bloklardan oluşan kaya kütleleri
- (e) Düzensiz: Blok boyutlarında ve şeklinde belirgin farklılıklar gözlenen kaya kütl.
- (f) Parçalanmış: Çok sık eklemli ( şeker küpü şeklinde ) kaya kütleleri



Şekil 1.22 (a) Bloklu (b) düzensiz (c) yassı/plaka ve (d) kolonsal yapıya sahip kaya kütleleri

(ISRM, 1981)

Blok boyutu ve bloklar arası makaslama dayanımının ortaklaşa etkisi, belirli gerilim koşulları altındaki kaya kütlelerinin mekanik davranışını denetler. Geniş bloklardan oluşan kaya kütleleri daha az deformasyona uğramaya eğilimli olup, örneğin yeraltı açıklıklarında iyi bir kemerlenme ve kenetlenme gösterirler. Blok boyutunun küçülmesiyle yeraltı açıklığının tavanındaki ve yan duvarlarındaki tetrahedral blokların serbest kalıp yerçekiminin etkisi altında düşmesi veya süreksizliklerin kesişme hattı boyunca kayması sonucu duraysızlık gelişebilir. Şevlerde ise, kaya kütlelerinin küçük boyutlu bloklardan oluşması koşulunda, süreksizlik denetimli duraysızlıkların yerine, toprak zeminlerde olduğu gibi, dairesel bir duraysızlık türü ile karşılaşmaktadır.

Blok boyutu; tipik blokların ortalama boyutuyla ( blok boyutu indeksi,  $I_b$  ) veya birim hacimdeki bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizliklerin toplam sayısı (hacimsel eklem sayısı,  $J_v$ ) tanımlanır. Ayrıca ağırlıklı eklem yoğunluğu ( $wJ_d$ ) da benzeri amaçla kullanılan diğer bir parametredir. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.58 )

#### 1.1.10.1. Blok boyutu indeksi ( $I_b$ )

Bu indeksin ( $I_b$ ) tayin edilmesinden amaç, tipik kaya bloklarının ortalama boyutlarını tanımlamaktır. İndeks, arazide seçilen tipik blokların boyutları tayin edildikten sonra bunların ortalamasının alınması esasına dayanır. İndeksin değeri milimetreden birkaç metreye kadar olabileceği için, ölçümler %10 duyarlılıkta alınmalıdır. Dördüncü bir süreksizlik setinin varlığı halinde,  $I_b$  yapay olarak artacak, ancak bu setin dikkate alınmış olması sahada gözlenen gerçek blok boyutları üzerinde çok az etkili olacaktır.

Sedimanter kayalarda birbirine dik yönde gelişmiş iki eklem seti ve tabakalanma, kübik veya prizmatik bir blok şekli oluşturur ve  $I_b$  aşağıdaki ifadeden daha duyarlı şekilde hesaplanabilir.

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$$

Yukarıdaki eşitlikte  $S_1$ ,  $S_2$  ve  $S_3$ , her eklem seti için hesaplanmış ortalama modal aralık değerleridir.

### 1.1.10.2. Hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ )

Palmstrom ile diğer bilim adamları tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ ) birim hacimdeki bir kaya kütleğinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır. Bu parametrenin tayininde rastgele gelişmiş süreksizlikler de dikkate alınabilir ve  $J_v$ 'yi önemli ölçüde etkilemez. Ölçüm hattının uzunluğu hakkında bir takım değerlendirmeler bilim adamları tarafından yapılmıştır. Bu konuda Palmström'ün görüşü aşağıda belirtilmiştir.

“Bu konuda elde edilen deneyimler, ölçüm hattı uzunluklarının 5-10 m arasında seçilebileceğini göstermiştir.” (Palmström, 1996)

$J_v$ , aşağıdaki ifadeden hesaplanır.

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots + \frac{N_n}{L_n}$$

$N_n$ : Gözlenen her bir eklem (süreksizlik) seti (1' den n' e kadar) için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı

$L_n$ : Gözlenen her bir eklem setine (1' den n' e kadar) dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğu

Yukarıdaki ifadeden belirlenen  $J_v$  değerine göre, Tablo 1.9' da verilen aralıklar esas alınarak blok tanımı yapılır.  $J_v$ 'nin hesaplanması ve değerlendirilmesiyle ilgili bir örnek aşağıda verilmiştir.

**Örnek** ; 10' ar metrelik ölçüm hatları boyunca 4 eklem seti için belirlenen toplam süreksizlik sayıları 6, 24, 5, 1' dir. Buna göre  $J_v$ ,

$$J_v = 6/10 + 24/10 + 5/10 + 1/10 = 3,6 \text{ eklem/m}^3$$

Olarak belirlenir. Bu değer Tablo 1.9' daki değişim aralıkları dikkate alınarak değerlendirildiğinde, kaya kütlelerinin orta boyutlu bloklardan oluştuğu sonucuna varılır. (Ulusay ve Sönmez, 2002 s.61 )

Tablo 1.9 Hacimsel eklem sayısına ( $J_v$ ) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM,1981)

Tanım	$J_v$ (eklem / $m^3$ )
Çok geniş bloklar	< 1
Geniş bloklar	1 – 3
Orta büyüklükteki bloklar	3 – 10
Küçük bloklar	10 – 30
Çok küçük bloklar	> 30

### 1.1.10.3 Blok Hacim Hesabı

Mermer bloklarının ölçülendirilmesi ve  $m^3$  bazında fiyatlandırılması, blokların üretimi ile birlikte daha ocak aşmasındayken başlayan bir sorundur. Bu konu ilk olarak işveren-taşeron arasında ortaya çıkar ve ocak işletmecisi ile blok alıcısı arasında devam eder.

Köşelendirilmiş blokların ölçülendirilmesinin de önemli bir sorun yoktur. Esas sorun, şekilsiz ve/veya çatlaklı blokların boyutlandırılmasıdır. Burada dikkat edilmesi gereken konu, bloktan alınabilecek maksimum plaka veya strip miktarının baz alınmasıdır.

Düzgün yüzeyli bir blokta fiyatlandırmayı esas alınacak hacim

$V = (a-0.03)*(b-0.03)*(h-0.03)$  ( $m^3$ ) formülü ile hesaplanır.

Yukarıdaki ayrıntılar göz önünde tutularak şekilsiz blokların boyutlandırılmasında ise, blok içine yerleştirilecek maksimum ürün verebilecek düzgün dikdörtgen hacmi hesaplamada esas alınabilir.

$$V = a*b*h \text{ (} m^3 \text{)}$$

Yukarıdaki hesaplamalarda alıcı lehine bir durum ortaya çıkıyor gibi görünüyorsa da, burada nakliye gibi büyük girdiler dikkate alınmalıdır. Ocak işletmesinde bu yöndeki baskılar, blok bazında  $m^3$  hesabı çalışan taşeronların düzgün bloklar üretmesini ve üretim kayıplarının minimum düzeyde tutulmasını sağlar. (Onargan ve Köse 1997, s.150)

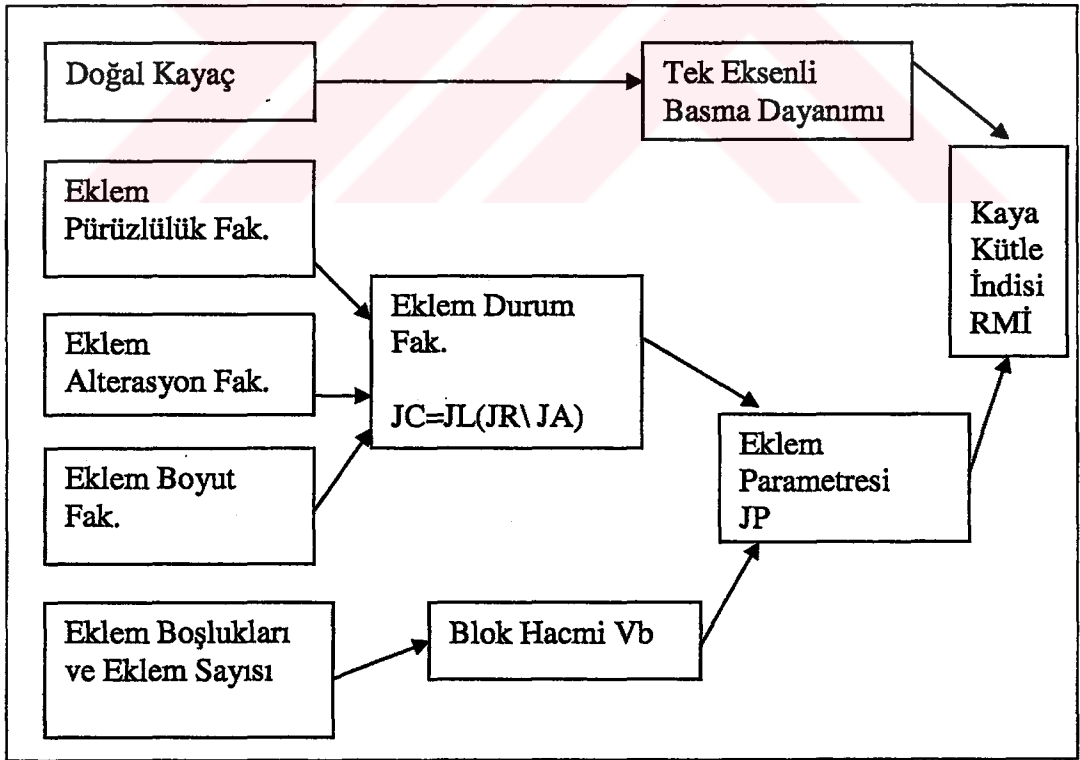
## 1.2 RMI Sisteminin İrdelenmesi ve Bu Yöntem İle Mermer Blok Boyutlarının Nasıl Elde Edileceğinin İncelenmesi

Sivil mühendislikte genellikle kullanılan yapı malzemeleri, sıklıkla, dayanım özelliklerine göre karakterize edilirler. Ancak bununla beraber, kaya mühendisliğinde, genel kullanımda özel bir kaya kütle karakterizasyonu bulunmamaktadır. Çoğu mühendislik çalışması, 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 İndisi Sistemi (RMI), bu ihtiyacı karşılamak amacıyla geliştirilmiştir.

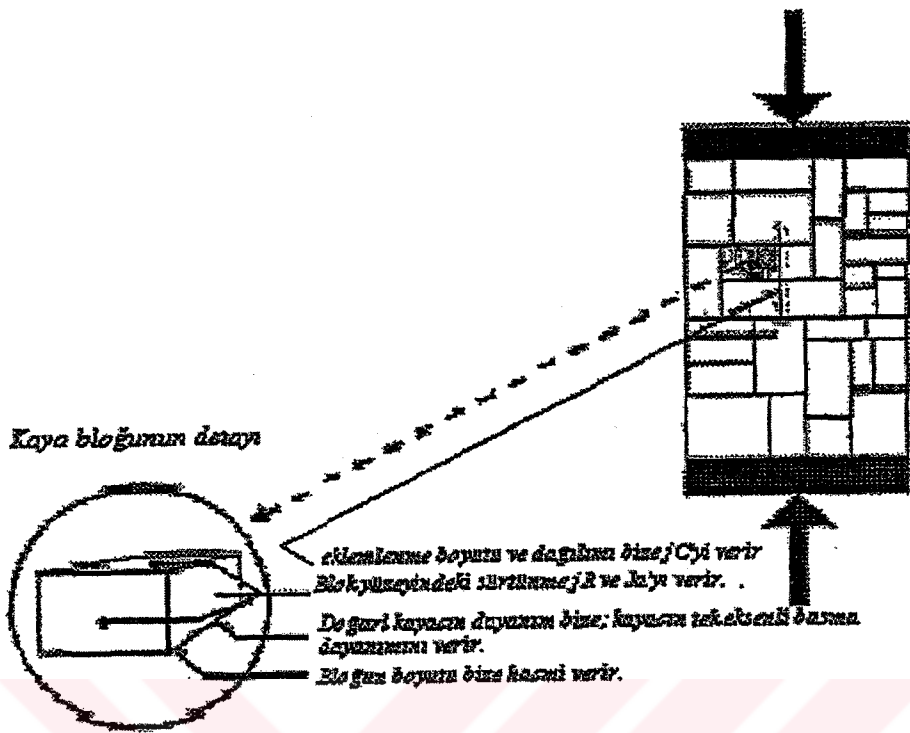
### 1.2.1 RMI Nedir ve Kullanım Alanları Nelerdir

#### 1.2.1.1 RMI Bize Neyi İfade Etmektedir

Mühendislik çalışmalarında en önemli işlemlerden birisi, RMI deki parametrelerin doğru bir şekilde kullanımıdır. RMI değerinin belirlenmesinde kullanılan veriler ve girilen bilgilerle ilgili ana prensipler, Şekil 1.23 ve Şekil 1.24 de gösterilmiştir.



Şekil 1.23 RMI nin Hesaplama Yolunun Genel Akım Şeması(Palmström,1995)



Şekil 1.24 Kaya Kütleindeki Yaklaşık Olarak Kayacın Tek Eksenli Basma Dayanımı Karakterize Eden Parametreler( Palmström,1995).

RMI, kaya içindeki eklemlenmelerin kesişmesinin kayacın dayanımını düşüreceği prensibi üzerine kurulmuştur. Bu şu şekilde ifade edilir.

$$“ RMI = \sigma_c \times JP ” .( Palmström,1995)$$

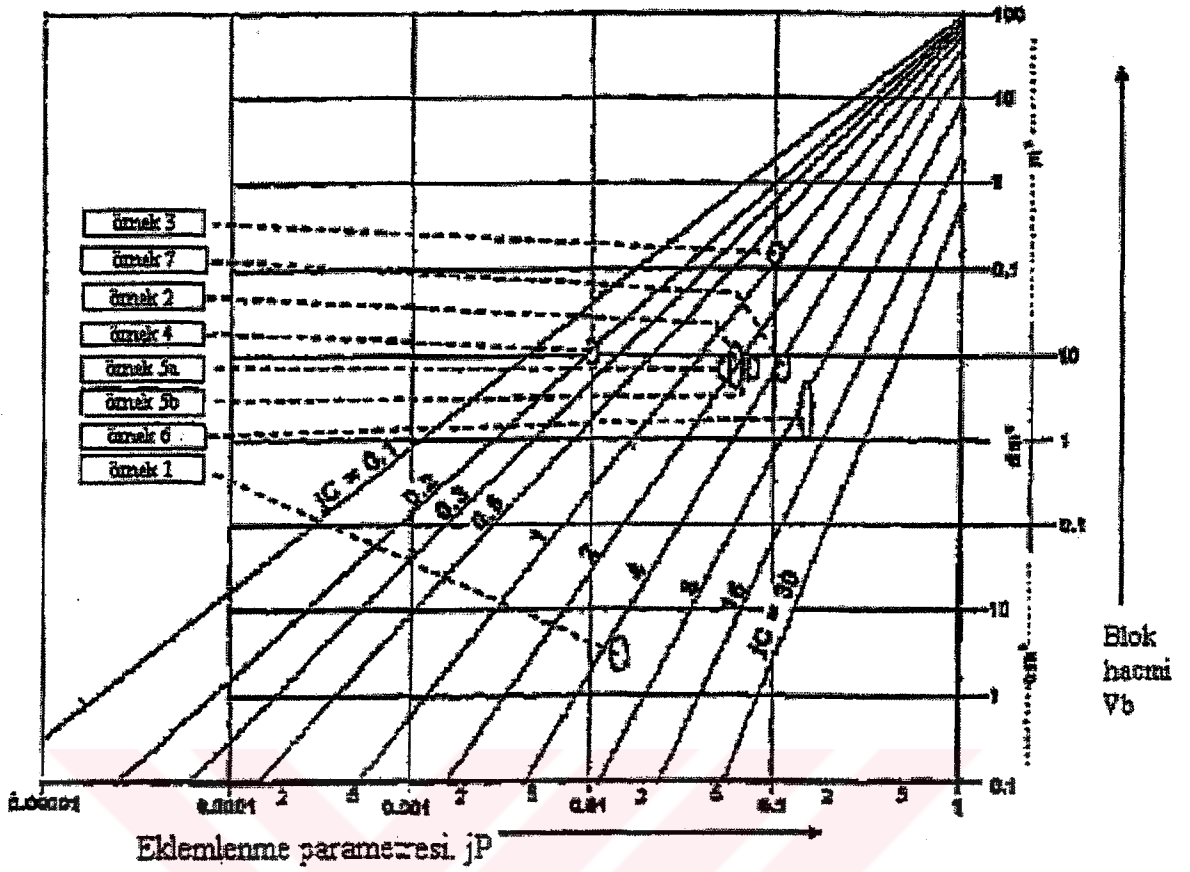
Burada ;

$\sigma_c$  : Doğal kayaç örneklerinde hesaplanmış olan, kayacın tek eksenli basma dayanımıdır.(Mpa)

JP : Doğal kayaçta, eklemlenmeler sebebiyle meydana gelen dayanım kaybını ifade eden, eklemlenme parametresidir. Şekil 1.23' de gösterildiği üzere, bu parametre, kaya kütleindeki genel eklem yapılarını kapsamaktadır.

JP' nin açıklaması, Şekil 1.25' teki diyagram kullanılarak buluna bilinir.





Şekil 1.25 JP ve Blok Hacmine Bağlı Diyagram. (Palmström,1995)

JP' nin açıklanması için geri hesaplamalar veya, 8 adet büyük skalalı, basınç dayanım testi sonuçları kullanılmıştır. Örnekler hakkında bilinen değerler diyagram üzerinde yerleşmiş ve, JP, eklemlenme karakterizasyonun belirten çizgiler, JP' nin ifadesini göstermektedir. Şekil 1.25 ' ten de faydalanılarak aşağıdaki formül ifade edilir.

$$“JP = 0.2 \times (JC)^{\frac{1}{2}} \times Vb^D” . (Palmström,1995) .$$

$$“D = 0.36 JC^{-0.2}” . (Palmström,1995) .$$

Şekil 1.25' teki diyagram, Vb ve JC ; saha çalışmaları ve gözlemleri ile bulunduğu ve bilindiği takdirde, JP' yi bulmak için kullanılabilir. JP' ye bağlı, eklemlenme yapılarının değer ve oranları, Tablo 1.10' de gösterilmiştir.

Tablo 1.10 RMI' ye Giriş Parametrelerinin İfadesi (Palmström,1995)

<b>DOĞAL KAYACIN TEK EKSENLİ BASMA DAYANIMI <math>\sigma_c</math> (Mpa)</b>						
<b>BLOK HACMI <math>V_b</math> (m<sup>3</sup>) (kayaç yerinde ölçülmüştür.)</b>						
<b>EKLEMLENME DURUMU FAKTÖRÜ, JC JC = JR(JL/JA)</b>						
<b>EKLEMLENME PÜRÜZLÜLÜK FAKTÖRÜ (JR)</b>						
<b>Kalın italik değerler, Jr 'ye benzerlik göstermektedir.</b>		<b>Eklemlenme Düzleminin Dalgalanma Değerleri</b>				
		<b>Düzlemsel</b>	<b>Düşük Dalg.</b>	<b>Dalgalanmalı</b>	<b>Yüksek Dalg.</b>	<b>Basamaklı</b>
<b>Eklemlenme Yüzeyinin Küçük Değerdeki Pürüzsüzlüğü</b>	<b>Çok pürüzlü</b>	2	3	<u>4</u>	6	<u>6</u>
	<b>Pürüzlü</b>	1,5	2	<u>3</u>	4,5	<u>6</u>
	<b>Pürüzsüz</b>	1	1,5	<u>2</u>	3	<u>4</u>
	<b>Cilalanmış</b>	0,5	1	<u>1,5</u>	2	<u>3</u>
	İçi dolmuş eklem için oran JR= 1 , Düzensiz eklem için oran JR= 5 dir.					

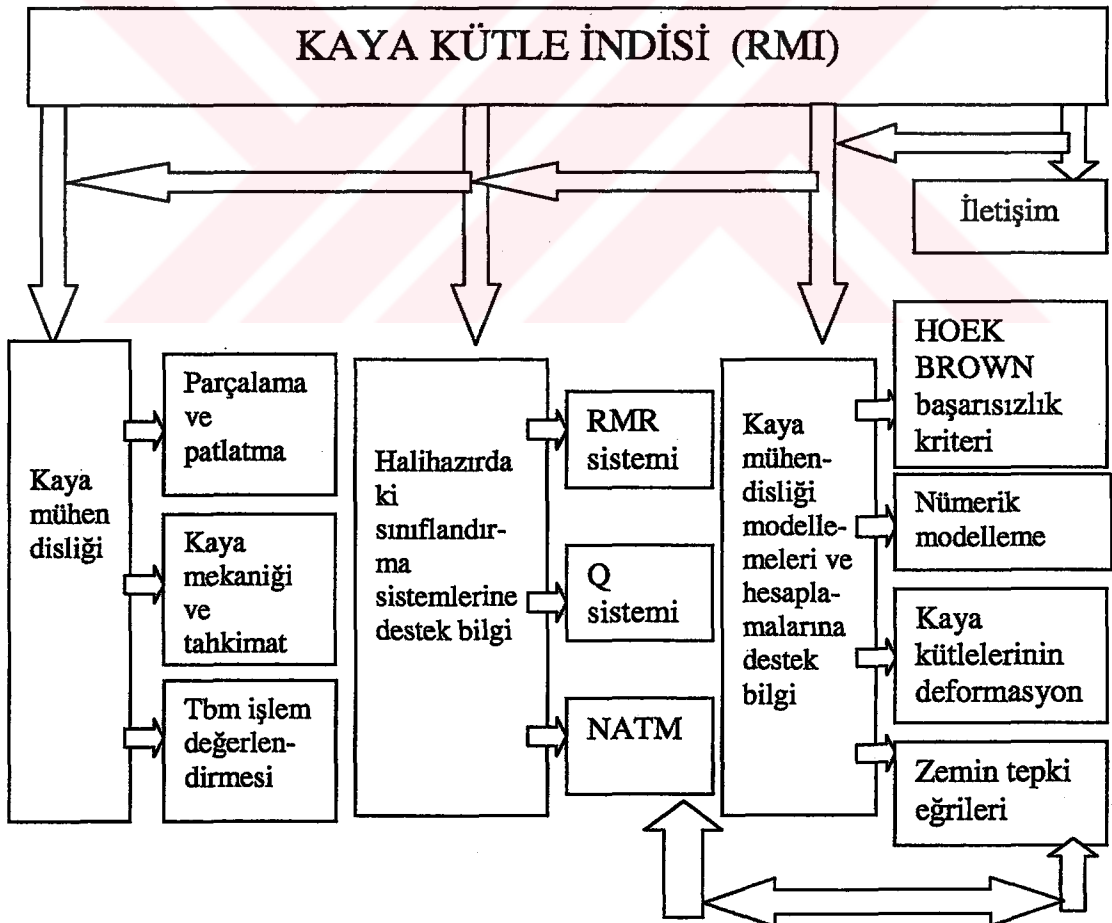
Tablo 1.10 'in (Devamı)

<b>EKLEMLENME ALTERASYON FAKTÖRÜ (JA)</b>						
<b>EKLEM DUVARLARI TEMAS HALİNDE İSE</b>	<b>Eklem duvarı karakteri</b>		<b>Koşullar</b>		<b>Duvar temas</b>	
	<b>Temiz Eklem ...</b>	Kaynamış veya ıslah olmuş yüzey	Quartz dolgusu			0,75
		Temiz yüzey	Kırıntı dışında kaplama veya dolgu yok			1
		Altere olmuş yüzey	Kayaç tan 1 derece fazla altere olmuş duvar.			2
			Kayaç tan 2 derece fazla altere olmuş duvar			4
	<b>Kaplanmış yada kısmen dolmuş eklem</b>	Sürtünme metaryelleri	Kilsiz , kum , silis, kalsit v.b.			3
		Bağlayıcı materyaller	Kil , klorit , talk , v.b			4
	<b>EKLEM DUVARLARI KISMEN TEMAS HALİNDEYSE VEYA TEMAS YOKSA...</b>	<b>Dolgu malzemesi</b>	<b>Tipi</b>	<b>Kısmi temas</b>	<b>Temas yok</b>	
		<b>Sürtünme metaryelleri</b>	Kum , silis , kalsit v.b.	4	8	
		<b>Sert bağlayıcı metaryeller</b>	Kompak kil dolgusu , klorit, talk v.b.	6	6-10	
<b>Yumuşak bağlayıcı metaryeller</b>		Orta ve düşük yapışmış kil,klorit,talk v.b.	8	12		
<b>Sıvı yapıştırıcı metaryeller</b>		Sıvı yapıştırıcı malzeme içeren dolgu metaryelleri	8-12	13-20		

Tablo 1.10' in (Devamı)

EKLEM BOYUT FAKTÖRÜ (JL)				
Tip	Uzunluk	Boyut	Sürekli eklemler	Süreksiz eklemler
Birleşme ve foliasyon parç.	< 0.5 m	Çok kısa	3	6
Eklemler	0.5-1 m	Kısa ve küçük	2	4
	1-10 m	Orta	1	2
	10-30 m	Uzun ve büyük	0.75	1.5
Dolgu maddeli eklem	> 30 m	Çok , uzun veya büyük	0.5	1

Tablo 1.11 RMI' nin Genel Akım Şeması (Palmström,1995)



### 1.2.1.2 RMI 'nin Kullanım Alanları

RMI' nin geliştirilmesi esnasında temel amaç, kaya mühendisliğinde uygulanabilen, kaya kütlelerini karakterize eden bir sistem işletmektedir. RMI malzemeye bağlı olduğundan, bir kaya kütlelerinin sadece asıl özelliklerini gösterir.

Yani, dışsal yükleri veya kaya üzerinde hareket eden kuvvetleri ifade etmez. Bunlar şöyledir:

- Anlık kaya gerilimleri
- Yer suyunun varlığı
- Yüklerin veya gerilimlerin,
- Yapı elemanlarının dağılımı (eklemler, anizotropi , ...v.b)
- Permabilite veya yüzey suyu hareketleri,
- İnsan faaliyetinden gelen etkiler

Yapılaşma ve madencilik için pratikteki kaya mekaniklerinde ve mühendisliğinde RMI' nin uygulanması için bu özelliklerin bir ya da daha fazlasına yer verilmelidir.

Kaya kütleleri ve kayaların ilgili olduğu temel aktiviteler Tablo 1.12' de gösterilmiştir, bunun yanında tablo RMI' nin ilgili olduğu alanları da içermektedir.

RMI bir dayanım indisi olarak kaya mühendisliğinde , mühendislik dizaynında ve diğer kayaç yapıları ile bağlantılı çalışmalarda kullanım için uygundur.

RMI' nin değeri varolan sınıflandırma sistemlerinin çoğunda, hepsinin kendi sistemi olduğu için direkt olarak kullanılmaz. Sistemin bazı giriş parametreleri bazen diğer sınıflandırmalardakilere benzerlik gösterir ve duruma göre çok veya az direkt uygulanabilir. ( Palmström, 1995, chap.4-18 )

Tablo 1.12 Kayaçlarda Ve Kaya Kütlelerinde Kullanılan İçsel Parametrelere ve Önemine Kısa Bir Bakış (Palmström ,1995)

FAYDA	AKTİVİTE	PARAMETRELER VE ÖNEMİ		
		Kayaç Dayanımı	Eklemlenme	Tekillik
Kayaların ve kayaç kütlelerinin iyileştirilmesi	. delme (küçük delikler)	x	-(x)	-
	+ tünel açımı (TBM ile tünel açımı)	x	x	(x)
	= patlatma	x	(x)	(x)
	= ufalama	(x)	x	(x)
	. parçalama	x	-	-
	. kazıma	x	-	-
	= kesme	x	x	(x)
Kaya materyallerinin uygulaması	. beton için kaya agregası	x	(x)	-
	. kaya dolgu	x	x	-
	. doğal taş/yapı taşı	x	x	(x)
Kaya kütlelerinin yararları	+ yeraltı kazıları	(x)/x	x	x
	+ yüzey kesimleri ve eğimi	(x)	x	x
	= baraj inşaatları	(x)	x	x
Lejant:	+ Karakterize edilmeye uygun	x yüksek etki		
	= Kısmen karakterize edilmeye uygun	(x) sınırlı etki		
	. Uygun değil	- etki yok		

“Hoek –Brown yenilme ölçütü geliştirmek için daha fazla işe ihtiyaç olduğu belirtilir. Çünkü temel desteklerinin tasarımı için geliştirilen sınıflandırma sistemlerinin (kaya kütlelerinin dayanımı tahminlerinde kullanılırken ) sınırlamaları vardır. Bu amaç için belirli bir sistemin geliştirilmesinin gerekli olabileceğini önerilir.” (Hoek, Brown, 1988)

### 1.2.2 RMI' yi Meydana Getiren Etmenlerin İncelenmesi

İnşaat ve madencilik yapılarında kullanılan beton, çoğu metaller ve ağaç gibi yapı malzemeleri, dayanım özellikleriyle nitelendirilir ya da sınıflandırılır. Bu malzemelerin temel kalite bilgisi farklı yapı amaçları için mühendislikte ve tasarımda kullanılır. Kaya mühendisliğinde, kaya kütlelerinde böyle belirli bir dayanıklılık nitelendirmesi uygulanmaz. Çoğu değişik kaya mühendisliği tanımları, tasnifleri ve ölçülmemiş tecrübeleri kullanarak yapılır. Kaya ve kaya kütlelerinin farklı kullanımlarının farklı amaçları olmasına ve değişik probleme maruz kalmasına rağmen, kaya kütlelerinin uygunluğu ve kalitesi onun dayanım özelliklerine bağlıdır.

Kaya kütle indeksi, (RMI), bir kaya kütlelerini temsil ettiği yapısal malzemenin genel dayanım özelliği olarak geliştirilmiştir. Bu yüzden sadece kaya kütlelerindeki temel özellikleri veya parametreleri içerir. Çevreyle ilgili faktörleri sınıflandırmadan çıkarmak gerekli olup, buna rağmen, gerilme uygulamaları, gözenek suyu ve diğer etkilerinde verilen herhangi bir durumda kaya davranışı üzerinde kesin bir etkisi vardır.

Yazarların kendi tecrübe ve basılmış makalelerine dayanan bu yazıda aşağıdaki düşünceler, RMI' nin gelişiminde ve girdi bilgilerinde önem kazanmıştır.

- Basit ifadelerle varmak için az girdi bilgilerine yer verilmelidir.
- Mümkün olduğunda, jeo-bilgi ediniminde varolan yöntemler uygulanmalıdır.
- Girdi değerlerini bulmak için basit ve pratik yöntemler tercih edilmelidir.
- Sayısal değerlere çevrilebilsin diye düzgün tanımlar için anahtar geliştirilmelidir.
- Değişik ölçümlerden gelen girdi bilgilerinin kullanılabilmesi için korelasyon geliştirilmelidir.( Palmström, 1995, chap.4-1 )



### 1.2.2.1 Kaya Kütlesi İndeksinin Yapısı ve RMI' ye İlişkilendirilmesi

Kaya kütlesi diğer çoğu yapı malzemelerinden bileşim, yapı ve değişkenlik bakımından çok daha karmaşık bir malzemedir. Kayanın asıl dayanıklılığını azaltmaya neden olabilen kayadaki kusurlar onun davranışlarının ana özelliklerini oluşturur. Bu gerçek Kaya Kütle İndeksinin (RMI) temel prensibidir.

Bir kaya kütlesi üzerinde hareket eden, tetiklenmiş gerilimler veya su basıncı gibi dış kuvvetlerin tünel destek tasarımındaki bazı sınıflama sistemlerinde haklı olarak dahil edilmesine rağmen kaya kütlelerinin dayanıklılık özellikleri bu vasıfların fonksiyonu değildir. Bir bilim adamı hem genel hem tanı sınıflandırması için temel vasıf olarak, süreksizliklerin özelliğiyle ilgili parametrelerin kullanılmasını önermiştir. (Palmström, 1995, chap.4-2 )

Buna rağmen, asıl girdi olarak ekleme kullanımı kaya kütlelerinin davranışının üzerindeki kaya malzemesinin önemini yok etmez. Örneğin; eğer eklemler geniş bir şekilde yer kaplamışsa veya kaya malzemesi zayıfsa, sağlam kayanın özellikleri güçlü bir şekilde kaya kütlelerinin bütün davranışını etkiler. Eklemler süreklirse, kaya malzemesi yine de önemlidir. Kaya kütlesi davranışıyla ilgili bu görüş diğer bir bilim adamı tarafından şöyle özetlenmiştir.

- Daha iyi kaliteli olan kaya kütleleri, kaya kütle yapısının geometrisiyle, özellikle blok boyutu ve blok şekli ile saptanır,
- Az kaliteli kaya kütleleri, iç blokun kesme dayanımı ve şekilsel değişme özellikleriyle saptanır,
- Çok düşük kaliteli kaya kütleleri temel olarak bozulmamış malzemenin düşük dayanımına bağlıdır.

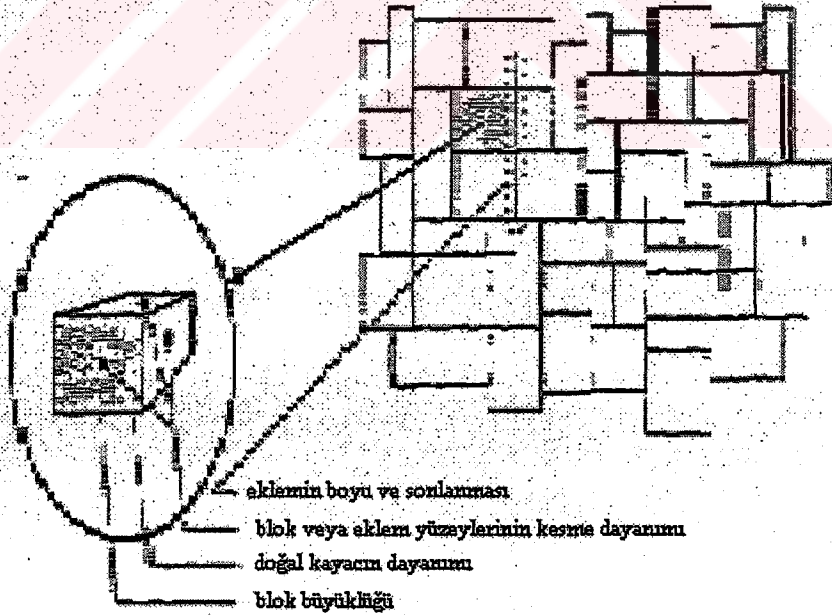
“ Eklemlili kaya kütlelerinde, dayanım özellikleri blok şekli ve hacmi tarafından kontrol edilmekte ve yüzey özellikleri de kesişen süreksizliklerden ortaya çıkmaktadır. ” (Hoek, Wood ve Shah, 1992)

Hoek ve diğeri, bu parametrelerin, kaya kütlesinin ortalama durumunu göstermek için seçilmelerini tavsiye etmişlerdir. Bu düşünceler, kaya kütlesinin genel dayanım özelliğiyle ilgili girdi parametrelerinin seçiminde kullanılmışlardır:

- Eklemlerle şekli çizilmiş blokların boyutu – blok hacmi olarak ölçülür.
- Blok malzemesinin dayanımı – tek eksenli basınç dayanımı olarak ölçülür.
- Blok yüzlerinin kesme dayanımı – sürtünme açısı olarak ölçülür.
- Eklemlerin süreklilik boyutu – uzunluk ve süreklilik olarak ölçülür.

“Faylar, dayklar ve kesme bölgeleri gibi bazı özellikler ayrı olarak düşünülmalıdır.” ( Bieniawski, 1984, 1989 )

Bir başka fakat önemli kaya kütlesi parametresi olan blok şekli, RMI' e doğrudan dahil edilmemiştir. Bunun için temel neden, RMI' in basit yapısını koruma amacı içindir. Üç boyutlu eklem örneğinin geometrik çizimli olan blok şekli, dolaylı olarak blok hacmine dahil edilmiştir, çünkü blok hacmi şekliyle beraber değişir.



Şekil 1.26 Ele Alınan Bloкта Eklem Sisteminde ki Birimlerin İfadesi  
( Palmström,1995)

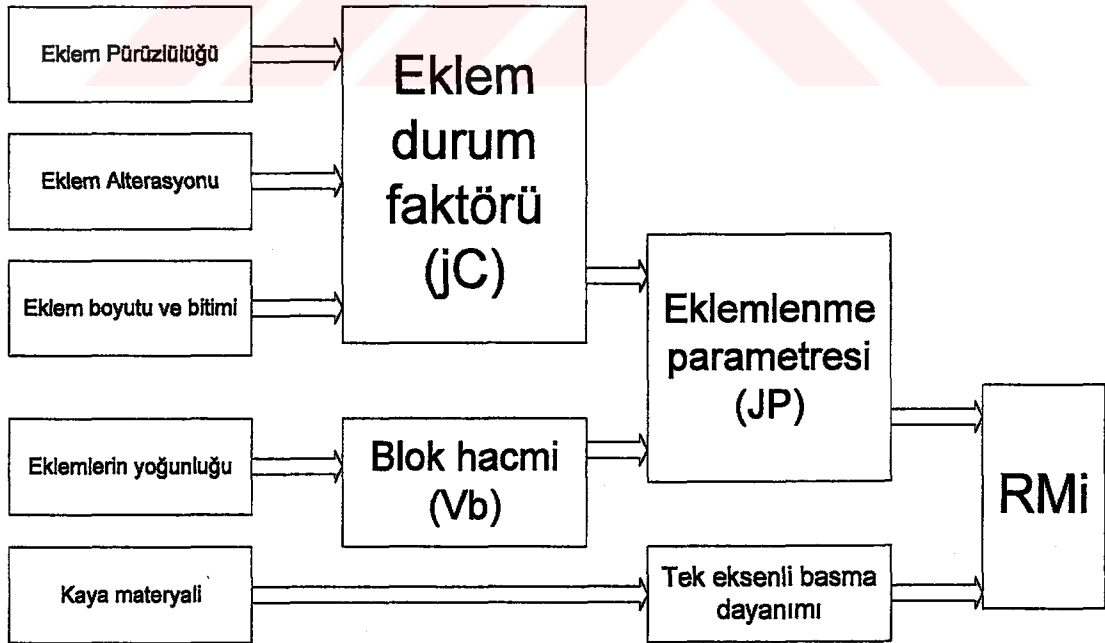
Kaya kütlesi gibi kompleks bir malzemenin özelliklerini nitelendirmek için sadece sayısal nedenler yeterli değildir. Bu yüzden sayısal değerlerle beraber destekleyici tasvirlerde yapılmalıdır.

RMI' in geliştirilmesindeki genel prensipte, sağlam bir kayanın dayanımının azalmasında, kaya kütlelerinin kusurlarının etkili olacağı üzerinde odaklanılmaktadır. Bu yüzden RMI ;

$RMI = \sigma_c \times JP$  olarak tanımlanır.

Burada  $\sigma_c =$  sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı

JP = Ekleme parametresi (Şekil 1.27). Eklemlerin boyutu ve sürtünme özellikleri ile gösterilen yüzeylerin durumunu ve blok boyutunu temsil eden katsayının indirgenmişidir (Şekil 1.26). JP' nin değeri kırıklı kayalar için 0 dan sağlam kayalar için 1'e kadar değişir. JP' nin değeri, blok boyutuyla eklem şartlarının birleştirilmesiyle bulunur.



Şekil 1.27 Kaya kütlelerinin madde özelliklerini gösteren RMI prensibi  
(Palmström,1995)

Anlaşılabacağı üzere, kaya kütle indeksi boyutsuz değildir ki,  $\sigma_c$  nin birimi vardır. RMI' in özel girdi bileşenleri, kayaç dayanımı ve eklem özellikleri, kaya kütlelerinin dayanımını çıkarmak için hesaplanır ve birleştirilir. RMI' in gerçeğe mümkün olduğu kadar yakın bir tanımlamasını geliştirmek için, kaya kütleleri dayanımlarının büyük ölçekte saha ölçümlerinden gelen sonuçları kullanılmıştır.

Sağlam kayanın basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) ve eklem parametresi (JP), RMI' in iki temel faktörünü oluşturmaktadır.

Sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı doğrudan kullanılır.  $\sigma_c$  değeri laboratuvar testlerinden hesaplanmaktadır.

Eklem parametresi (JP), boyut olarak ölçülen blok hacmiyle (Vb) eklem durum faktörünün birleşimidir (Şekil 1.27).

Blok boyutu (Vb) eklemlenme derecesinin veya eklem yoğunluğunun (miktar) bir ölçüsüdür. Üç boyutlu bir ölçme olduğu için aynı zamanda kaya kütlelerinin bütün geometrisinin bir ifadesidir. Blok boyutları, saha ölçümlerinden saptanabilir.

Eklem durum faktörü (jC), bloklar arası sürtünme özelliklerini temsil eder. Barton et al (1974) Q sisteminde, eklemlerin kesme dayanımının ve hacimsel genişlemenin önemini göstermek için pürüzlülüğü (jR) ve alterasyonu (jA) kullanmışlardır. İki parametrenin oranı (jR /jA), Q sisteminde verilen oranlarla, bu faktörlerin normal farklarıyla eklem gerçeği dayanım özelliklerine göre, uygun bir ortalama gösterir. Bu yüzden RMI' deki eklem durum faktörü için, bu parametrelerin aynı değer ve bileşenlerini kullanmak daha mantıklıdır.

Eklem boyut faktörü ( jL ), eklemler için bir boyut düzeltme faktörü olarak seçilmiştir. Bunun nedeni, büyük eklemlerin küçük eklemlerden bir kaya kütlelerinin davranışı üzerinde daha güçlü bir etkisinin olduğu gerçeğidir. Bundan başka eklem sürekliliği veya bitimi dahil edilmiştir. Faktörün bu bölümü, masif kayada biten

eklemler arasında bölünmüştür. Sağlam kayanın içinden geçerken yenilme düzlemi kısmen geçtiği için süreksiz eklem etkisi daha azdır. ( Palmström, 1995, chap.4-3 )

Eklem durum faktörünü içeren faktörler aşağıdaki yöntemle birleştirilmiştir.

“  $jC = jL \times jR/jA$  ” (Palmström, 1995)

Burada:  $jR$  = Eklem duvar yüzeyinin eklem pürüzlülük faktörüdür.

$JA$  = Eklem alterasyon faktörü, eklem duvarının karakterini temsil eder.

$jL$  = Eklem boyutu ve süreklilik faktörü (Palmström, 1995, chap.4-4 )

### 1.2.2.2 Bilinen Kaya Kütlesinin Gerilim Verisinden RMI 'nin İlişkilendirilmesi

Kaya kütle indeksi, bir kaya kütlesinin basınç dayanımını ifade etmek anlamına geldiğinden  $RMI = \sigma_{cm} = \sigma_c \times jP$  olarak ifade edilebilir.

Sağlam kaya' nın tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) uygun bir doğrulukla tanımlanabilir ve saptanabilir. Buna rağmen eklem parametresi ( $jP$ ) aşağıdaki özelliklerden oluşmuş birleşik bir parametredir.

- hesaplamalardan bulunabilecek blok hacmi ( $V_b$ ) ve
- üç bağımsız eklem parametresinin (pürüzlülük, alterasyon ve boyut) sonucu olan eklem durum faktörüdür ( $jC$ ).

$jP$ ' nin ifade edilmesinde,  $V_b$  ile  $jC$  nin nasıl birleşebileceğini saptamak için, testlerden ve geri analizlerden gelen sonuçlar kullanılmıştır. Bu düzeltme aşağıdaki yöntemle gerçekleştirilmiştir.

1-) Testlerin ve geri analizlerin bilinen sonuçlarından,

- Kaya kütlesinin tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{cm}$ )
- Sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) ile tanımlama olarak eklem parametresi değeri

$$jP = RMI / \sigma_c = \sigma_{cm} / \sigma_c \text{ olur.}$$

2-) Gerçek kaya kütlesi örneği üzerinde, eklem durum faktörü ve blok boyutu gibi sayısal özellikleri bulmak için, blok özellikleri belirlenmiş ve eklem analizi yapılmıştır.

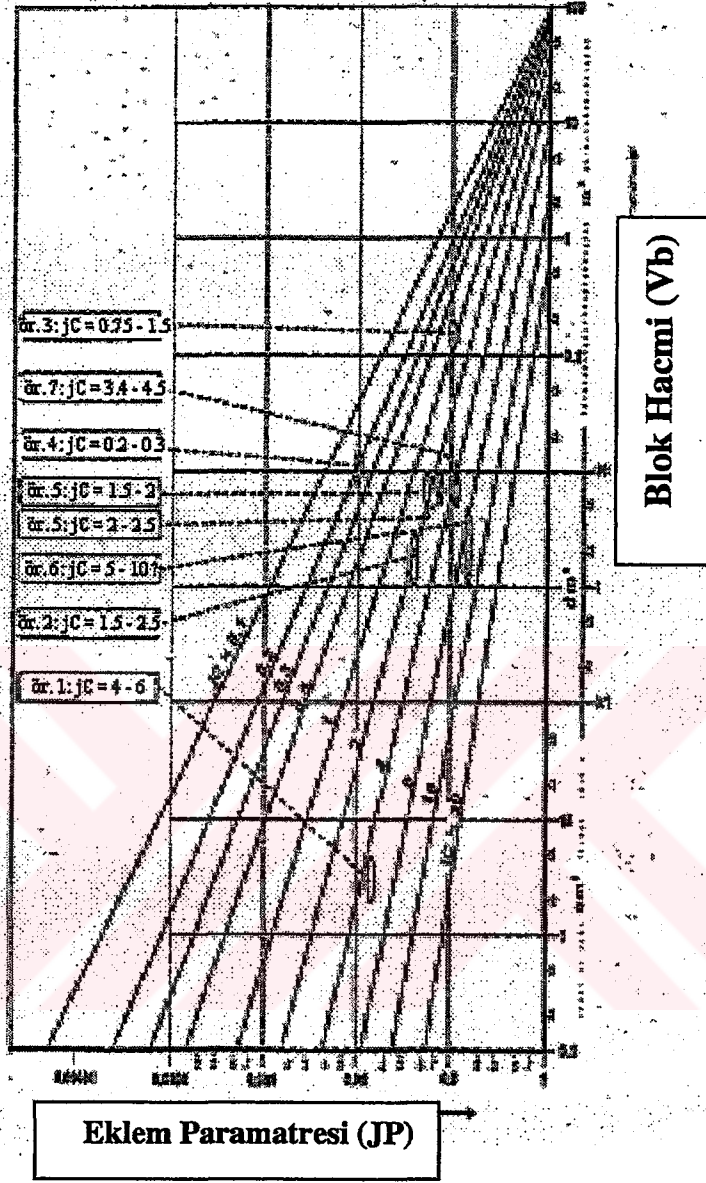
3-) Logaritmik ölçekler, hem eklem parametresi için x eksenini boyunca hem de blok hacmi için y eksenini boyunca kullanılmıştır. Blok boyutunun üstel bir dağılımı vardır ve jC' yi gösteren çizgilerin düz olmaları beklenir.

4-) Blok hacmi ve eklem parametresi değerlerinden, eklem durum faktörünün (jC) durumu, veri kümelerinin her biri için bulunur. Şekil 1.28' te bu verilere en uygun olan jC' yi gösteren çizgiler çizilmiştir. (Palmström, 1995, chap.4-5 )

Tablo 1.13 Bazı Kaya Kütleleri Üzerinde Yapılan Büyük Ölçekli Testlerin Sonuçları (Palmström,1995)

Numune No	Lokasyon	Kaya Tipi	$\sigma_c$	jC	Vb	jP
1	Panguna	Andezit	265	4-6	2-6 cm <sup>3</sup>	0,01 4
2	Stripa	Granitik Kayaç	200	1,5-2,5	5-10 dm <sup>3</sup>	0,04
3	Laisvall mine	Kumtaşı	210	0,75-1	0,1-0,3 m <sup>3</sup>	0,09 5
4	Langsele mine	Gri Şist, Yeşil taş	110-1600	2-0,3	8-20 dm <sup>3</sup>	0,01
5a	Thüringer wald	Killi Şist	55	1,5-2	5-10 dm <sup>3</sup>	0,05 5*
5b	Thüringer wald	Killi Şist	100	2-2,5	5-10 dm <sup>3</sup>	0,08 **
6	Hessen	Kumtaşı/Kiltaşı	10,5/4,8	5-10	1-5 dm <sup>3</sup>	0,17
7	Hagen	Silttaşı	65	3,5-4,5	5-10 dm <sup>3</sup>	0,10

\* : Şistoziteye paralel \*\* : Şistoziteye dik

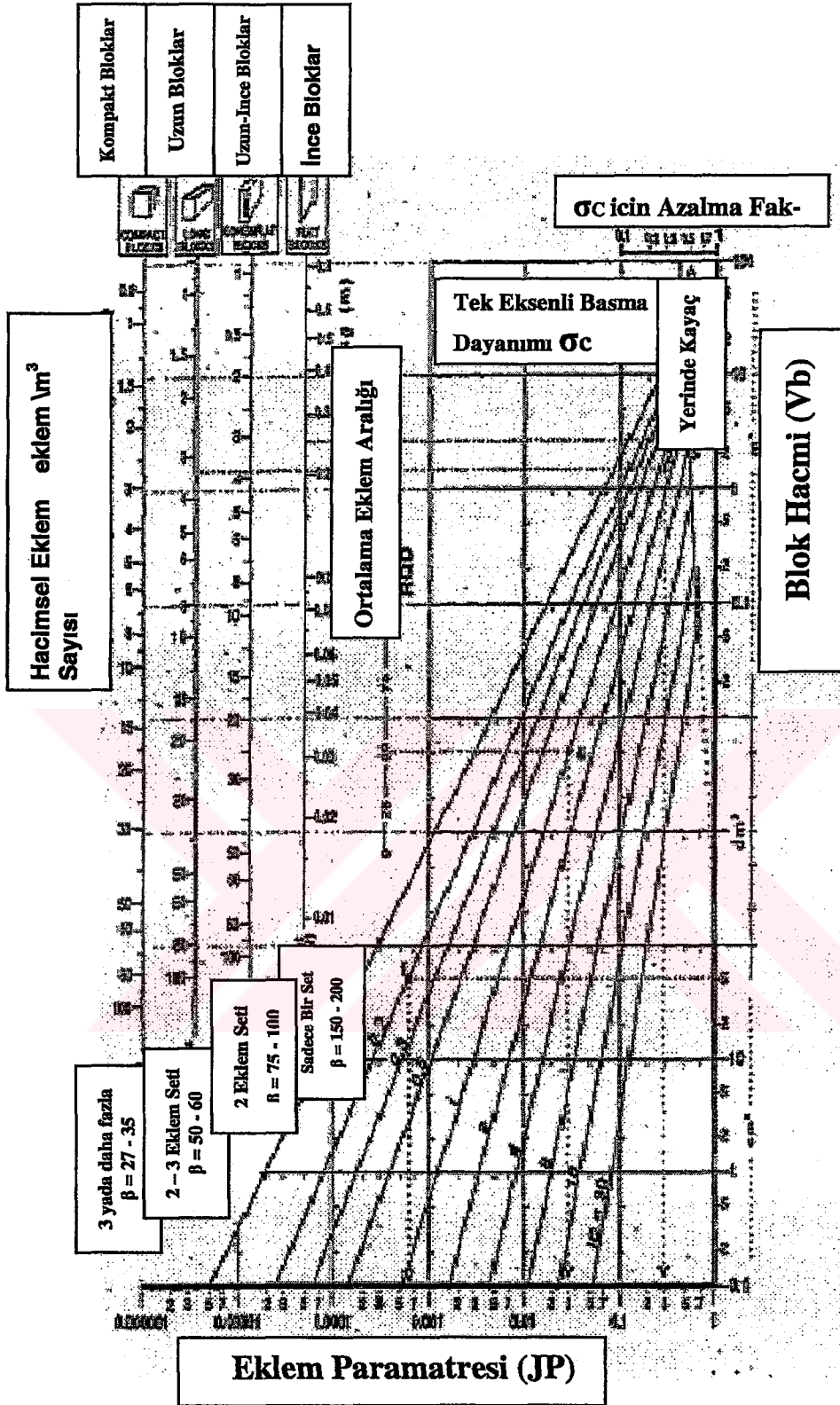


Şekil 1.28 Blok Hacmi ,Eklem Durumu ve Eklemlenme Parametresi Arasındaki Bağını (Palmström,1995)

Şekil 1.29' de gösterilen örnekler

- 1)  $V_b = 0.00005 \text{ m}^3$  ( $50 \text{ cm}^3$ ) için  $jC = 0.2$  ve  $JP = 0.0006$
- 2) İki eklem takımı için  $jC = 1,5$  ve hacimsel eklem sayısı  $J_v = 3.3$ ,  
 $JP = 0.3$
- 3) Boşluklu bir eklem takımı için  $S = 0.25 \text{ m}$  ve  $jC = 8$ ,  $JP = 0,5$  (masif kayada basınç dayanımının ölçüm etkisiyle saptanır)
- 4)  $RQD = 50$  için  $jC = 1$ ,  $JP = 0.03$





Şekil 1.29 Eklem Durum Faktörü ve Çeşitli Eklemlenme Yoğunluk Ölçümlerinden Eklemlenme Parametresi Değerinin Bulunması İçin Kullanılan Diyagram (Palmström, 1995)

Eklemlenme parametresi, Şekil 1.28' te  $jC$  yi gösteren çizgilerden çıkarılan aşağıdaki ifadelerden de bulunabilir.

$$JP = 0.2 \sqrt{jC} \cdot Vb^D$$

$Vb$  = blok hacmi  $m^3$  olarak verilmiştir ve

$$D = 0.37 jC^{-0.2}$$

$jC$	0,1	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	6
D	0,586	0,488	0,425	0,392	0,37	0,341	0,322	0,308	0,297	0,28	0,259

$jC$  değerlerine bağlı D değerleri değişimi yukarıda gösterilmiştir.

Şekil 1.29, blok hacminden başka hesaplamalarında doğrudan uygulanabildiği yerdeki aynı diyagramı gösterir. Bunlar şeklin sol üst tarafına yerleştirilmiştir. Burada, değişik blok şekilleri için hacimsel eklem sayısı ( $Jv$ ) blok hacmi yerine kullanılabilir.

RMI, kaya kütlesi adında bir yapısal malzemenin madde özelliğidir, çünkü sadece onun esas özelliklerini içerir. Genel bir şekle sahip olduğu için, RMI bir kalite özelliği değildir. O sadece sınırları içinde bir kaya kütlesinin indeks dayanımıdır. Bu sınıflandırma Tablo 1.14' de RMI için önerilmiştir.

Tablo 1.14 RMI' in Sınıflandırılması (Palmström,1995)

KARAKTERİZASYON		RMI değeri (MPa)
RMI için Terim	Kaya kütle dayanımıyla ilgili terim	
Aşırı düşük	Aşırı zayıf	< 0,001
Çok düşük	Çok zayıf	0,001 – 0,01
Düşük	Zayıf	0,01 – 0,1
Kısmen Yüksek	Kısmen dayanıklı	0,1 – 1
Yüksek	Dayanıklı	1 – 10
Çok Yüksek	Çok dayanıklı	10 – 100
Aşırı Yüksek	Aşırı dayanıklı	> 100

En yaygın eklem durumları için  $jC = 1-2$  olduğu yer eklemleme parametresi  $JP = 0,2 \cdot Vb^{0,37}$  ile  $jp = 0,28 Vb^{0,32}$  arasında değişecektir.  $jC = 1,75$  için eklemleme parametresi basit olarak ifade edilir.

$$“ JP = 0,25 \cdot \sqrt[3]{Vb} ” \text{ (Palmström,1995)}$$

$jC = 1$  için

$$“ JP = 0,2 Vb^{0,37} ” \text{ (Palmström,1995)}$$

Burada kayanın blok hacminden ve tek eksenli basınç dayanımından RMI' in tahminleri hızlı bir şekilde yapılabilir.

Eklem boyut faktörü ( $jC$ ) aynı zamanda ölçek değişkenidir. Bununla beraber, masif kaya kütlelerinde, tek eksenli basınç dayanımı için eklemleme parametresi  $JP \approx 1$  ölçek etkisi hesaplanmalıdır. Birkaç önemli bilim adamı tarafından elde edilen verilere göre, büyük çaplı saha örnekleri için, gerçek basınç dayanımının,

$$“ \sigma_c f = \sigma_{c50} (50 / d)^{0,2} = \sigma_{c50} (0,05 / Db)^{0,2} = \sigma_{c50} \cdot f_\sigma ” \text{ (Palmström,1995)}$$

formülünden çıkarılabileceğini önermektedirler. Burada  $\sigma_{c50} = 50$  mm.lik numune boyutu için tek eksenli basınç dayanımı ve

$f_\sigma = (0,05 / Db)^{0,2}$  basınç dayanımı için ölçek faktörüdür.

Aşağıdaki eşitlik bir kaç metreye kadar olan numune çapı için geçerlidir ve bu nedenle Şekil 1.29 'de gösterildiği gibi masif kaya kütleleri için uygulanabilir.

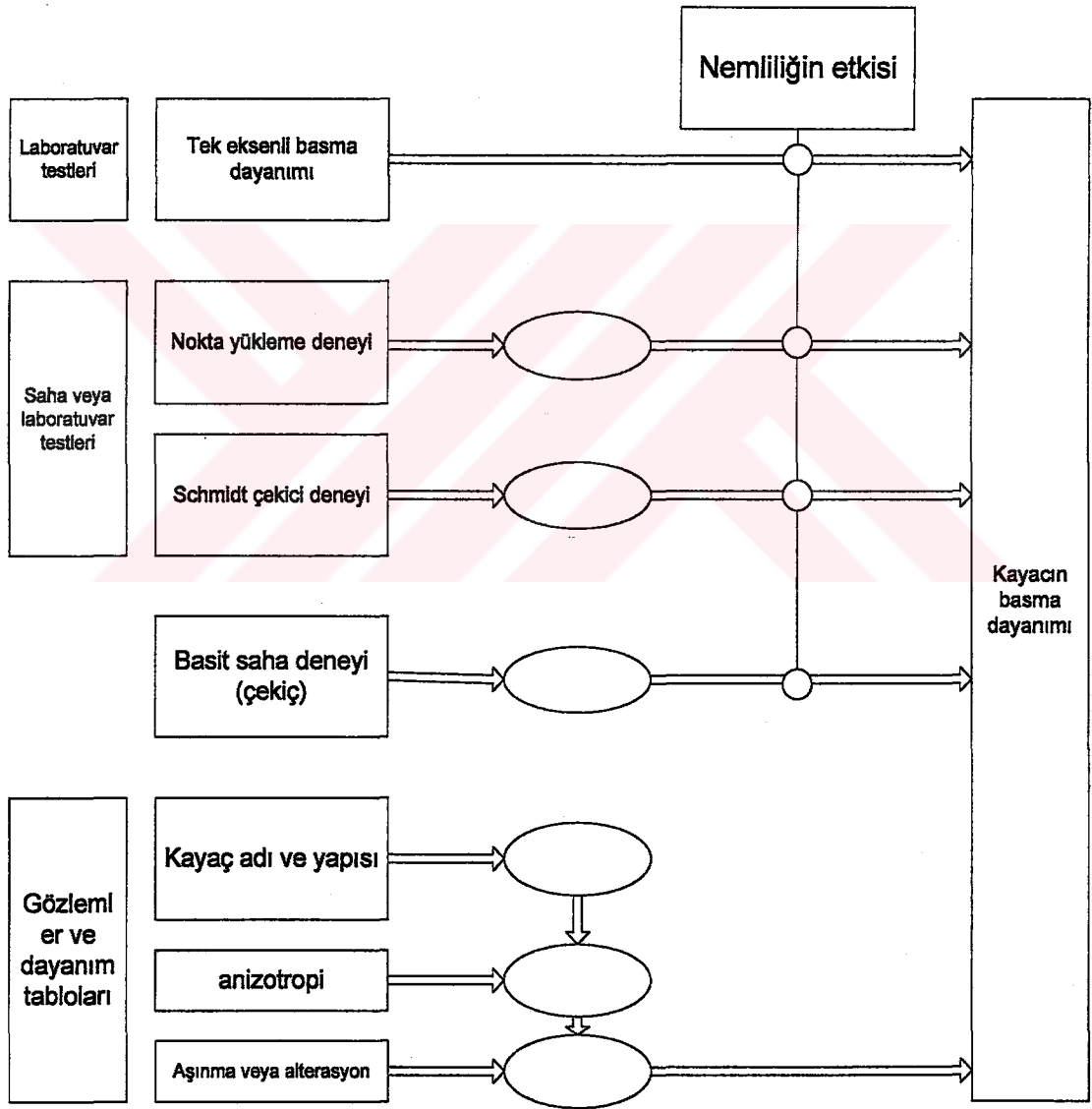
Blok çapı (Db);

$$“ Db = \frac{\beta_o}{\beta} \sqrt[3]{V_b} = \frac{27}{\beta} \sqrt[3]{V_b} ” \text{ (Palmström,1995)}$$

Yukarıdaki formülden bulunabilir veya yaklaşık olarak  $Db = \sqrt[3]{V_b}$  'den yada ana eklem takımı için aralık uygulanarak yapılabilir. (Palmström, 1995, chap.4-7 )

### 1.2.2.3 RMI ' deki Girdi Parametrelerinin İfade Edilmesi

Şekil 1.27' de, RMI' de kullanılan değişik parametreler gösterilmiştir. Kaya kazılarındaki hacimler ve girdi parametrelerinin boyutu genellikle o kadar büyüktür ki sayısal değerleri temel olarak saha araştırmalarından saptanır. Sağlam kayanın basınç dayanımı bir istisnadır. İyi bir sonuç için iyi tanımlanmış pratik ve kullanılabilir tanımlamalar önemlidir. Bu bölümde bu parametrelerin oranlamalarının nasıl yapıldığı gösterilmektedir.



Şekil 1.30 Tek Eksenli Basma Dayanımına Ulaşmak İçin Kullanılan Çeşitli Yollar (Palmström,1995)

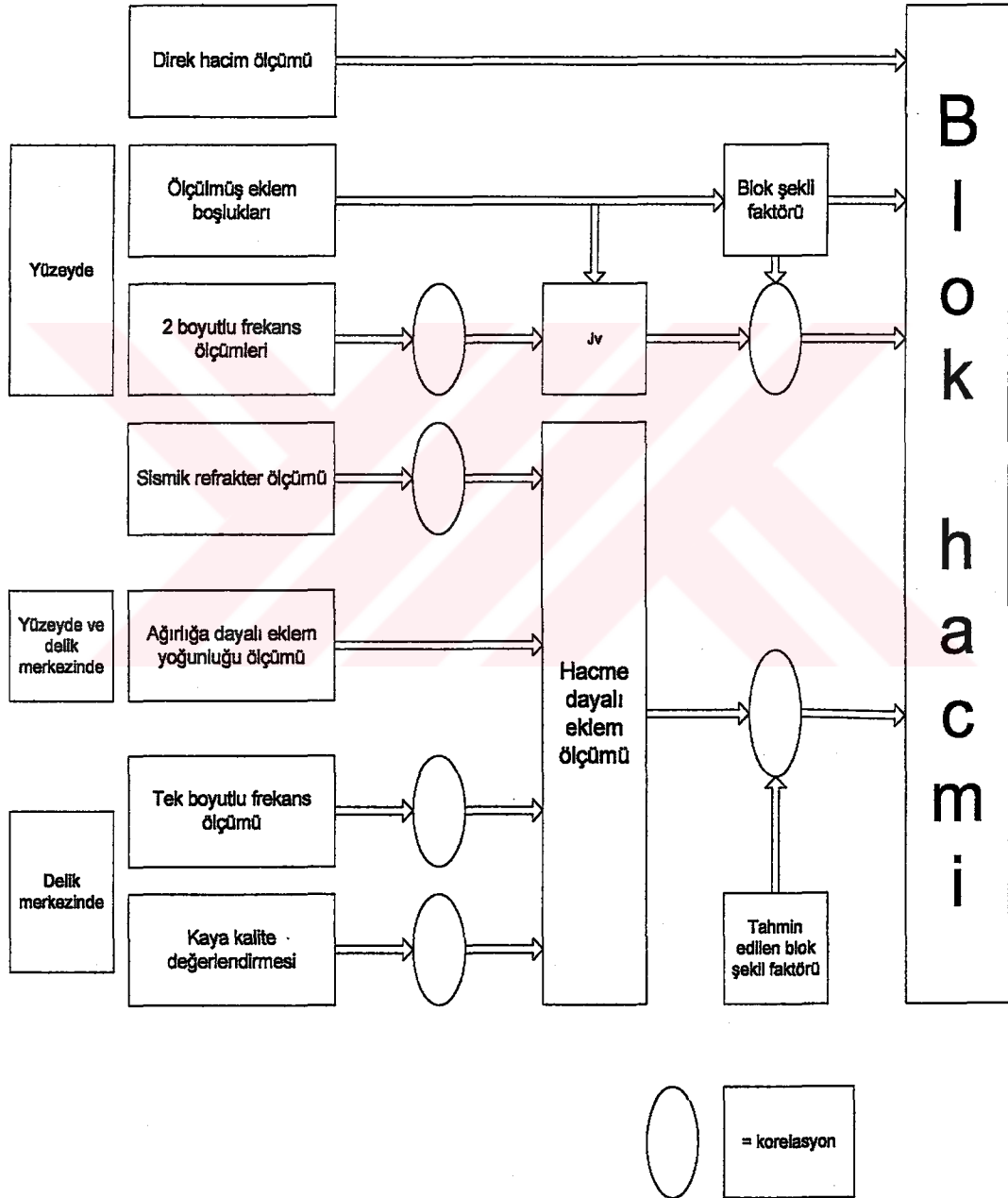
*1.2.2.3.1 Sağlam Kayanın Basınç Dayanımı.* Bir çok yazar, bir kaya kütlelerinin basınç dayanımının önemini, bir sınıflandırma parametresi olarak vurgulamıştır.

Bir kayanın tek eksenli basınç dayanımı, laboratuarda ISRM tarafından verilen spesifikasyonlara göre saptanabilir. Bu dayanımı hesaplayan başka yöntemler Şekil 1.30'de gösterilmiştir. Bölgenin su seviyesi altında olduğu yerlerde, ıslak numuneler kullanılır. Kullanılan dayanım değerinin ıslak veya kuru şartları temsil edip etmediğini dikkat edilmelidir. Belirtilmediği sürece, normalde testlerde kuru numuneler kullanılır. Anizotropik kayalar olduğunda en düşük basınç dayanımı kullanılmalıdır. Bu genellikle şistozitenin veya tabalaşmanın  $25^{\circ}$  –  $45^{\circ}$  yönünde uygulanmalıdır. 50 mm çaplı bir numunenin tek eksenli basınç dayanımı MPa olarak doğrudan RMI' e uygulanır. (Palmström, 1995, chap.4-10 )

*1.2.2.3.2 Blok Hacmi.* Süreksizlikler kaya kütlelerini farklı yönler de keserler ve basitçe blok denilen kütle ünitesini belirlerler. Bu yüzden blok boyutu, eklemlenme derecesine yakından bağlıdır. Blokların her biri, farklı süreksizlik çeşitleri tarafından az veya çok tamamen birbirinden ayrılır. Eğer bir kaya kütleleri hacminde bütün bloklar ölçülebilir ve elekten geçirilebilirse, taneli toprağa benzer bir blok boyut dağılımı elde edilir.

Bir bölgede, daha küçük ve daha büyük blokların boyutları arasında çoğunlukla büyük bir varyasyon aralığı bulunur, bu yüzden bir bloğun boyutunun karakterizasyonu, onların boyut aralığını gösterir. Basitleştirmeler bu ölçüm esnasında sık sık yapılmak zorundadır çünkü bütün blok ve boyutlarını ölçmek mümkün değildir. Bununla birlikte blok boyutu RMI' de en önemli parametredir ve bu ölçümde de vurgulanmalıdır. Blok hacmini tahmin etmek için mümkün yöntemler Şekil 1.31' da gösterilmiştir.

Eklemlenme parametresinin (JP) hesaplanmasında blok hacmi ( $V_b$ ) doğrudan kullanılır. Eklemlenme yoğunluğu ( $J_v$ ) ve kaya kalite göstergesi (RQD) gibi diğer eklemlenme ölçülerinden de bulunabilir. Yüzey ve sondaj karotundaki blok boyut kaydı için gelişmiş bir teknik geliştirilmiş ve kırılma sismik ölçülerinden gelen blok hacmini bulmak için kullanılan bir metotla beraber tanımlanmıştır. (Palmström, 1995, chap.4-11 )



Şekil 1.31 Blok Hacmine Ulaşmak İçin Çeşitli Metotlar (Palmström,1995)

*1.2.2.3.3 Eklem Durum Faktörü (jC).* Eklem durum faktörü, blok yüzeylerinin sürtünme özelliklerini ve eklemler tarafından yüklenen göreceli ölçüm etkisini temsil etmesi için ifade edilir.

“Kesme dayanımının saptanmasında eklemlerin yüzey özelliklerinin önemini büyüktür. Eklem yüzeylerinde pürüzlerden kaynaklanan kesme dayanımının, deformasyon esnasında üstesinden gelinmesi gerektiğidir.”(Patton,1966,s.509)

Süreksizliklerin meydana geldiği kayacın dayanımının, süreksizliklerin dayanım özellikleri üzerinde (özellikle doldurulmamış eklemlerde kayacın kayaçla doğrudan kontakt olduğu kısımlarda) doğrudan ilişkisi vardır. Pürüzsüzlük içeriği, özellikle pürüzlülük ve sertlik, kayanın minerolojik ve litolojik yapısına bağlıdır. Eğer duvarlar düzlemsel ve düz ise; mineral tabakalar belirli bir dereceye kadar süreksizliklerin kesme dayanımını etkileyecektir.

İki eş eklem duvarı arasındaki mesafeyi, bunların birbirine bağlanma derecesi kontrol eder. Bağlanmanın eksikliğinde, eklem kesme dayanımı dolgu malzemesi olur. Ayrılma arttıkça kaya cidarının pürüzleri yavaş yavaş birbirine bağlanır ve hem dolgu hem de kaya malzemesi kesme dayanımına katkıda bulunur.

Bu konudaki otorite, yıllar boyunca yaptıkları jeolojik mühendislik uygulamalarında, eklemlerin uzunluklarının kaya kütlelerinin davranışı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu tecrübe etmişlerdir.

Bir eklem etkisi veya özellikleri şu aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

1-) Eklem durumu, yani

- Temiz eklem yüzeylerinde duvar kaya malzemesinin dayanımı ya da tabakadaki minerallerin sürtünme açısı.
- Zayıflık düzleminde kaya duvarının aşınması.
- Eklem yüzeyinin küçük ölçek pürüzleri ile büyük ölçek düzlemi.



- Dolgulu eklemlerde oyuklu malzemelerin dağılımı kalınlığı ve doğası (düzsüzlük ve dalgalılık.)
- Eklem bitimi ve boyutu (devamlılığı)

## 2-) Dışsal özellikler

- Meydana gelen kesme hareketi
- Eklemde suyun varlığı veya yokluğu

Eklem durumunu gösteren aşağıdaki her bir parametre, çoğunlukla var olan metotlara dayalı, iyi tanımlanmış ve basit saha kayıtlarından gelen bir sayısal değerden verilir.

A- Eklem yüzeyinin pürüzsüzlüğünü temsil eden pürüzsüzlük faktörü (jR). Bu da şunlardan oluşur ;

- Eklem yüzeyinin pürüzsüzlüğü (js)
- Eklem duvarının düzlemi veya dalgalılığı (jw)

B- Eklem özelliklerini ifade eden alterasyon faktörü (jA)

- Duvar kayasının dayanımı veya
- Muhtemel bir dolgunun kalınlığı ve dayanımı

C- Eklem boyutunun etkisini ve bitimini gösteren boyut faktörü (jL)

Eklem durum faktörü aşağıdaki ifadede bulunur.

$$"jC = jL \times jR / jA = jL (js \times jw) / jA" \text{ .( Palmström, 1995 )}$$

Kaya kütlelerinin ortalama tahminlerinin yeterli olduğu yerde genellikle kaba ve pahalı olmayan araştırmalar yapılır. Böyle durumlarda genellikle jC ile ilgili parametrelerle sınırlı bilgi vardır. Bu faktördeki parametrelerin her birine genel oluşumlar için birim değerleri verilmiştir. Çoğunlukla jC = 1.5 – 2 değeri kullanılır, jC = 1 değeri ise güvenli bölgede kullanılabilir.

Bu, eklem durumunda bazı parametrelerin bulunmamasına rağmen RMI' in pürüzlülük özelliğinin yapılabileceğini gösterir. Elbette ki RMI' in değeri bu durumlarda daha az doğru olacaktır. Bunun faydası şudur: Eklem durumunun bilinmediği yerde RMI sadece kaya dayanımından ve blok boyutundan tahmin edilebilir. (Palmström, 1995, chap.4-12 )

**Eklem Pürüzlülük Faktörü (JR):** Pürüzlülük faktörü Q sisteminde bahsedildiği gibi Jr'ın benzeridir. Burada pürüzlülük, hem eklem yüzeyindeki küçük ölçekli pürüzsüzlükleri hem de eklem düzleminin büyük ölçekli düzlemini içerir. Pürüzlülüğü bu iki farklı özelliğe bölmek uygun görülür çünkü onları eklem araştırmasında ayrı bir şekilde karakterize etmek genellikle daha kolaydır.

Yüzey pürüzsüzlüğü, dokunmayla hissedilebilen eklem yüzeyindeki niteliğidir. Bu eklemlerin durumuna katkıda bulunan önemli bir parametredir. Eğer yüzeyler temiz ve kapalıysa ve eklem yüzeyleri boyunca kesme hareketini engellerse, eklem yüzeylerinde oluşan pürüzler bir birine bağlanır. Pürüzler genellikle milimetrelerle ölçülen dalga uzunluklarına ve genliklere sahiptir. Uygulanabilir açıklayıcı terimler Tablo 1.15' te verilmiştir.

Tablo 1.15 Pürüzsüzlük Faktörünün (js) Karakterizasyonu (Bieniawski 1984 , Barton et al.1974)

Terim	Tanımlama	js Faktörü
Çok pürüzlü	Eklem yüzeyinde düşeye yakın basamaklar ve bağlanma etkili kabarmalar görülmektedir.	3
Pürüzlü	Bazı , kabarmalar ve yanal açılı basamaklar görülür.	2
Az pürüzlü	Süreksizlik yüzeylerindeki pürüzler ayırt edilebilir ve hissedilebilir.	1,5
Pürüzsüz	Yüzey pürüzsüz görülür ve dokununca da öyle hissedilir.	1
Parlak	Parlaklığın görünür kanıtı vardır ya da klorit kaplamalarda ve talkta sıklıkla görüldüğü gibi çok pürüzsüz yüzeylerdir.	0,75
Kaygan yüzey	Sürtünme sonucu meydana gelen çizilmiş parlak taş yüzeyleri	0,6-1,5

Eklem duvarının dalgalılığı, düzlemden itibaren dalgalanma gibi görünür ki şu şekilde tanımlanır,

$$U = \text{Düzlemsellikteki max genişleme (amax)} / \text{Eklem uzunluğu (L}_j\text{)}$$

Maksimum genlik veya dengeleme (amax) eklem yüzeyindeki düz kenar kullanılarak bulunabilir. Eğer mümkünse kenarın uzunluğu eklemdeki ile aynı boyutta olmalıdır. Eklem uzunluğu nadiren incelenip ölçülebildiği için (U) daki saptamalarda basitleştirmeler yapmak zorundadır. Bir bilim adamı uygulamada eklem pürüzlülüğü katsayısı (JRL) ölçüleri için 200 mm lik bir uzunluk kullanmıştır. En küçük eklemler için daha kısa uzunluklar bile uygulanabilir.

Tablo 1.16 Dalgalanma Faktörü (Jw) Karakterizasyonu (Palmström,1995)

Terim	Ondülasyon	Dalgalanma Faktörü (Jw)
Bağlanmış (geniş skala)		3
Basamaklı		2.5
Geniş ondülasyonlu	$u > 3 \%$	2
Küçük ondülasyonlu	$u = 0.3-3 \%$	1.5
Düzlemsel	$u < 0.3 \%$	1

Dalgalılık faktörünün oranları Tablo 1.16 te gösterilmiştir. İfade edilip de açıklandığı gibi, dalgalılığı saptamak için görsel incelemenin yeterli olduğu bulunur, çünkü dalgalılık ölçüleri zaman kaybettirir. Eklem pürüzlülük faktörü  $JR = j_s \times j_w$  den bulunur ya da Tablo 1.17 ten çıkarılabilir. Bu parametrelerin oranları Q sistemine dayandığı için, Q sistemindeki eklem pürüzlülük faktörü (Jr) aynı JR gibi ifade edilmiştir.

Eklem pürüzlülüğü, hem dolgu hem dolgusuz eklemler eklem duvar yüzeyinin durumunu içerir. Yeteri kadar kalınlıktaki dolguya sahip eklemlerde iki eklem duvarının temasını engellemek için dolguya herhangi bir hareket sınırlı olacaktır, daha sonra eklem pürüzlülüğü küçük ya da önemsiz olacaktır. Dolgulu eklemler durumlarında genellikle pürüzsüzlüğü ve ayrıca dalgalılığı ölçmek imkansızdır, bu yüzden pürüzsüzlük faktörü  $JR = 1$  olan tanımlanır. (Palmström, 1995, chap.4-14 )

Tablo 1.17 Eklem Pürüzlülük Faktörü (JR)' nin Değerleri (Palmström,1995)

Pürüzlülük *)	Dalgalık *)				
	Düzlemsel	Az ondülastonlu	Çok ondülastonlu	Basamaklı	Bağlanmış (Geniş skala)
Çok pürüzlü	3	4	6	7.5	9
Pürüzlü	2	3	4	5	6
Az pürüzlü	1.5	2	3	4	4.5
Pürüzsüz	1	1.5	2	2.5	3
Cilalanmış	0.75	1	1.5	2	2.5
Sürtünme yüzeyle	0.6-1.5	1-2	1.5-3	2-4	2.5-5

Düzensiz eklemler için Jr oranı 5 olarak önerilir

Tablo 1.18' daki dolgulu eklemler için Jr= 1

**Eklem Alterasyon Faktörü (JA):** Bu faktör Q sisteminde Ja' ya dayanan büyük bir bölümdür. Hem eklem duvarın dayanımını hem de kaplama ve dolgu malzemelerinin etkisini gösterir. Bir eklem yüzey dayanımı, kesme dayanımı ve deformabilite için çok önemlidir. Eklem yüzeyinin dayanımı aşağıdakilerle tespit edilir.

- Temiz eklemlerdeki yüzey durumu
- Kapalı eklemlerde yüzeydeki kaplama türü
- Aralıklı eklemlerdeki dolgunun türü, şekli ve kalınlığı

Ayrışma veya değişim olduğunda, bloktan çok eklem duvarı boyunca daha belirgin olur. Bu duvar dayanımında, kaya bloklarının içinde bulunan, daha taze kayada genellikle ölçülebilecek biraz sürtünmeye neden olur.

Tablo 1.18 da görüldüğü gibi değişim faktörü Q sisteminde Ja dan farklıdır. Ayrıca alan araştırmalarını daha kolay ve hızlı yapmak için bazı değişiklikler yapılmıştır. Eklem duvar değişiminin sağlam kaya malzemesinin aynısı olması şartıyla ja in değerleri kullanılabilir. Alan araştırmalarından saptanabilecek kaya ayrışma ve değişim farklı sınıfları Tablo 1.19 de gösterilmiştir. (Palmström, 1995, chap.4-15 )

Tablo 1.18 Eklem Alterasyon Faktörü (JA) Karakterizasyonu Ve Oranlaması  
(Palmström,1995 Q Sistemi Baz Alınmıştır.)

<b>A. İKİ KAYA DUVARI ARASINDAKİ KONTAK</b>			
<b>TERİM</b>	<b>TANIM</b>	<b>JA</b>	
-----	-----	-----	---
-----	-----	-----	---
<b>Temiz eklemeler</b>			
- İyileştirilmiş ya da kaynaklanmış eklemeler	Yumuşatma, permeabilitesi düşük dolgu (kuvars, vb.)		0.75
- Taze kaya yüzeyi	Kaplamasız veya sadece eklem yüzeyi kaplamalı.		1
- Eklem yüzeyinin alterasyonu			
1 derece daha fazla altere olmuş	Eklem yüzeyi kayaktan 1 derece daha fazla alterasyon gösterir.		2
2 derece daha fazla altere olmuş	Eklem yüzeyi kayaktan 2 derece daha fazla alterasyon gösterir.		4
<b>Kaplama ya da ince dolgu</b>			
- Kum, silt, kalsit vb.	Kilsiz sürtünme materyallerinin kaplaması.		3
- Kil, klorit, talk vb.	Yumuşatıcı ve yapışkan minerallerin kaplaması.		4
<b>B. KAYA DUVAR YÜZEYİ İLE KISMEN YA DA HİÇ KONTAKSIZ DOLGULU EKLEMLER</b>			
<b>DOLGU MALZEMESİ TİPİ</b>	<b>TANIM</b>	<b>Kısmi duvar kontağı ince dolgu (&lt; 5 mm) JA</b>	<b>Duvar kontağı yok kalın dolgu JA</b>
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	---
- Kum, silt, kalsit vb.	Kilsiz sürtünme materyallerinin dolgusu.	4	8
- kompakt kil materyalleri	Yumuşatıcı ve yapışkan malzemelerin sert dolgusu.	6	10
- Yumuşak kil materyalleri	Orta ve düşük seviyede yüksek konsülidasyonlu dolgu.	8	12
- Bağlayıcı kil materyalleri	Dolgu malzemesi temiz yapıştırma özellikleri gösterir.	8-12	12-20

Tablo 1.19 Aşınma Veya Alterasyonun Mühendislik Karakterizasyonu.

(Lama ve Vutukiri 'den , 1978)

DERECE	AŞINMA VEYA ALTERASYON TERİMİ	TANIM
I	Taze	Aşınmanın görünür bir işareti yoktur. Kayaç taze ve kristalleri parlaktır. Bir kaç süreksizlik az miktarda lekelenme gösterebilir.
II	Düşük	Açık süreksizlik yüzeylerinde içeri işleyen aşınma gelişmiştir. Yalnız kaya materyalinde sadece düşük aşınma gözlenmektedir. Süreksizlikler renk bozunmaları getirir ve bu renk bozunmaları süreksizlik yüzeyinden kayaç içine doğru birkaç mm. kadar uzayabilir.
III	Ortalama	Az miktarda renk bozunması kaya kütlelerinin büyük parçalarına kadar ilerleyebilir. Kaya materyali ufalanabilir nitelikte değildir (Zayıf matriksli sedimenter kayaçlar hariç). Süreksizlikler lekelenmiş veya altere olmuş dolgu malzemesi içermektedirler.
IV	Yüksek	Aşınma kaya kütlelerini baştan başa geçebilir ve kaya materyali kısmen ufalanabilir niteliktedir. Kayaç parlak değildir. Kuvars hariç bütün materyalin rengi bozulmuştur. Kaya jeolog çekici ile kazılabilir.
V	Tamamen	Kaya tamamen bozulmuş, iç yapısını kaybetmiştir ve sadece kayaç içeriği ve yapısını gösteren parçacıklar içeren, ufalanabilir bir durumdadır. Kayacın dış görünümü toprak gibidir.
VI	Rezidüel toprak	Ana kaya iç yapısını, minerolojisini ve dokusunu tamamen kaybetmiştir. Sadece toprak kalmıştır.

**Eklemlerin Uzunluğu ve Devamlılığı Faktörü (JL):** Bir çok yazar jeoloji mühendisliğinde yıllar boyunca, eklemlerin sürekliliğinin ve boyutunun kaya kütleleri üzerinde genellikle büyük bir etkiye sahip olduklarını tecrübe etmişlerdir. Bir çokları bunu vurgulamış ve özellikle de kaya kütlelerinin davranışı üzerinde ayrılmalar ve normal eklemler arasındaki farkı vurgulamışlardır.

Eklem uzunluğu, yüzey cephelerindeki süreksizlik izi incelenerek kabaca nitelendirilebilir. Önemli bir kaya kütle parametresidir, fakat yaklaşık terimlerden başka bir şekilde nitelendirilmesi çok zordur. Genellikle kaya cepheleri devamlı süreksizliklerin uzunluklarıyla karşılaştırıldıklarında küçüktürler, ve gerçek devamsızlıklar sadece tahmin edilebilirler. Buna rağmen, alan ölçümlerindeki zorluk ve belirsizlikler, karşılaşılan çoğu kaya cephelerinde, bir hayli fazla olacaktır. Eklem boyutu veya uzunluğu genellikle eklem ayırımı ya da kalınlığının fonksiyonudur ve bazen bu özellikten hesaplanabilir.

Eklem uzunluğunun tam olarak bulunması nadir olduğu için en önemli iş eklem aralığını tahmin etmektir. Alan incelemeleri esnasında, aralıklarla ortam ya da büyük boyutlu eklem arasında fark bulmak için sorun yoktur. Eklem sürekliliği iki temel gruba bölünür.

- Başka eklem tarafından kesilen sürekli eklem
- Masif kayada sona eren süreksiz eklem

Tablo 1.20 Eklem Boyutu Ve Süreklilik Faktörü (jL) (Palmström,1995)

EKLEM UZUNLUĞU ARALIĞI	TERİM VE TİP		jL ORANI	
			Sürekli eklem	Süreksiz eklem
< 1 m	çok kısa	yataklanma/foliasyon kısımları	3	6
0.1-1.0 m	kısa/küçük	eklem	2	4
1-10 m	orta	eklem	1	2
10-30 m	uzun/geniş	yataklanma/foliasyon kısımları	0.75	1.5
> 30 m	çok uzun/geniş	dolgulu eklem ve ya damar	0.5	1

Sürekli eklem için eklem boyut faktörü şöyle de ifade edilebilir.

$$JL = 1.5 L^{-0.3}$$

Burada L = ölçümde eklem uzunluğu

JL'nin oranları Çizelge 1.20 ( yukarıda) gösterilmiştir. (Palmström, 1995, chap.4-17 )



## BÖLÜM NO İKİ

### METOD VE UYGULAMA

#### 2.1 Projede Uygulanan Metod

Palmström' ün önceki araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan kaya sınıflama sistemleri üzerindeki incelemeleri, değişik çaptaki araştırmaları ve tecrübeleri sonucunda RMI' i (Rock Mass Indeks) yöntemini geliştirmiştir(Palmström, 1995). Diğer kaya sınıflama sistemlerinin eksikliklerinden kaynaklanan boşluğu, değişik girdi parametreleri ile gidermiş ve RMI' yi ifade etmiştir.

Palmström ayrıca RMI' yi kolayca hesaplamaya yarayan Excel programında hesap yapabilen bir bilgisayar programını da oluşturmuştur. Palmström' ün geliştirdiği bu Exel programı bu çalışmada kullanılarak değerlendirmeye aldığımız kaya yapısı hakkında gözlemler sonucu elde edilen veriler ve bu verilerin tablodaki karşılığı olan sayısal değerlerin bu bilgisayar programına girilmesi suretiyle RMI' değerleri elde edilmiştir. Pratik bir program olması nedeniyle bir çok değerlendirmenin yapılması ve ayrıca elde edilen değerlerin karşılaştırılması mümkün olabilmıştır.

Palmström' ün 1995 yılında yaptığı doktora tez çalışması genelde yeraltı açıklıklarının desteklenmesine yönelik tahkimat tasarımı yapan çok büyük boyutta ve geniş içerikli bir çalışma özelliğindedir. Bu tez çalışmasının konusu “ RMI Kayaç Kütle Sınıflama Yönteminin Mermer Ocaklarında Blok Üretim Boyutlarının Belirlenmesinde Kullanılabilirliği” olduğu için yöntemin özellikle çatlaklı kaya kütlelerinde “Blok Hacmi” hesabı bölümüne odaklanılmış ve bu bölüm ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Blok hacmi hesabında etken olan parametrelerin çeşitli aralık değerlerinde değişimi incelenmiş ve bu parametrelere bağlı blok hacmi değişimi teknik ve bilimsel açıdan yorumlanmıştır.

## 2.2 RMI Kaya Kütle Sınıflama Yönteminin Uygulanması

### 2.2.1 RMI Yönteminde Blok Boyutlarının Belirlenmesinde İzlenen Yol

#### 2.2.1.1 RMI Yöntemi Yardımıyla Yapılan Blok Hesabında Girdi Parametreleri

RMI Girdi Parametreleri:

GİRDİLER		Değerler ve Oranlar
Kayacın Tek Eksenli Basınç Dayanım Değeri (Mpa)	$\sigma_c$	
Kayaç Faktörü	$m_i$	
Eklem Pürüzsüzlük Faktörü	$J_s$	
Eklem Dalgalılık Faktörü	$J_w$	
Eklem Alterasyon Faktörü	$J_A$	
Eklem Uzunluk Faktörü	$J_l$	
Eklem Konum Faktörü	$J_t$	
Blok Hacminin Bulunması için Bu Değerlerden Yalnız Biri Girilir	Blok Hacmi ( $m^3$ )	$V_b$
	Kayaç Kalite Göstergesi	$RQD$
	Birim Hacimdeki Eklem Sayısı	$J_v$
Blok Şekil Faktörü	$\beta$	
<b>HESAPLAMALAR</b>		<b>Sonuçlar</b>
Eklem Pürüzlülük Faktörü	$J_R$	
Eklem Boyut Faktörü	$J_L$	
Blok Hacmi ( $m^3$ )	$V_b$	
Blok Çapı Eşitliği (m)	$D_b$	
Eklem Durum Faktörü	$J_C$	
Eklem Parametresi	$J_P$	
<b>KAYAÇ KÜTLE İNDEKSİ</b>	<b><math>RMI</math></b>	

Tablo 2.1 Eklem Pürüzlülük Faktörü (JR)

Pürüzlülük *)	Dalgahlık *)				
	Düzlemsel	Az ondülastonlu	Çok ondülastonlu	Basamaklı	Bağlanmış (Geniş skala)
Çok pürüzlü	3	4	6	7.5	9
Pürüzlü	2	3	4	5	6
Az pürüzlü	1.5	2	3	4	4.5
Pürüzsüz	1	1.5	2	2.5	3
Cilalanmış	0.75	1	1.5	2	2.5
Sürtünme yüzeyle	0.6-1.5	1-2	1.5-3	2-4	2.5-5

Dolgulu Eklem İçin JR=1

Düzensiz Eklem İçin JR=5

Tablo 2.2 Eklem Boyut Faktörü (JL)

EKLEM UZUNLUĞU ARALIĞI	TERİM	TİP	jL ORANI	
			Sürekli eklemler	Süreksiz eklemler
< 0.5 m	çok kısa	yataklanma/foliasyon kısımları	3	6
0.1-1.0 m	kısa/küçük	eklem	2	4
1-10 m	orta	eklem	1	2
10-30 m	uzun/geniş	yataklanma/foliasyon kısımları	0.75	1.5
> 30 m	çok uzun/geniş	dolgulu eklem ve ya damar	0.5	1

Tablo 2.3 Blok Şekil Faktörü ( $\beta$ )

$\beta = 30$  Kübik Bloklar İçin  $\beta = 40$  Küçük Uzun yada Yassı Bloklar  $\beta = 75$  Uzun yada Yassı Bloklar  $\beta = 250$  Çok Uzun yada Yassı Bloklar  $\beta = 500$  Aşırı Uzun yada Yassı Bloklar

Tablo 2.4 Eklem Alterasyon Faktörü (JA)

<b>EKLEMLENME ALTERASYON FAKTÖRÜ (JA)</b>					
	<b>Eklem duvarı karakteri</b>		<b>Koşullar</b>		<b>Duvar temas</b>
	<b>EKLEM DUVARLARI TEMAS HALİNDE İSE</b>		Kaynamış veya ıslah olmuş yüzey	Quartz dolgusu	
<b>Temiz Eklem ...</b>			Temiz yüzey	Kırıntı dışında kaplama veya dolgu yok	
		Altere olmuş yüzey	Kayaç tan 1 derece fazla altere olmuş duvar.		2
			Kayaç tan 2 derece fazla altere olmuş duvar		4
<b>Kaplanmış yada kısmen dolmuş eklem</b>		Sürtünme metaryelleri	Kilsiz , kum , silis, kalsit v.b.		3
		Bağlayıcı materyaller	Kil , klorit , talk , v.b		4
<b>EKLEM DUVARLARI KISMEN TEMAS HALİNDEY-SE VEYA TEMAS YOKSA...</b>		<b>Dolgu malzemesi</b>		<u>Tipi</u>	Kısmi temas
	<b>Sürtünme metaryelleri</b>		Kum ,silis , kalsit v.b.	4	8
	<b>Sert bağlayıcı metaryeller</b>		Kompak kil dolgusu , klorit, talk v.b.	6	6-10
	<b>Yumuşak bağlayıcı metaryeller</b>		Orta ve düşük yapışmış kil,klorit,talk v.b.	8	12
	<b>Sıvı yapıştırıcı metaryeller</b>		Sıvı yapıştırıcı malzeme içeren dolgu metaryelleri	8-12	13-20

Tablo 2.5 Kayaç Kütleleri İçin Tek Eksenli Basınç Dayanım Değerleri ( $\sigma_c$ ) ve Kayaç Faktörü ( $m_i$ )

KAYAÇ TİPİ	Tek Eksenli Basınç Day. Değeri (Mpa)	Kayaç Faktörü Değeri ( $m_i$ )	KAYAÇ TİPİ	Tek Eksenli Basınç Day. Değeri (Mpa)	Kayaç Faktörü Değeri ( $m_i$ )		
	düşük-orta-yük.			düşük-orta-yük.			
SEDİMANTER KAYALAR	Kömür	16-21-26	METAMORFİK KAYAÇLAR	Amfibolit	75-125-250	31.2	
	Kil Taşı	2-5-10		3,4	Amfiboliti Gnays	95-160-230	(31)
	Konglerema	70-85-100		(20)	Augen Gnays	95-160-230	(30)
	Mercan Teb	3-10-18		7.2	Siyah Şist	35-70-105	
	Dolomit	60-100-300		10.1	Garnet Mika	75-105-130	
	Kireçtaşı	50-100-180		8.4	Granit Gnays	80-120-155	(30)
	Çamurtaşı	45-95-145			Granulite	80-150-280	
	Tortul Şist	36-95-172			Gnays	80-130-185	29.2
	Kumtaşı	75-120-160		18.8	Gnays Granit	65-105-140	(30)
	Şilt Taşı	10-80-180		9.6	Yeşil Schist	65-75-85	
	Tüf	3-25-150			Yeşil Taş	120-170-280	(20)
MAGMATİK KAYAÇLAR	Andesit	75-140-300	18,9	Greywacke	100-120-145		
	Anorthosit	45-125-210		Mermer	60-130-230	9,3	
	Basalt	100-165-355	(17)	Mika Gnays	55-80-100	(30)	
	Diabas	227-280-319	15.2	Mika Kuvars	45-85-125	(25)	
	Diorit	100-140-190	(27)	Mika Schist	20-80-170	(15)	
	Gabro	190-240-285	25.8	Mylonite	65-90-120		
	Granit	95-160-230	32.7	Phyllite	21-50-80	(13)	
	Granodiyor	75-105-135	(20)	Kuvartz Kum Taşı	70-120-175		
	Monzonit	85-145-230	(30)	Kuvarsit	75-145-245	23.7	
	Nepheline Siyanit	125-165-200		Kuvarsitik Phyllite	45-100-155		
	Norite	290-298-326	21.7	Serpantinit	65-135-200		
	Pegmatit	39-50-62		Slate	120-190-300	11.4	
	Ryolit	-85?-	(20)	Talk Schist	45-65-90	(10)	
	Siyanit	75-150-230	(30)				
Ultrabazik Kayaç	80-160-360						
ZEMİN	Çok Yumuşak K	0,025	ZEMİN	Katı Kil	0.1-0.25		
	Yumuşak K	0,025-0,05		Çok Katı Kil	0.25-0.5		
	Sert Kil	0,05-0,1		Aşırı Sert Kil	0.5-1		
				Kum ,Silt	0.0001-0.001		

### *2.2.1.2 Sahada Gözlemleri ve Ölçümlerine Göre Veri Girişi Sonucu Blok Hacminin Elde Edilmesi*

Yöntemde kullanılan girdi parametreleri olarak, örnek bir sahada gözlemler ve sahadan alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar testleri sonucu elde edilen değerler alınmıştır.

#### Sahada Gözlemler ve Laboratuvar Testleri İle Bulunan Girdi Değerleri:

**1. Tek Eksenli Basınç Değeri:( $\sigma$  Mpa)** Sahadan alınan kayaç numunelerinin laboratuvar da tek eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanım değeri “75 Mpa” dır.

**2. Kayaç Faktör Değeri(mi):** Tablo 2.5 deki değerlerden mermer için söz konusu olan mi değeri “9.3” olarak alınmıştır.

**3. Eklem Pürüzsüzlük Faktörü(Js):** Sahada yapmış olduğumuz izlenimler ve ölçümler sonucunda kayaç kütlesi eklem pürüzlülüğü “az pürüzlü” olarak değerlendirilerek, sayısal değeri “1.5” olarak belirlenmiştir.

**4. Eklem Dalgalılık Faktörü(Jw):** Yukarıda da ifade ettiğimiz gibi eklem pürüzlülük (JR) faktörünü elde etmek için bulduğumuz eklem pürüzsüzlük faktörü (Js) dışında eklem dalgalılık değerini (Jw) de sahadaki ölçüm ve gözlemler sonucunda “geniş ondülasyonlu” olarak değerlendirilmiş, sayısal değeri “2” olarak alınmıştır.

**5. Eklem Alterasyon Faktörü(JA):** Eklem alterasyon değerini sahada yaptığımız incelemelerde “kaplamalı” olarak değerlendirilmiş ve sayısal değeri “3” olarak alınmıştır.

**6. Eklem Uzunluk Faktörü(Jl) :** Sahadaki eklemeler üzerinde yaptığımız incelemeler sonucunda eklem uzunluğu “kısa” olarak değerlendirilmiş ve sayısal değeri “2” olarak alınmıştır.

**7. Eklem Konum Faktörü (Jt) :** Eklem boyut faktörünü (JL) bulmak için eklem uzunluk faktörü (Jl) tanımlanmıştır. Diğer de sahada eklemeler üzerinde yaptığımız incelemeler sonucunda eklem konum faktörü(Jt) “süreksiz eklem” olarak tanımlanmış ve sayısal değeri “2” olarak alınmıştır.

**8. Blok Boyutunun Bulunması İçin Birim Hacimdeki Eklem Sayısı Değeri (Jv):**

Sahada gözlemlerinde 10 'ar metrelik ölçüm hatları boyunca 4 eklem seti için belirlenen toplam süreksizlik sayıları 7, 3, 5, 2 olarak belirlenmiştir. Buna göre Jv değeri;

$$Jv = 7/10+3/10+5/10+2/10 =1,7 \text{ eklem / m}^3$$

olarak bulunmuştur. Bu değer Tablo 1.9' daki değişim aralıkları dikkate alınarak değerlendirildiğinde , kaya kütlelerinin “geniş boyutlu blok” lardan oluştuğu sonucu elde edilmiştir.

Sonuç itibari ile yapmış olduğumuz hesaplama sonucun da birim hacimdeki eklem sayısı olarak ifade edilen Jv değeri “1,7 eklem /m<sup>3</sup>”olarak ifade edilebilmektedir.

**9. Blok Sekil Faktörü (β):** Sahadaki izlenimlerde alınan bloklarda “kübik” şeklin hakim olduğu gözlenmiştir, buna bağlı olarak “β =30” olarak alınmıştır.

Bu incelemelerde yöntem üzerinde çalışmalar yapıldığı için örnek olarak alınan mermer sahasının jeolojik ve diğer teknik parametreleri proje içeriğinde yer verilmemiştir. Zira blok boyutunun elde edilmesinde her kayaç kütle oluşumu farklı jeolojik parametreler içereceğinden burada yöntemin kullanılabilirliğinin araştırılmasında genel yaklaşımlar kullanılarak yöntem çözümlmelerine gidilmiştir.



Veri Girdileri İle RMI Hesaplama Yöntemini Kullanılarak Elde Edilen Değerler:

GİRDİLER		Değerler ve Oranlar
Kayacın Tek Eksenli Basınç Dayanım Değeri (Mpa)	$\sigma_c$	75
Kayaç Faktörü	$m_i$	9,3
Eklem Pürüzsüzlük Faktörü	$J_s$	1,5
Eklem Dalgahlık Faktörü	$J_w$	2
Eklem Alterasyon Faktörü	$J_A$	3
Eklem Uzunluk Faktörü	$J_l$	2
Eklem Konum Faktörü	$J_t$	2
Blok Hacminin Bulunması için Bu Değerlerden Yalnız Biri Girilir	Blok Hacmi ( $m^3$ )	$V_b$
	Kayaç Kalite Göstergesi	RQD
	Birim Hacimdeki Eklem Sayısı	$J_v$
Blok Şekil Faktörü	$\beta$	30
HESAPLAMALAR		Sonuçlar
Eklem Pürüzlülük Faktörü	$J_R$	3
Eklem Boyut Faktörü	$J_L$	4
Blok Hacmi ( $m^3$ )	$V_b$	6,106248728
Blok Çapı Eşitliği (m)	$D_b$	1,83
Eklem Durum Faktörü	$J_C$	4
Eklem Parametresi	$J_P$	0,6644
<b>KAYAÇ KÜTLE İNDEKSİ</b>	<b>RMI</b>	<b>37,500</b>

**1. Eklem Pürüzlülük Faktörü (JR):** Bu değeri bulmak için iki tane değer girilmiştir. Bunlar eklem pürüzlülük değeri ( $J_s$ ) ve eklem dalgahlık değeri ( $J_w$ ) dir.

$J_R = J_s * J_w$  sonuç olarak  $J_R$  değeri "3" olarak bulunmuştur.

**2. Eklem Boyut Faktörü (JL):** Bu değeri bulmak için eklem uzunluluk faktörü (Jl) ve eklem konum faktörü (Jt) olmak üzere iki tane değer girilmiştir. Bu değerlerden hareketle ;

$JL = Jl \times Jt = 2 \times 2 = 4$  formülünden sonuç olarak JL değeri "4" olarak elde edilmiştir.

**3. Blok Hacmi Değeri (Vb m<sup>3</sup>):** Yöntemde girilen birim hacimdeki eklem sayısı değeri (Jv) kullanılarak blok hacminin değeri "Vb= 6.106248728 m<sup>3</sup>" olarak saptanmıştır.

**4. Blok Çapı Eşitliği (Db m):** Blok çapı eşitliği "Db=1,83 m" olarak elde edilmiştir.  $Db = Vb^{0,3333}$  m

**5. Eklem Durum Faktörü (JC):** Eklem pürüzlülük faktörü (JR) ve eklem boyut faktörü (JL) yukarıdaki eşitliklerle bulunmuştur. Buna karşılık eklem alterasyon faktörü (JA) önceki incelemeler ile 3 olarak bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak;  $JC = (JL \times JR) / JA$  formülünden JC değeri "4" olarak hesaplanmıştır.

**6. Eklem Parametresi Değeri (JP):** Eklem parametresi blok hacmi ve eklem durum faktörüne bağlı hesaplanmıştır.

$$JP = 0.2 \sqrt{jc} \cdot Vb^D$$

Vb = Blok hacmi (m<sup>3</sup>) olarak verilmiştir ve

$D = 0.37 jC^{-0.2}$  sonuç olarak JP değeri "0,6644" olarak hesaplanmıştır.

**7. RMI Değeri:** Sonuç olarak  $RMI = JP \times \sigma_c$  den RMI değeri "37,500" olarak hesaplanmıştır

RMI hesap kriterlerine göre;

$$JP < 0,5 \text{ ise } RMI = JP \times \sigma_c \text{ eşitliğinden,}$$

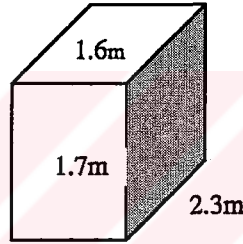
$$JP > 0,5 \text{ ise } RMI = 0,5 \times \sigma_c \text{ eşitliğinden}$$

Hesaplanmaktadır. Hesaplamalarımız sonucu;

JP=0,6644 olduğundan  $0,6644 > 0,5$  olduğu için  $RMI = 0,5 \times 75 = 37,5$  değeri elde edilmiştir.

Sonuç olarak gözlenen ve incelenen örnek mermer sahasından elde edilen veriler Palmström 'ün geliştirdiği RMI sistemine uygulandığında sahadan elde edilebilecek ticari boyutlardaki uygun blok hacminin ( $V_b$ ) “ **6,106 m<sup>3</sup>** ” olduğu belirlenmiştir. Bu değer ticari mermer blok değeri bakımından uygun bir değer olarak tarafımızdan değerlendirilmiştir(1,5 – 12 m<sup>3</sup>).

Aşağıda değer değişimleri incelenen mermer bloğunun boyutları **1,6x1,7x2,3m** dir. Yani blok hacmi 6,106 m<sup>3</sup> olarak elde edilmekte. Bu üretilen mermer bloğunun mermer kesim sanayisinde , plaka üretimi ve diğer hazırlık aşamaları için uygun olduğu söylenebilir. .



Şekil 2.1 Hesaplama Sonucu Elde Edilen Mermer Bloğunun Görünümü (1,6x1,7x2,3m)

### *2.2.1.3 Bilgisayar Destekli Hesaplama Yöntemini Kullanarak Girdiğimiz Parametrelerin Değişimine Bakarak Blok Hacminin ( $V_b$ ) ve RMI' nin Nasıl Değiştiğinin İzlenmesi*

Proje kapsamında incelenen kayaç kalite sınıflama sistemi(RMI) için girdi parametrelerinin değiştirilerek mermer sahasından elde edilebilecek blok hacmi ( $V_b$ ) ve kaya sınıfı değeri (RMI) değerleride ayrıca bu çalışma kapsamında araştırılmıştır.

**Tek Eksenli Basınc Değeri ( $\sigma$  Mpa):** Diğer değişkenleri sabit tutarak kayacın tek eksenli basınç değerinde değişiklikler yapıldığında  $V_b$  ve RMI değerlerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. Buna göre;

$\sigma_c$  değeri arttırıldığında buna bağlı olarak RMI değerinin de arttığı görülmüştür. Bir başka deyişle  $\sigma_c$  ile RMI arasında doğru bir orantı bulunmaktadır.

**Kayaç Faktörü (mi):** Bu değer Hoek Brown tarafından kullanılmakta olan Tablo 2.5 den alınan mermer için söz konusu olan sabit bir değerdir.

**Eklem Pürüzsüzlük Faktörü (Js):** Diğer parametreler sabit tutularak eklem pürüzsüzlük faktörü(Js) değiştirildiğinde eklem durum faktörü (JC), eklem parametresi (JP) ve eklem pürüzlülük faktörü (JR) doğru orantılı olarak artmakta ve azalmaktadır. Blok hacmi(Vb) değerinde herhangi bir artma ve azalma söz konusu olmazken, RMI JP' ye bağlı olarak artma ve azalma göstermektedir.

(Js değerleri değişimi : pürüzsüz=1, az pürüzlü=1,5, pürüzlü=2, çok pürüzlü=3)

**Eklem Dalgalık Faktörü (Jw):** Diğerlerini sabit tutar iken eklem dalgalık faktörünü (Jw) değiştirdiğimizde eklem durum faktörü (JC), eklem parametresi (JP) ve eklem pürüzlülük faktörü (JR) doğru orantılı olarak artma ve azalma söz konusu olur. Vb değerinde herhangi bir artma ve azalma söz konusu değil iken RMI JP' ye bağlı olarak artma ve azalma arz eder.

(Jw değerleri değişimi:düzlemsel=1, küçük ondülasyon=1,5, geniş ondülasyon=2 , basamaklı=2,5 )

**Eklem Alterasyon Faktörü (JA):** Eklem alterasyon değerini (JA) değiştirip diğerlerini sabit tuttuğumuzda eklem durum faktörü (JC) ve eklem parametresi (JP) ile (JA) arasında ters orantılı bir ilişki görülmektedir. Yani JA değeri artığında JC ve JP değerleri azalmakta, JA değeri azaldığında JC ve JP değerleri artmaktadır. Buna karşılık blok hacmi değeri(Vb) değişmemektedir. RMI değeri ise JP ye bağlı olarak değişmektedir.

Eğer  $JP < 0,5$  ise  $RMI = JP \times \sigma_c$

$JP > 0,5$  ise  $RMI = 0,5 \times \sigma_c$

( JA değişimi: taze kaya duvarı=1 ,kaplama yada ince dolgu=3 ,temassız kaplama=4 , temassız dolgu=4-10 )

**Eklem Uzunluk Faktörü (Jl):** Eklem uzunluk faktörü (Jl) değiştirip diğerleri sabit tutulduğunda, eklem durum faktörü (JC), eklem parametresi (JP) ve eklem boyut faktörü (JL) doğru orantılı olarak artmakta veya azalmaktadır. Blok hacmi değeri (Vb) değeri değişmemekte , RMI değeri ise JP ye bağlı olarak artma ve azalma göstermektedir.

(Eklem Uzunluk Faktörü (Jl) değişimi: çok kısa=3 ,kısa=2 ,orta=1 ,uzun=0,75)

**Eklem Konum Faktörü (Jt):** Eklem konum faktörü (Jt) değiştirip diğerleri sabit tutulduğunda eklem durum faktörü (JC), eklem parametresi (JP) ve eklem boyut faktörü (JL) doğru orantılı olarak artmakta veya azalmaktadır. Blok hacmi (Vb) değeri değişmemekte , RMI değeri ise JP ye bağlı olarak artma ve azalma göstermektedir.

(Eklem Konum Faktörü (Jt) değişimi: sürekli eklem=1 ,sürekli eklem=2 )

**Birim Hacimdeki Eklem Sayısı (Jv eklem/m<sup>3</sup>):** Birim hacimdeki eklem değerini (Jv) değiştirip diğerlerini sabit tuttuğumuzda blok çapı eşitliği (Db), blok hacmi (Vb) ve JP değeri ve buna bağlı RMI değeri değişim göstermektedir. Eklem durum faktörü (JC) değeri değişmemektedir. Birim hacimdeki eklem sayısı (Jv) azaldıkça Blok hacmi (Vb), Eşdeğer blok çapı (Db), Eklem parametresi(JP) değerleri artmaktadır. Ancak (Jv) değeri arttıkça ters orantılı olarak bu değerler azalmaktadır. RMI de JP ye bağlı olarak değişim arz etmektedir. Blok hacminin hesaplanmasında en önemli ve belirleyici jeolojik faktör kayaç kütlelerinde gözlenen **“Birim Hacimdeki Eklem Sayısı (Jv eklem/m<sup>3</sup>)”** değeri olmaktadır. (Jv ' nin hesaplanması bölüm 1.1.10.2 'de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.)

**Blok Şekil Faktörü (β):** Blok şekil faktörünü (β) değiştirip diğerlerini sabit tutulduğunda blok hacmi (Vb), blok çapı eşitliği (Db) ve eklem parametresi (JP) değeri doğru orantılı olarak artma ve azalma göstermektedir. RMI ise JP ye bağlı olarak değişim arz etmektedir.

(kübik blok=30, kısa ve ince blok=40, uzun ve ince blok=75, çok uzun ve ince blok=250)

## BÖLÜM NO ÜÇ

### DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Örnek olarak ilk değerlerin elde edildiği mermer sahasından derlenen veriler RMI' yöntemi ile analiz edilerek uygulandığında sahanın verebileceği ortalama blok hacmi " $V_b = 6,106248728 \text{ m}^3$ " olarak önceki bölümlerde elde edilmiştir. Bu bölümde parametre değişimlerine bağlı olarak blok hacminin ( $V_b$ ) değişimi ayrıntılı olarak ele alınıp incelenmektedir.

Tek eksenli basınç değerini irdelediğimizde RMI değeri ile doğrudan orantılı olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle tek eksenli basınç değeri arttıkça RMI değeri de artış göstermekte, azaldıkça RMI değeri azalmaktadır ( $RMI = JP \times \sigma_c$ ). Tek eksenli basınç değeri RMI sisteminde Tablo 2.5' te değişik kayaç türleri için verilmektedir. Bu değer her mermer sahası için laboratuvar testleri ile belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 2.5 te kayaçlar düşük-orta-yüksek dayanım değerlerinde sınıflandırılmaktadır. Mermer sahasından alınabilecek blok boyutları için Tek Eksenli Basınç Dayanım değerinin blok hacmi ( $V_b$ ) hesabında doğrudan bir etkisi bulunmamaktadır. RMI sisteminde değerleri girip değerlendirdiğimizde  $\sigma_c = 75 \text{ Mpa}$ , olarak girdiğimizde  $RMI = 37,5$  olarak elde edilmektedir.  $\sigma_c = 80 \text{ Mpa}$ , olarak girdiğimizde  $RMI = 40$  olarak elde edilmektedir.  $\sigma_c = 70 \text{ Mpa}$  olarak girdiğimizde ise  $RMI = 35$  olarak elde edilmektedir. Yani RMI ile  $\sigma_c$  arasındaki doğru orantı belirgin bir şekilde görülmektedir.

Eklem pürüzsüzlük değeri ( $J_s$ ) olan bu değer eklem pürüzlülük faktörünün ( $J_R$ ) bir parametresidir, diğeri de eklem dalgalılık faktörüdür ( $J_w$ ). ( $J_R = J_s \times J_w$ ) Eklem pürüzsüzlük değerinin sayısal olarak artması yani pürüzsüz, az pürüzlü, pürüzlü ve çok pürüzlü olarak görüldüğü gibi sürtünme ve tutunma gücü arttıkça eklem durum faktörü ( $J_C$ ), eklem parametresi ( $J_P$ ) ve eklem pürüzlülük faktörü ( $J_R$ ) gibi parametrelerde doğru orantılı olarak artma ve azalma söz konusudur. Blok hacminde ( $V_b$ ) herhangi bir artma ve azalma söz konusu olmazken, RMI  $J_P$ ' ye bağlı olarak değişim göstermektedir. Yukarıdaki durum eklem pürüzlülük ( $J_R$ ) değerinin diğere parametresi eklem dalgalılık faktörü ( $J_w$ ) içinde geçerlidir. Eklem dalgalılık faktörü

(Jw) değerleri düzlemsel, küçük ondülasyonlu, geniş ondülasyonlu ve basamaklı olarak ifade edilmektedir. Görüldüğü gibi tutma ve sürtünme gücü artıka eklem durum faktörü (JC), eklem parametresi (JP) ve eklem pürüzlülük faktörü (JR) gibi parametrelerde doğru orantılı olarak artma ve azalma söz konusudur. Blok hacminde (Vb) herhangi bir artma ve azalma söz konusu olmazken RMI JP' ye bağılı olarak değişim arz eder. Yöntemde değerler girildiğinde  $\sigma_c=75$  Mpa ,  $J_s=1,5$  ,  $J_w=2$  , (JR= $J_s \times J_w$ ) JR= 3 , JL=4 , JA=3 ,  $J_v=1,7$  eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler Vb=6,106 m<sup>3</sup> , Db=1,83 m , JC=4 , JP=0,6644 , RMI=37,500 dır.

- Eğer  $\sigma_c=75$  Mpa ,  $J_s=2$ ,  $J_w=2,5$  , (JR= $J_s \times J_w$ ) JR= 5, JL=4, JA=3,  $J_v=1,7$  eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler Vb=6,106 m<sup>3</sup> , Db=1,83 m , JC=6,666, JP=0,8164 , RMI=37,500 görüldüğü gibi JR, JC, JP değerlerindeki artışlar görülmektedir.

- Eğer  $\sigma_c=75$  Mpa ,  $J_s=1$  ,  $J_w=1,5$  , (JR= $J_s \times J_w$ ) JR= 1,5 , JL=4 , JA=3 ,  $J_v=1,7$  eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler Vb=6,106 m<sup>3</sup> , Db=1,83 m , JC=2 , JP=0,5066 , RMI=37,500 görüldüğü gibi JR, JC, JP değerlerindeki azalışlar ifade edilmiştir.

RMI' nin JP' ye bağılı değeri ise  $JP < 0,5$  RMI=JP x  $\sigma_c$

$JP > 0,5$  RMI=JP x 0,5 bu nedenle RMI =37,5' dir.

Eklem alterasyon faktörü (JA) de diğer göz önüne alınması gerekli önemli bir parametredir. Eklem alterasyon değeri yapı sistemi üzerinde taze kaya duvarı, kaplama yada ince dolgu, temassız kaplama, temassız dolgu olarak ifade edilir.

(JC=JL\*JR/JA). Formülde de görüldüğü gibi JA ile JC ve JP arasında ters orantı söz konusudur. Vb değerinde ise herhangi bir değişme söz konusu olmaz iken RMI değeri JP değerine bağılı olarak değişir. Bilgisayar programında bilgileri girdiğimizde  $\sigma_c=75$  Mpa,  $J_s=1,5$  ,  $J_w=2$ , (JR= $J_s \times J_w$ ) JR= 3 , JL=4 , JA=3 ,  $J_v=1,7$  eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler Vb=6,106 m<sup>3</sup> , Db=1,83 m , JC=4 , JP=0,6644 , RMI=37,500 dır.

- $\sigma_c=75$  Mpa ,  $J_s=1,5$  ,  $J_w=2$  , (JR= $J_s \times J_w$ ) JR= 3 , JL=4 , JA=2 ,  $J_v=1,7$  eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler Vb=6,106 m<sup>3</sup>, Db=1,83 m , JC=6 , JP=0,7821, RMI=37,500 dır.



•  $\sigma_c=75$  Mpa ,  $J_s=1,5$  ,  $J_w=2$  , ( $J_R=J_s \times J_w$ )  $J_R= 3$  ,  $J_L=4$  ,  $J_A=7$  ,  $J_v=1,7$  eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler  $V_b=6,106$  m<sup>3</sup> ,  $D_b=1,83$  m ,  $J_C=1,714$  ,  $J_P=0,4776$ ,  $RMI=35,823$  dir.

Görüldüğü üzere JA nın değişimi JC, JP ve RMI de görülmektedir.

RMI' nin JP' ye bağlı değeri ise  $J_P < 0,5$   $RMI = J_P \times \sigma_c$

$J_P > 0,5$   $RMI = J_P \times 0,5$  bu nedenle  $RMI = 37,5$

$J_P < 0,5$   $RMI = 0,4776 \times 75$  buradan  $RMI = 35,823$

Eklem uzunluk faktörü (Jl) olan bu değer eklem boyut faktörünün (JL) bir parametresidir, diğeri de eklem konum faktörüdür (Jt). ( $J_L=J_l \times J_t$ ) Eklem uzunluk faktörünün yapı sistemi üzerindeki ifadesi çok kısa, kısa, orta uzunlukta ve uzun olarak ifade edilir. Buradan görüldüğü üzere eklem boyutunun önemli bir rolü bulunmaktadır. Burada eklem uzunluk faktörünün sayısal olarak artması (Eklem boyunun kısılması anlamına gelir ki bu da uygun blok boyutunun elde edilmesini sağlamaktadır.) eklem durum faktörü (JC), eklem parametresi (JP) ve eklem boyut faktörü (JL) doğru orantılı olarak artma ve azalma göstermektedir. Blok hacminde ( $V_b$ ) herhangi bir artma ve azalma söz konusu olmazken RMI JP' ye bağlı olarak değişim gösterir. Yukarıdaki durum eklem boyut faktörünün (JL) diğeri parametresi eklem konum faktörü (Jt) içinde geçerlidir. Eklem konum faktörü (Jt) değerleri sürekli eklemler, süreksiz eklemler olarak ifade edilmektedir. Görüldüğü gibi eklemlerin sürekli olması istenmeyen bir durumdur. (uygun blok boyutunun elde edilmesi açısından) Sayısal olarak eklem konum faktörünün büyük olması süreksiz eklem olarak ifade edilmesi ile söz konusudur. Buradan artan eklem konum faktörü (Jt) ile eklem durum faktörü (JC), eklem parametresi (JP) ve eklem boyut faktörü (JL) doğru orantılı olarak artma ve azalma gösterir. Blok hacminde ( $V_b$ ) herhangi bir artma ve azalma söz konusu olmaz iken RMI JP' ye bağlı olarak değişim arz eder. Değerler yönteme uygulandığında  $\sigma_c=75$  Mpa, ( $J_R=J_s \times J_w$ )  $J_R= 3$ ,  $J_l=2$ ,  $J_t=2$ , ( $J_L=J_l \times J_t$ )  $J_L=4$ ,  $J_A=3$ ,  $J_v=1,7$  eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler  $V_b=6,106$  m<sup>3</sup>,  $D_b=1,83$  m,  $J_C=4$  ,  $J_P=0,6644$ ,  $RMI=37,500$  değeri elde edilir.

•  $\sigma_c=75$  Mpa , (JR=Js x Jw) JR= 3 ,Jl=3, Jt=2, (JL=Jl x Jt) JL=6 , JA=3 , Jv=1,7 eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler Vb=6,106 m<sup>3</sup> , Db=1,83 m , JC=6 , JP=0,7821 , RMI=37,500 dir.

•  $\sigma_c=75$  Mpa , (JR=Js x Jw) JR= 3 ,Jl=1, Jt=1, (JL=Jl x Jt) JL=1 , JA=3 , Jv=1,7 eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=30$  elde edilen değerler Vb=6,106 m<sup>3</sup> , Db=1,83 m , JC=1 , JP=0,3906 , RMI=29,297 dir.

Görüldüğü gibi Jl ve Jt ayrıca JL'nin değişimi net olarak JC, JP ve RMI de ifade edilmektedir.

RMI' nin JP' ye bağlı değeri ise  $JP < 0,5$   $RMI = JP \times \sigma_c$

$JP > 0,5$   $RMI = JP \times 0,5$  bu nedenle  $RMI = 37,5$

$JP < 0,5$   $RMI = 0,3906 \times 75$  buradan  $RMI = 29,297$

Yapılan tüm analizler göstermiştir ki, blok hacminin değişimini direkt olarak etkileyen en önemli faktörlerden birisi birim hacimdeki eklem sayısıdır(Jv). Burada belli bir ölçüm hattı boyunca sayılan eklemelerin ifadesinin formülle hesaplanarak birim hacimdeki eklem sayısı (Jv) değerinin belirlenmesi söz konusu olmaktadır. Örnek olarak incelenen mermer ocağında belli noktalarda yapmış olduğumuz ölçümlerdeki eklem takımları ve eklem sayıları (7, 3, 5, 2) olarak belirlenmiştir.

Buradan Birim Hacimdeki Eklem Sayısı  $Jv = 7/10 + 3/10 + 5/10 + 2/10 = 1,7$  eklem/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. .

Bu değerın sayısal olarak artması blok hacminin (Vb) direkt olarak azalması yönünde etki etmektedir ki, artan eklem sayısı ve eklem takımı sayısı blok elde etme veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bu sonuç itibari ile özellikle verimli blok elde etmek için eklemelerin az, boyutlarının kısa ve süreksiz olması gerekmektedir. Birim hacimdeki eklem değerini (Jv) değiştirilip diğerleri sabit tutulduğunda blok çapı eşitliği (Db), blok hacmi (Vb) ve eklem parametresi (JP) değeri ve buna bağlı RMI değeri değişim göstermektedir. Buna karşılık Eklem durum faktörü (JC) değeri değişmemektedir. Birim hacimdeki eklem sayısı (Jv) azaldıkça Vb, Db, JP değerleri

artma arz eder, fakat bu değer ( $J_v$ ) arttıkça ters orantılı olarak bu değerler de azalmaktadır. RMI de JP ye bağlı olarak değişim arz etmektedir.

RMI yönteminde girdi parametreleri uygulandığında  $\sigma_c=75$  Mpa , ( $J_R=J_s \times J_w$ )  $J_R=3$ ,  $J_l=2$ ,  $J_t=2$ , ( $J_L=J_l \times J_t$ )  $J_L=4$  ,  $J_A=3$  ,  $J_v=1,7$  eklem/ $m^3$ ,  $\beta=30$  elde edilen değerler  $V_b=6,106$   $m^3$ ,  $D_b=1,83$  m ,  $J_C=4$  ,  $J_P=0,6644$  ,  $RMI=37,500$  değerleri elde edilmektedir.

•  $\sigma_c=75$  Mpa , ( $J_R=J_s \times J_w$ )  $J_R=3$  ,  $J_l=2$ ,  $J_t=2$ , ( $J_L=J_l \times J_t$ )  $J_L=4$  ,  $J_A=3$  ,  $J_v=2,5$  eklem/ $m^3$ ,  $\beta=30$  verilerine göre elde edilen değerler  $V_b=1,92$   $m^3$  ,  $D_b=1,24$  m ,  $J_C=4$ ,  $J_P=0,4803$  ,  $RMI=36,021$  dir.

•  $\sigma_c=75$  Mpa , ( $J_R=J_s \times J_w$ )  $J_R=3$  ,  $J_l=2$ ,  $J_t=2$ , ( $J_L=J_l \times J_t$ )  $J_L=4$  ,  $J_A=3$  ,  $J_v=1,3$  eklem/ $m^3$ ,  $\beta=30$  verilerine göre elde edilen değerler  $V_b=13,654$   $m^3$  ,  $D_b=2,39$  m ,  $J_C=4$  ,  $J_P=0,8325$  ,  $RMI=37,500$  dir.

Yukarıda birim hacimdeki eklem sayısındaki ( $J_v$ ) değişimlere bakılarak  $V_b$ ,  $D_b$ , JP ve RMI nasıl değiştiiği görülmektedir.

RMI' nin JP' ye bağlı değerleri ise  $J_P < 0,5$   $RMI=JP \times \sigma_c$

$J_P > 0,5$   $RMI=JP \times 0,5$  bu nedenle  $RMI =37,5$

$J_P < 0,5$   $RMI=0,4803 \times 75$  buradan  $RMI=36,021$

Blok hacmini ( $V_b$ ) etkileyen en önemli parametrelerden biriside blok şekil faktörüdür. ( $\beta$ ) Blok şekil faktörü değerleri “**kübik blok, kısa ve ince blok, uzun ve ince blok ve çok uzun ve ince blok**” olarak ifade edilir. Blok şekil faktörünü ( $\beta$ ) değiştirip diğerlerini sabit tutuğumuzda blok hacmi ( $V_b$ ), blok çapı eşıtliği ( $D_b$ ) ve eklem parametresi ( $J_P$ ) değeri doğru orantılı olarak artma ve azalma göstermektedir. RMI ise JP ye bağlı olarak değişim arz eder.

Bu değerler RMI sistemine uygulandığında  $\sigma_c=75$  Mpa , ( $J_R=J_s \times J_w$ )  $J_R=3$  ,  $J_l=2$ ,  $J_t=2$ , ( $J_L=J_l \times J_t$ )  $J_L=4$  ,  $J_A=3$  ,  $J_v=1,7$  eklem/ $m^3$ ,  $\beta=30$  verilerine göre elde edilen değerler  $V_b=6,106$   $m^3$ ,  $D_b=1,83$  m ,  $J_C=4$  ,  $J_P=0,6644$  ,  $RMI=37,500$  olmaktadır.

•  $\sigma_c=75$  Mpa , (JR=Js x Jw) JR= 3 , JI=2, Jt=2, (JL=JI x Jt) JL=4 , JA=3 , Jv=1,7 eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=40$  verilerine göre elde edilen değerler Vb=8,141 m<sup>3</sup>, Db=2,01 m, JC=4, JP=0,7202, RMI=37,500 dir.

•  $\sigma_c=75$  Mpa , (JR=Js x Jw) JR= 3 , JI=2, Jt=2, (JL=JI x Jt) JL=4 , JA=3 , Jv=1,7 eklem/m<sup>3</sup>,  $\beta=75$  verilerine göre elde edilen değerler Vb=15,265 m<sup>3</sup>, Db=2,48 m, JC=4, JP=0,8590, RMI=37,500 dir.

Yukarıda ( $\beta$ ) Blok şekil faktörü değişimini incelediğimizde Vb, Db ve JP deki değişimler izlenmektedir.

RMI' nin JP' ye bağlı değeri ise JP<0,5 RMI=JP x  $\sigma_c$

JP>0,5 RMI=JP x 0,5 bu nedenle RMI =37,5

## SONUÇLAR

Kaya mekaniği, geçtiğimiz yüzyılın ortalarında yeni bir bilim dalı olarak ortaya çıkmış ve bu bilim dalında günümüze değin hızlı bir gelişme kaydedilmiştir. Bu gelişmeye paralel olarak, kaya mekaniği disipliniyle ilgili uygulamalar için son yıllarda kaya mühendisliği kavramı ortaya atılmış ve bu kavram benimsenmiştir.

Kaya kütlesi kavramı ülkemizde son yıllarda üzerinde durulmaya başlanan bir konu olmakla birlikte, gerçekleştirilen mühendislik uygulamalarında yeterli düzeyde ve yaygın şekilde yaşama geçirilememiştir.

İnsan yapımı malzemeler ile doğal kayaç malzemeleri arasındaki en önemli farklılık, kayaçların süreksizlik adı verilen farklı boyutta, türde ve sayıdaki zayıflık düzlemlerini içermeleridir. Süreksizliklerin mekanik davranışlarının ve etkilerinin anlaşılması, kaya mühendisliği uygulamalarının ayrılmaz ve gerekli bir parçasıdır. Çünkü süreksizlikler; kaya kütlelerinin geometrisini, dayanımını, deformasyon modülünü, yenilme davranışını, geçirgenliğini ve hatta yerel olmakla birlikte, bir sahadaki gerilme alanının büyüklüğünü ve yönünü etkilemektedir. Dolayısıyla süreksizliklerin varlığının ve mekanik davranışının hem süreksizlikler bazında, hemde daha büyük hacimde kaya kütlelerini de içerecek şekilde anlaşılması, inşaat, maden, jeoloji ve petrol mühendisliğiyle ilgili uygulamaların önemli bir aşaması olarak değerlendirilmektedir.

Zaman içerisinde söz konusu kaya yapısının karmaşıklığı ve bilinemez olması nedeni ile bazı bilim adamları bu karmaşık yapıları anlaşılır hale getirebilmek için mantıklar yürüterek kaya kütle sınıflandırma sistemlerini bulmuşlardır. Bilim adamlarının bilimsel araştırmalarına ve kendilerine göre dayanaklara bağlı olarak oluşturdukları bazı kaya sınıflandırma sistemleri ; RMR, RQD, Q Sistem, RMI, ...vb. olarak ifade edilmektedir.

Proje kapsamında Palmstöm(1995) tarafından geliştirilmiş olan "RMI" Kaya Kütle Sınıflama sistemi incelenmiş ve bu sistemin mermer sahalarından alınabilecek

blok boyutlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada örnek olarak bir mermer sahası incelenmiş ve sahada fiili değerler ve numuneler alınmıştır. Ancak her mermer sahasında bu değerler değişken olacağından bu mermer sahası hakkında geniş bilgiye proje kapsamında yer verilmemiştir.

RMI kaya kütle sınıflama sisteminde girdi parametrelerinin değişimi bilgisayar ortamında türetilerek sahadan alınabilecek blok hacmi boyutları ve RMI değerlerinin değişimi elde edilerek sonuçlar irdelenmiştir. Çalışma kapsamında örnek sahadan elde edilen girdi parametrelerinin tümü, sahanın ortalama değerleri olarak girilmiştir.

Bu tez çalışmasında RMI (Kaya Kütle İndeksi ) yöntemi kullanılarak mermer sahalarının işletilebilmesi için önemli bir konu olan blok verebilme özelliğinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Araştırma sonucunda esasen tünel dizaynı olarak geliştirilmiş olan bu yöntemin belirli bir bölümünün bu konuda kullanılabilir olduğu saptanmıştır.

Elde edilen değerler irdelendiğinde RMI sisteminin bir parametresi olan kaya blok hacmi ( $V_b$ ) ve diğer parametreler ( $\sigma_c$ , JP, JC, JR, JA, JL...vb) ile kayaç yapısı ve mühendislik özellikleri hakkında belli sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre;

- Kullanılan RMI ( Kayaç Kütle İndisi ) yönteminde parametrelerden birisi olan blok hacmi değerinin hesaplanmasında en önemli ve belirleyici jeolojik faktör, kayaç kütlede gözlenen “Birim Hacimdeki Eklem Sayısı ( $J_v$  eklem/ $m^3$ )” değeri olmaktadır.
- RMI yönteminde blok şekil faktörünü ( $\beta$ ) değiştirip, diğerlerini sabit tutulduğunda blok hacmi ( $V_b$ ), blok çapı eşitliği ( $D_b$ ) ve eklem parametresi (JP) değeri doğru orantılı olarak artma ve azalma göstermektedir. RMI ise JP ye bağlı olarak değişim arz ettiği sonucu elde edilmiştir. Yöntemde en iyi koşullar  $J_v$  nin 1,7 nin altında olması ve blok şekil faktörü  $\beta = 30$  olduğunda yani “**kübik blok**” durumunda elde edilmektedir ki, sahalarda yapılacak

ayrıntılı etüdlerle girdi parametrelerinin doğru bir şekilde elde edilmesi durumunda bu yöntem kullanışlı bir yöntem olarak uygulanabilir.

Mermer sahalarından alınabilecek blokların boyutlarının belirlenmesi, işletilecek sahadan blok mermer üretiminin tahmin edilmesi ve en uygun mermer ocak yönünün belirlenmesi ayrıntılı jeolojik ve detay mühendislik jeolojisi çalışmalarını gerektirmektedir. Sahadan alınacak mermer örnekler üzerinde laboratuvarında fiziko-mekanik ve teknolojik özelliklerinin test edilmesi, sonuçların ilgili doğal taşın yapıtaşı olarak kullanılması açısından standartlara uygunluğunun belirlenmesi, kısa süreli araştırma ile mümkün olabilmektedir. Bir sahada yer alan kayaç kütlelerinin blok mermer verebilmesinin belirlenmesi, ancak detaylı bir saha çalışması, detaylı süreksizlik ölçümleri ve bu çalışmaların sonucunda belirlenecek lokasyonlardan yapılacak sondajlarla veya jeofizik ölçümlerle mümkün olabilmektedir. Yatay ve düşey yönlerde çok kısa aralıklarla bile değişiklikler gösterebilen mermer kütleleri, sadece yüzeyden yapılan saha çalışmaları ile renk, desen ve tektonik özellikleri açısından kesin sonuçlar elde etmek mümkün olamaya bilmektedir.

Palmström' ün yer altı açıklıklarının tasarım ve dizaynına yönelik olarak bulduğu RMI (Rock Mass Index) sisteminin mermer ocaklarında blok üretim boyutlarının belirlenmesine yönelik uygulamasındaki eksiklikleri göz önüne alınarak ve yeni parametreler de eklenerek farklı bir kaya sınıflama sistemi meydana getirilebilir.

Projede uygulanabilirliği araştırılan RMI yöntemi ayrıntılı çalışma öncesi yapılacak ön değerlendirme aşamasında kullanılabilir bir yöntem olarak görülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Aydan, Ö., Kawamoto, Y, Shimizu, Y. (1995). *A Portable system for in-situ characterization of surface morphology and frictional properties of rock discontinuities* (463-470). Bergamo: Proc. 4 th Intl. Symp. Field Measurements in Geomechanics.
- Barton, N. R., Lien, R, Lunde, I. (1974). Engineering classification of rock mass for The design of tunnel supports. *Rock Mechanics*, 6 (4), 189-239
- Bieniawski, Z. T. (1984). *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling* (97-133). Rotterdam: A.A. Balkema.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification* (237). Jonh Wiley and Sons.
- Brown E. T.(ed.) (1981). Rock Characterization, Testing and Monitoring. *ISRM (International Society for Rock Mechanichs)* (211). London : Pergamon Press
- Fookes. P., G. & Denness, B. (1969). Observational studies on fissure patterns in Cretaceous sediments of southeats England. *Getechnique*, 19 (4), 453-477
- Golder, H., & Associates. (1979 a). *Geotechnical Data Collection UNDP Training Project*. Insturiction Manual-1
- Gökçeoğlu, C. (1997). *Killi, yoğun süreksizlik içeren ve zayıf kaya kütlelerinin mühendislik sınıflandırmasında karşılaşılan güçlüklerin giderilmesine yönelik yaklaşımlar*. Ankara : Doktora Tezi – Hacettepe Üniversitesi.
- Griani, G. P. (1992) *Rock Slope Stability Analysis* (361). Rotterdam: Balkema

- Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *The Institution of Mining and Metallurgy* (3th ed.). London: Stephan Austin and Sons Ltd.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1988). *The Hoek-Brown failure criterion* (31-38). Proc .15 th. Canadian Rock Mechanic Symposium.
- Hoek, E., Wood, D, Shah, S. (1992). *A modified Hoek Brown criterion for jointed rock masses* (209-213). ISRM Symposium.
- Hudson, J. A. (1989). *Rock Mechanics Principles in Rock Engineering Practice* (72). Butterworths.
- ISRM, (1981). *ISRM Suggested Methods Rock Characterization, Testing and Monitoring* (211). London : Pergamon Press
- Köse, H. ve Kahraman, B. (1999). *Kaya Mekaniği* (3 th ed.). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:117.
- Lama, R. D. & Vutukiri, V. S. (1978). *Handbook on mechanical properties of rocks*. German, Clousthal: Trans Tech Publications.
- Onargan, T. ve Köse, H. (1997). *Mermer* (2 th ed.). İzmir : Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:220.
- Onargan, T. (2004 Mart 14 ). *Ülkemizde Mermer Üretim Değerlerinin ve Kayıplarının Mülakat Edilmesi*. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Palmström, A. (1995). *RMİ – a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. Oslo: Oslo University.
- Palmström, A. (1996). RMİ-a system for characterising rock mass strength for use in rock engineering. *J. Of Rock Mech. and Tunnelling Tech*, 1 (2), 69-108.

Patton, F. D. (1966). *Multiple models of shear failure in rock proc*(509-513). Lisbon: 1 st Congr. ISRM.

Priest, S. D. (1993). *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*(473). Charman& Hall.

Snow, D. T. (1970). *The frequency and apertures of fractures in rock*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts.

Ulusay, R. (1994). *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler (2 th ed.)*. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 38.

Ulusay, R. ve Sönmez, H. (2002). *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*. Ankara : TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 60.