

**KAYALARIN BOZUNMA ÖZELLİKLERİNİN YERÜSTÜ
KAZILARI VE YERALTI AÇIKLIKLARININ
DURAYLILIGINA ETKİSİ**

**Effect of Weathering Properties of Rocks on the Stability of Surface
Excavations and Underground Openings**

**Bahtiyar ÜNVER(*)
Murat ÜNAL (**)**

Anahtar Sözcükler: Bozunma. Kaya Kütlesi. Kaya Malzemesi. Şev Duraylılığı.
Yeraltı Açıklığı.

ÖZET

Yeraltında veya yerüstünde madencilik veya madencilik dışı faaliyetler sonucu oluşturulan kazı ve açıklıkların tasarımında kaya malzemesi (intact rock) ve kaya kütlelerinin (rock mass) bozunma (weathering) özellikleri mutlaka dikkate alınmalıdır. Ancak, kaya mühendisliği uygulamalarında kazı veya açıklık çevresindeki kaya maddesi ve kütlelerinin bozunma özellikleri günümüze kadar pek dikkat edilen bir husus olmamıştır. Kazı öncesinde veya sırasında yapılan tasarımın zamana bağımlı geçerliliğinin sağlanabilmesi açısından bu konu oldukça önemlidir. Bazı tür kayalar kazının yeni yapıldığı andaki taze kaya özelliklerini bir süre sonra kaybederek, kaya kalitesi açısından daha kötü bir kaya sınıfına girebilirler.

Bu yazıda, genel olarak kayaları oluşturan minerallerde ve kaya malzemesi ve kütlelerinde görülen bozunma olayının mekanizması ve çeşitleri açıklanmıştır. Ayrıca, kayalar için önerilen bozunma sınınamalarına değinilerek, bozunmanın yeraltı ve yerüstü kazılarının özellikle uzun süreli duraylılığına olan etkisi vurgulanmıştır.

ABSTRACT

Weathering potential and properties of intact rocks and rock masses should be taken into account during surface and underground excavation design for mining and nonmining purposes. Nevertheless, weathering properties of rock material and rock mass surrounding the excavation have not been taken into account seriously in the past. This is a very important point for the validity of design for a long period of time. Some rock types may lose their strength characteristics in the course of time by degrading their rock mass quality.

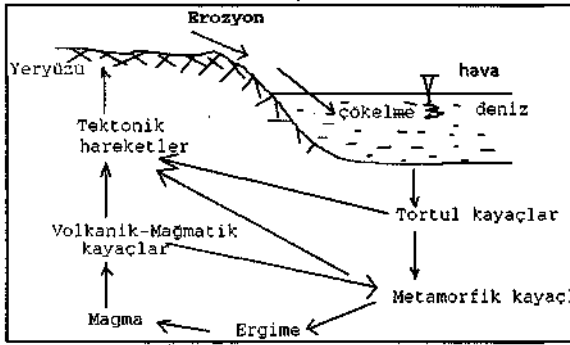
The paper briefly explains types and mechanism of weathering commonly observed in rock forming minerals, intact rock material and rock mass. In addition, the effect of weathering on the long term stability of surface and underground excavations are investigated in conjunction with the classification systems for weathered rock.

* Yrd.Doç.Dr. Hacettepe Üniversitesi . Maden Müh. Böl. 06532 Beytepe. Ankara.

** Arş. Gör. Selçuk Üniversitesi. Maden Müh. Böl.. Konya.

1. YERYÜZÜ PROFİLİ VE BOZUNMA

Yaşadığımız dünyada yeryüzü profili sürekli bir değişim halindedir. Jeolojik, mekanik ve atmosferik etkenlerin neden olduğu bu değişiklikler, yüzyıllar mertebesindeki bir zaman dilimi içerisinde ele alındığında kayaçların sürekli bozunarak yeni zemin koşullarını oluşturduğu bir çevirimin var olduğu anlaşılır, (Şekil 1).



Şekil 1. Yeryüzü profilinin kaya-zemin çevirimine bağlı değişimi.

2. BOZUNMANIN TANIMI

1930'lu yıllardan itibaren kaya bozunmaları ile ilgili birçok çalışma ve birbirine benzeyen değişik bozunma tanımlamaları yapılmıştır, (Oiler, 1969; Fookes vd., 1971; Chandler, 1972; Richards, 1972; Bell, 1983; Beavis, 1985; Bltyh ve Freiter 1987). Yapılan bozunma tanımlamaları içinde önceleri bazı çelişki, karışıklık ve eksikler olmasına rağmen, günümüze kadar yapılmış olan araştırmalar neticesinde bozunma olayını en iyi şekilde ifade eden bir tanımlama oluşturmaya çalışılmıştır. Bozunmanın günümüzde en çok kabul gören tanımı, Fookes vd. (1971) tarafından yapılmış olan ve bozunmayı "kayaların hidrosfer ve atmosferin doğrudan etkisi altında kalarak ayrışması olayı" olarak açıklayan tanımdır.

3. BOZUNMANIN MEKANİZMASI

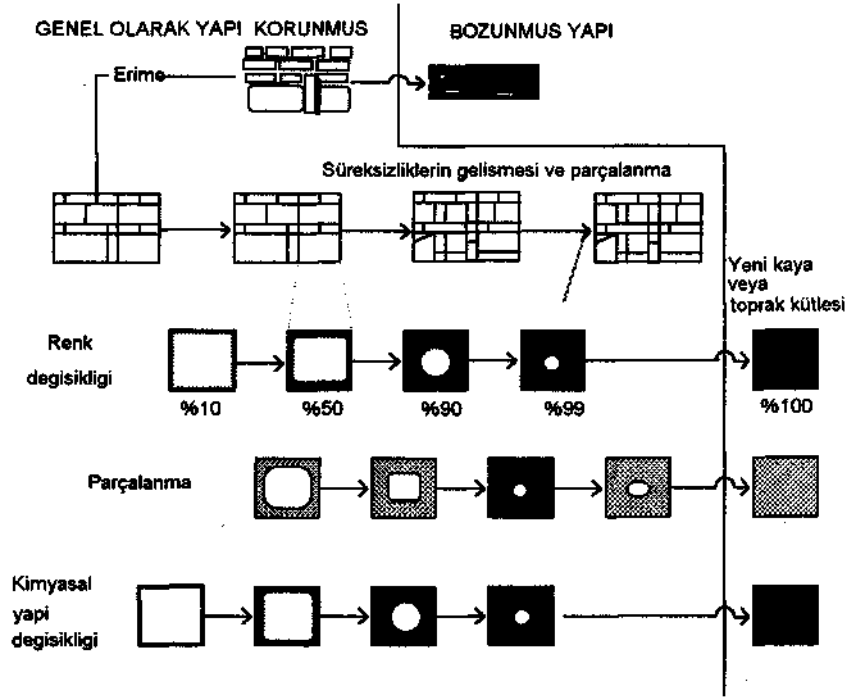
Bozunmanın mekanizması, kayaçların toprak (zemin) olarak adlandırılmalarına kadarki süreci etkileyen veya belirleyen aşamalar olarak tanımlanabilir. Şekil 2'de bu evrelerin de adlandırıldığı bozunma oranları taze, renk değişikliğine uğramış ve parçalanmış olarak tanımlanmışlardır.

Yukarıda sözü edilen kavramların oluşmasında etken olan faktörlere bağlı olarak bozunma mekanizması birçok araştırmacı tarafından fiziksel ayrışma, kimyasal ve biyolojik bozunma olmak üzere üç ana grup altında toplanmıştır (Beavis, 1985; Perry, 1986; Johnson ve DeGraff, 1988).

Çizelge 1 'de verilen bozunmaya ait bilgiler yerbilimleri ile ilgili mühendislik dalları uygulamalarında zemin ve kayaların mekanik performanslarında yaptıkları büyük etkiler dolayısıyla kaya mühendisliği açısından oldukça büyük önem taşır. Bu nedenle Çizelge 1'de bozunma açısından her işlem aşamasında etkili olan kuvvetler ve etkenler aşağıda ayrı ayrı tanımlanmışlardır.

3.1. Fiziksel Parçalanma (Mekanik Bozunma)

Fiziksel parçalanma kaya kütlelerinin ve malzemesinin parçalanması ile oluşur. Kayaların bloklar halinde parçalanması kaya kütlesi içindeki süreksizliklere, taneler halinde parçalanması ise tane sınırlarına ve mineral çatlakları gibi mikro süreksizliklere bağlıdır. Bazı araştırmacılara göre çok az kimyasal değişikliğe yol açarak oluşan mekanik parçalanmalar da fiziksel parçalanma olarak adlandırılabilir, (Johnson ve DeGraff, 1988). Fiziksel parçalanmaya neden olan en önemli etkenler basınç, sıcaklık, yağmur ve rüzgardan oluşur. Çizelge 2'de ayrıntıları belirtilmiş olan



Şekil 2. Kaya kütleinin bozunma evreleri, (Dearman, 1976).

Çizelge 1. Bozunma Türleri ve Mekanizmaları, (Oiler, 1969; Beavis, 1985; Perry, 1986).

Bozunma Çeşidi	Mekanizma	Etkileri
Fiziksel Parçalanma (Mekanik Bozulma)	Mekanik yük azalması Mekanik yükleme Termal yükleme (Genleşme süreçleri) Islanma ve kuruma Re-Kristalizasyon Mekanik göçmeler Kolloidal kopmalar	-Parça boyutlarının küçülmesi yüzey alanının artmasına neden olur. -Kimyasal bir değişiklik yoktur. -Blok ve tane parçalanması olur.
Kimyasal Bozunma	Erima (Çözülme) Oksitlenme İndirgenme Hidrasyon Hidroliz Çözelti oluşumu Kasyon değişimi Karbonatlaşma	-Yeni mineraller oluşur. -Dokusal değişiklikler nedeniyle mineral malzemesi kaybı olur. - Kaya malzemesi ve kaya kütleinin fiziksel ve mekanik özelliklerinde. özellikle dayanımlarında, önemli düşüşler olur.
Biyolojik Bozunma	Basit parçalanmalar Malzeme nakli Kimyasal etkiler Toprak nemi üzerinde etkiler pH üzerindeki etkiler Erozyonun önlenmesi	-Fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etkiler. -Bakteriyel aktiviteler -Parçalanma -Bozunma

Çizelge 2. Fiziksel Parçalanma Nedenleri ve Mekanizmaları,
(Blyth ve Freiter, 1987; Beavis, 1985; Waltham, 1994).

Mekanik Yük Azalması	Düşey arazi gerilmesinin örtü tabakasının erozyonu neticesinde azalması ile düşey yönde bir gerilme rahatlaması olur. Böylece düşey yönde bir genişleme oluşur. Bu durum mevcut çatlak yüzeylerinin açılmasına ve yeni kırık ve çatlakların oluşmasına öncülük eder.
Mekanik Yükleme	Kurak çölümsü bölgelerde kum rüzgarları sebebiyle oluşan taneler arası çarpışmalar ve şiddetli yağışlar sonrasında meydana gelen aşınmalardır.
Termal Yükleme	Kayaç ve zeminlerin soğuk bölgelerde soğuma sonucu büzülmesi, çatlak, yarık ve gözenek sularının donması ve sıcak bölgelerde de kayaların sıcaklık değişimleri sonucu parçalanması meydana gelebilir.
Islanma ve Kuruma	Minerallerin ve bağlayıcı mamazemelerin suyu emmeleri ve kaybetmeleri sonucunda oluşan genişleme ve büzülmelerin neden olduğu değişimlerdir.
Kristalleşme	Donma, buharlaşma ve kimyasal değişiklikler sonucu gözenek ve çatlaklarda meydana gelen değişimlerdir.
Mekanik Göçmeler	Havanın ve suyun yerdeğiştirmesi ve gerilmelerin etkisiyle yarmalarının ve yeraltı boşluklarının oluşması sonucu meydana gelen değişimlerdir.
Kolloidal Kopmalar	Bozunmaya bağlı olarak kayacın yüzeyinde oluşan ince bir tabaka halindeki kilin kayacıtan koparken tabakaya bağlı bütün parçacıkların birlikte ayrılması sonucu oluşur.

fiziksel parçalanma dereceleri sayısal olarak arazi ölçümlerinden elde edilebilir.

3.2. Kimyasal Bozunma

Kimyasal bozunma, kayalarda minerallerin uzaklaşması, değişime uğrayarak yeni minerallerin oluşması sonucu minerallerin . iç yapısının değişimine neden olan karmaşık süreçler topluluğudur. Minerallerin kimyasal bozunma özellikleri her mineral için değişik oranlardadır.

Kimyasal bozunma, hava ve su gibi yeryüzü faktörlerinin neden olduğu bozunma ve suların ve plütonik gazların sebep olduğu alterasyonlar olmak üzere iki değişik şekilde görülebilmektedir. Bu farklılık, her bozunma veya alterasyon işleminin sonucunda malzemelerin farklı dağılım, boyutluluk ve özellikler

göstermelerinden kaynaklanmaktadır. Kayaların bozunma etkisi en fazla yeryüzünden 100 metre derinliğe kadar gözlenebiliyorsa da, alterasyon etkisine herhangi bir derinlikte rastlanabilir, (Richards, 1972).

Kimyasal bozunma sürecinin devamı için gerekli olan önemli kimyasal tepkimeler Çizelge 3'de özetlenmiştir.

3.3. Biyolojik Bozunma

Genel olarak, bozunmanın biyolojik etkenler yoluyla oluşması üçüncül öneme sahip olarak değerlendirilmiştir. Biyolojik bozunma, bitkilerin ve hayvanların fiziksel ve kimyasal etkileri sonucu oluşur ve kaya mühendisliği açısından değerlendirme dışı bırakabilir.

4. BOZUNMANIN HIZINA VE DERECESINE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Bozunmanın hızına ve derecesine etki eden faktörler Çizelge 4'de de verildiği gibi çevresel faktörler, kaya malzemesi ve kaya kütlesi özellikleri olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir.

Çizelge 3. Kayaların Kimyasal Bozunmasında Karşılaşılan Tipik Tepkimelerin Tanımı, (Richards, 1972; Blyth ve Freither, 1988; Walham, 1994).

Erime	Akışkanın miktarı ve katının çözünübilirliğine bağlıdır. CO ₂ nin sızan yağmur suyunun bünyesine geçmesiyle karbonik asit oluşması, minerallerin çözeltiye iyonlaşarak geçmesine neden olur.
Oksitlenme	Oksit ve hidroksitleri oluşturmak için minerallerin havadaki oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu oluşur.
İndirgenme	Oksitlenme olayının tersidir. Mineralin bünyesindeki oksijenin çevreye verilmesi ile oluşur.
Hidrasyon	Ortamda bulunan su moleküllerinin mineral tarafından mineral yapısı içerisine alınmasıdır. Bazı kilitlerin bünyesine % 60 oranına kadar su alabilerek şişmeleri büyük önem taşır.
Hidroliz	Mineral ile su arasındaki kimyasal reaksiyondur. Bu yolla çok yaygın bozunmalar meydana gelebilir. Filtre edilmiş su içerisinde bulunan hidrojenin mineral katyonlarının yerine geçmesiyle oluşur. Silikatların çoğu kil mineralleri oluşturmak üzere su ile tepkimeye girerler.
Çözelti Oluşumu (Leaching)	Bazı minerallerin iyonlaşarak taşınması ve başka bir yerde çökmesidir. Örneğin Ca, Mg, Na ve K hareket halindeki su içerisinde kolaylıkla iyonlaşabilir. İyonlaşmaya karşı Fe daha dirençli, Si çok daha dirençli ve Al'un iyonlaşarak çökmesi neredeyse imkansızdır.
Katyon Değişimi	Bir eriyik içindeki pozitif yüklü katyonların negatif yüklü kilin yüzeyine yapışması ile oluşur. Bu katyonlar genellikle Ca, H. K ve Mg'dir.
Karbonatlaşma	Bir mineral ile karbonat ve bikarbonat iyonlarındaki tepkimedir. Karbonatların oluşması bozunmaya yatkın bir mineralin oluşması açısından bir aşamadır.

Çizelge 4. Bozunmanın Hızını ve Derecesini Etkileyen Faktörler, (Fookes vd., 1971; Beavis, 1985).

Çevresel Faktörler	-Temel malzeme
	-Zaman
	-İklim
	-Sıcaklık
	-Hidrolojik koşullar
	-Biyolojik koşullar
	-Topografya
Kaya Malzemesi Özellikleri	-Mineraloji ve mineralojik bileşimi
	-Kil minerallerinin yüzdeleri
	-Geçirgenlik ve taneler arası kohezyon
	-Bozunmanın derecesi
Kaya Kütlesi Özellikleri	-Eklem takımları ve oluşumları
	-Homojenlik
	- Çatlak ve süreksizlikler arası açıklık

Yerüstü çalışmalarını etkilemesi açısından farklı iklim koşullarında bozunma hızı ve oranları farklı şekilde meydana gelebilir. Örneğin, nemli ve sıcak iklimin hakim olduğu bölgelerde veya mevsimlerde bozunmaya neden olan kimyasal tepkimelerin hızları artar. Bunun aksine soğuk bölgelerde daha az kimyasal bozunma oluşmasına rağmen donma kuvveti ve buz hareketleri mekanik parçalanmayı artırır. Çok sıcak ve kuru bölgelerde kimyasal bozunma pek görülmez; bu bölgelerde fiziksel parçalanma başlıca bozunma nedenidir.

5. MİNERALLERİN BOZUNMA ÖZELLİKLERİ

Bozunma sonucunda meydana gelen mineralojik değişiklikler birçok araştırmacı tarafından detaylı olarak çalışılmıştır, (Oilier, 1969; Carrol, 1970; Velde ve Meunier, 1989; Dobereiner ve Porto 1993). Genel bir ifadeyle, minerallerin bozunması olayı sebep-sonuç ve etkilenme derecesi gibi özellikler doğrultusunda tanımlanabilir.

Oilier (1969) minerallerin bozunması olayına tamamıyla kimyasal açıdan

bakılmaması gerektiğini ve aynı bileşime sahip minerallerin farklı oranlarda bozunmaya maruz kalabildiklerini belirtmiştir. Bu nedenle, kimyasal bileşimin tek başına bozunmanın göstergesi olamayacağı anlaşılmaktadır. Minerallerin bozunma özelliklerindeki farklılıklar yapı, bileşim ve az da olsa çevresel etkilere bağlıdır. Çizelge 5 'de minerallerin bozunma özelliklerine etki eden faktörler toplu halde özetlenmiştir. Kayaçları oluşturan mineraller işlevleri açısından, kayacı oluşturan ana mineraller ve bağlayıcı mineraller olarak iki gruba ayrılabilirler. Bozunma sonucunda kayacı oluşturan ana mineraller bağlayıcı minerallere dönüşürler ve bozunmanın devam etmesi ile bağlayıcı minerallerin işlevlerini yerine getirememeleri sonucunda daha ileri derecede bozunma meydana gelir, (Oilier, 1969).

Çizelge 6'da ana ve bağlayıcı fonksiyonlara sahip değişik minerallerin bozunma özellikleri özet halinde verilmiştir. Burada verilen sıralama minerallerin bulunduğu ortama, iç yapılarına, bileşimlerine ve tane boyutuna bağlı olarak değişim gösterir.

Çizelge 5. Minerallerin Bozunma Özelliklerine Etki Eden Faktörler.

Kristal Büyüklüğü	Minerallerin bozunabilirliği mineral büyüklüğü ile ters orantılıdır. Büyük kristaller küçük kristallere oranla daha zor bozunurlar.
Kristal Şekli	Yayvan kristaller, topak olanlardan daha fazla bozunurluluk özelliğine sahiptirler.
Kristalin Mükemmelliği	Kusursuz kristaller, kusurlu olanlardan daha az bozunurlar.
Kristallerarası Yapı	Bozunma etkenlerinin mineraller arasına girişi ve bozunmuş kristallerin yapıdan kolaylıkla ayrılabilir olması bozunma özelliğini artırıcı etkiye sahiptir.

Çizelge 6. Bazı Minerallerin Bozunma Özellikleri, (Oilier, 1969).

Birincil Mineraller	1-Jips 2-Kalsit 3-Olivin 4-Biyotit 5-Albit	} çözünebilir mineraller } kolay ve hızlı bozunmaya uğrayan mineraller
İkincil Mineraller	6-Kuvars 7-İllit 8-Mika 9-Montmorillonit 10-Kaolinit 11-Jipsit 12-Hematit 13-Anatas	} Yavaş bozunmaya uğrayan mineraller } Oldukça yavaş bozunmaya uğrayan mineraller

6. KAYAÇLARIN BOZUNMA ÖZELLİKLERİ

Değişik minerallerin bir araya gelmesi sonucu oluşan kayaçların bozunmadan etkilenme oranları mineral bileşimlerinin toplam bozunma özelliklerinden çok daha karmaşıktır. Kayaçlarda oluşan bozunma, içerdikleri mineral çeşitleri ve özellikleri ile birlikte, kayacın gözeneklilik ve geçirgenliğine de önemli ölçüde bağlıdır. Örneğin, bazı sedimanter kayaçlarda gözenekler çok fazla olduğu için bütün taneler bozunmadan etkilenirler. Diğer taraftan, bazı masif mağmatik ve volkanik kayaçlarda taneler arası boşluk az olduğundan bozunma sadece kayaç yüzeyi ve çatlak ve eklem düzlemleri boyunca meydana gelir.

6.1. Kayaların Bozunabilirliğinin Belirlenmesi

Bozunabilirlik, belirli bir süre içerisinde oluşan bozunma miktarının ölçümü olarak tanımlanabilir. Örneğin bir yeraltı açıklığını çevreleyen kaya kütlesi zamanla kaya kütlesi dayanımının azalmasına neden olarak bozunmaya uğrar. Söz konusu bozunma derecesi ve oranının doğru olarak belirlenmesi, yapılan kazı ve tahkimat tasarımının geçerliliği açısından son derece önemlidir.

Bozunma veya bozunmaya karşı direnç oranlarının belirlenmesi amacıyla çalışmalar ve deneyler yapılmış olmasına rağmen pek tatmin edici sonuçlar elde edilememiştir. Çünkü doğada bozunma üzerine etki eden bütün faktörlerin modellenemediği bir deney yöntemi henüz bulunamamıştır, (Beavis 1985). Bozunma derecesinin belirlenebilmesi amacıyla ilk olarak donma-çözülme deneyi kullanılmıştır, (Bell 1983). Daha sonra kayaların nemlilik ve kurumaya karşı direncini ölçmeye yarayan bir deney olan, suda dağılmaya karşı dayanıklılık (slacc durability), deneyi önerilmiştir, (Franklin ve Chandra, 1972). Ancak, bu deney de bozunmayı tek başına karakterize edecek özellikte bulunmamış, sadece kaya bozunulabilirlik sınıflandırmasında yararlı olabileceği belirtilmiştir. Suda dağılmaya karşı dayanıklılık testi sadece mekanik parçalanma özelliklerinin belirlenmesine yönelik olup diğer bozunma özellikleri konusunda bir belirleyiciliği bulunmamaktadır, (Bell, 1983; Beavis, 1985).

Franklin ve Chandra (1972) suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi, bozunma oranı ve şev açısı arasında bir bağlantı kurulması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Olivier (1979) tek eksenli

basma dayanımı ve şişme katsayısı parametrelerine dayanarak kayaçların duraylılığına yönelik çalışmalar yapmıştır.

7. BOZUNMA SINIFLANDIRMALARI

Kaya mühendisliğinde genel anlamda kullanılmak üzere henüz evrensel bir kaya kütlesi sınıflandırma sistemi oluşturulamamıştır. Günümüze kadar geliştirilen kaya kütlesi sınıflandırma sistemleri tünel tasarımı veya şev duraylılığı gibi özel mühendislik tasarımlarında kullanılmışlardır. Kayaların bozunma özellikleri kaya mühendisliğinde kendi içinde bir sınıflandırma oluşturması ile birlikte diğer kaya kütlesi ve kaya malzemesi sınıflandırmalarında da mutlaka göz önünde bulundurulması gereken özel bir parametre olarak düşünülmelidir.

Günümüze kadar kaya kütlesi ve kaya malzemesinin bozunması ile ilgili özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmıştır (Illiev, 1967; Martin ve Millar, 1974; Dearman, 1976; İrfan ve Dearman, 1978; Bell, 1983; Beavis, 1985; Bacciarelli, 1993; Waltham, 1994). Sınıflandırma sistemleri aşağıda kısaca özetlenen sınıflandırma programındaki kriterlere göre yapılmıştır. Diğer bir deyişle, farklılıkların belirlenmesi amaçlanmıştır. Örneğin, Illiev (1967) kayaç içindeki ses yayılım hızı indeksini kullanarak farklı bozunma derecelerini karakterize edebilmiştir.

Richards (1972) bozunmaya uğramış kayaçların sınıflandırılmasına yönelik bir program oluşturmuştur. Söz konusu sınıflandırma programı aşağıda özetlenmiştir.

1. Bozunma profilinin sınırlarına göre sınıflandırma,
2. Bozunma derecesine göre sınıflandırma,

3. Sadece mutlak dayanım değerlerine (tek eksenli basma, tek, eksenli çekme dayanımları ve nokta yükü dayanımı indeksi) bağlı sınıflandırma,
4. Sayısal bozunma endekslerine dayanan sınıflandırma,

Beavis (1985) mühendislik amaçlarına yönelik olarak yapılacak olan bozunma sınıflaması sistemlerinde aşağıda belirtilen kriterlerin mutlaka bulunması gerektiğini belirtmiştir.

1. Dokusunu ve rengini de açıklayacak şekilde kayacın tanımlanması,
2. Tek eksenli basma dayanımı ve özellikle nokta yükü dayanımı,
3. - Süreksizlik aralığı indeksi,
4. Kaya kalitesi göstergesi (RQD),
5. Kaya-zemin oranı,
6. Elastisite özellikleri,
7. Gözeneklilik miktarı,
8. Mikro indeksler
 - a) mikro petrografik indeks
 - b) mikro kırık indeksi

Önerilen bozunma sınıflandırma sistemlerine örnek olarak Çizelge 7'de İrfan ve Dearman'ın (1978) geliştirdiği yöntem verilebilir. Bu yöntemde kaya, bozunmamış taze kaya ile zemin arasında 6 kategoriye ayrılmıştır.

Kaya kütesinin maruz kalmış olduğu bozunmanın derinliğinin saptanması işlemi oldukça önemlidir. Jeofizik yöntemler bozunma derinliğinin saptanmasında ve kaya kütesinin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ekonomik yöntemlerdir. Çizelge 8'de kaya kütlesi bozunma derecesi ile sismik hızlar arasındaki ilişkiler verilmektedir. Sismik yöntemler ile kaya kütlesi içindeki bozunmuş kaya kütlesi derinliği belirlendikten sonra yapılan sondajlarla bulunan sonuçların doğru olduğu anlaşılmıştır, (Forth ve Platt-Higgins, 1981).

Price (1993) tarafından kayaların bozunma derecelerini sayısal olarak açıklayan bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem, özellikle, yerüstünde bulunan kaya kütlelerinin bozunma derecelerini sayısal olarak açıklamaktadır. Madencilik faaliyetleri sırasında yeraltı veya yerüstü

kazısının yapılmış olduğu kaya kütlelerinin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak bozunmasının kaya mühendisliği açısından büyük önemi olmasına rağmen. Price (1993) tarafından önerilen sayısal bozunma sınıflaması ile açıklanması mümkün değildir.

Çizelge 8. Bozunma Derecesi İle Sismik Hız Arasındaki İlişki, (Forth ve Platt-Higgins, 1981).

Sismik Hız (km/sn)	Bozunma Durumu	Bozunma Derecesi
0.3-1.0	Zemin	VI, V
1.0 - 2.2	İleri derecede bozunmuş kayaç	IV
2.2 - 3.0	Orta derecede bozunmuş kayaç	III
>=3.0	Hafif derece bozunmuş kayaç ve taze kayaç	II, I

8. BOZUNMANIN KAYALARIN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Bozunmanın kayaların jeomekanik özelliklerine olan etkilerinin incelenmesi için sistematik verilere ihtiyaç vardır. Şekil 3'de değişik tür kayaların bozunma dereceleri ile bazı jeomekanik özellikleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak sunulmaktadır. Bozunmanın etkilerinin boyutlarını belirlemede kullanılan veriler, kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde bozunma derecesine bağlı olarak meydana gelen değişimlerdir, (Douglas, 1980; Beavis, 1985; Coulthard ve Bell, 1993; Waltham, 1994). Kayaların jeomekanik Özellikleri ile bozunma dereceleri hakkındaki bu bilgiler aşağıda sunulmuştur;

- (a) Tek Eksenli Basma Dayanımı: Bozunma ile kaya malzemesinin tek eksenli basma dayanımı düşer. Kaya kütlelerinin tek eksenli basma dayanımı kaya malzemesine oranla daha fazla azalır.
- (b) Çekme Dayanımı: Kayaların çekme dayanımı bozunma derecesine bağlı olarak azalır. Ancak çekme dayanımındaki azalma tek eksenli

basma dayanımındaki azalma kadar önemli değildir.

- (c) Elastisite Modülü: Kırıkların artması ve gevrek minerallerin yumuşaması gibi nedenlerden dolayı kayaların bozunma derecesine bağlı olarak elastisite modülleri azalır.
- (d) Poisson Oranı: Günümüze kadar yapılmış olan çalışmalar neticesinde Poisson Oranı'nın, bozunma derecesine ve kaya türüne bağlı olarak bazen arttığı, bazen de azaldığı gözlenmiştir.
- (e) Nem İçeriği, Gözeneklilik ve Yoğunluk: Bozunma süreci ve derecesi ile kayaların nem içeriğinin artması ve yoğunluğunun da azalması doğrultusunda genel bir eğilim vardır. Yoğunluk ve nem içeriğindeki değişiklikler, gözeneklilikteki artışın sonucu olarak meydana gelmektedir. Gözenekliliğin kayacın bozunmasında çok büyük bir etkisi vardır (Onoderavd., 1974).
- (f) Geçirgenlik: Kayaların bozunması sonucu gözeneklilikteki artış aynı zamanda kaya geçirgenliğinin de artmasına neden olur. Ancak, kayaların ileri derecede bozunmaları sonucunda gözeneklerin tıkanması ile, özellikle bozunma sonucu ortaya çıkan düşük geçirimliliğe sahip kil

minerallerinin varlığından dolayı, geçirgenlikte bir azalma görülebilir.

Kayaların jeomekanik özelliklerinde bozunma sonucunda meydana gelen değişimler Çizelge 9'da sayısal olarak verilmiştir.

Çizelge 9'daki veriler dikkatle incelendiğinde bozunma sonucunda kayaların orjinal özelliklerinin büyük bir bölümünü kaybederek fiziksel ve mekanik açıdan adeta bambaşka bir kaya veya zemin olarak karşımıza çıktıklarını görmekteyiz.

9. KAYA BOZUNMASININ MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI AÇISINDAN ETKİLERİNİN

Çizelge 9. Bozunma Sonucunda Bazı Kayalarda Ölçülen Jeomekanik Özelliklerdeki Değişimler.

Kaya Türü	Jeomekanik Özellik	I	II	III	IV	V
* Granit	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	250	150	5-100	2-15	-
* Kumlası	"	30	15	5	2	< 1
** Granit	"	282	250	123	58	11
** Kumlası	"	69	58	47	33	-
**** Andezit	"	128	68	53	17	-
**** Andezit	"	150	100	37	26	-
**** Andezit	"	65	51	35	13	-
**** Andezit	"	122	99	60	15	-
** Kumlası	Çekme dayanımı (MPa)	8.36	6.48	4.27	3.11	-
** Granit	Elastisite Modülü (GPa)	69.5	45	22.8	12.7	1.5
** Kumlası	"	24.6	18.9	10.7	9.2	-
**** Andezit	"	45.1	28.1	23.5	9.3	-
** Granit	Poisson Oranı	0.25	0.19	0.19	0.27	-
** Kumtaş	"	0.13	0.18	0.23	0.23	-
** Granit	Gözeneklilik (%)	0.27	2.78	3.78	9.60	20.2
*** Grovak	"	< 9	7-13	9-20	17-25	> 23
** Granit	Yoğunluk (kg/cm ³)	2.61	2.58	2.56	• 2.43	2.23
**** Andezit	"	2.41	2.34	2.27	2.16	-
** Granit	Doymuş, nem içeriği (%)	0.11	1.09	1.52	4.13	10.02
**** Andezit	"	1.93	4.88	7.67	11.29	-
** Granit	Geçirgenlik (cm/s)	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	-	-	10 ⁻⁴

Waltham (1994)

** • Beavis (1985)

*** Martin and Millar (1974)

**** Paşamehmetoğlu, Karpuz and İrfan (1981)

İNCELENMESİ

Kaya mühendisliği uygulamaları açısından, kayaların bozunma özelliklerinin ve derecelerinin çok önemli etkileri vardır. Temel kazısı, tüneller, şev duraylılığı ve yapı malzemeleri üretilmesi işlemlerinde kaya malzemesinin ve kaya kütlelerinin bozunma özellikleri tasarım ve yapı aşamasını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle kaya mühendisliği uygulamaları öncesinde söz konusu arazideki jeolojik birimlerin bozunma karakteristikleri mutlaka belirlenmelidir.

9.1. Kayaların Bozunma Özelliklerinin Baraj Temellerine Etkisi

Barajlar beton, kemer ve dolgu barajlar olmak üzere üç ayrı grup halinde

değerlendirilebilirler. Beton barajların temellerinin çok az bozunmaya uğramış veya taze kaya olması tercih edilir. Bununla birlikte, kemer türü barajlarda hem kaya malzemesi hem de kaya kütlelerinin mutlaka hiç bozunmaya uğramamış olması gereklidir. Dolgu türü barajlar orta derecede bozunmuş kaya kütleleri üzerine inşa edilebilirler. Dolgu malzemesinin mekanik ve özellikle bozunma karakteristikleri daha sonra yapılabilecek olan beton enjeksiyonu işleminin verimli bir şekilde yapılabilmesi açısından oldukça önemlidir.

Barajlarda bozunmanın neden olduğu bazı problemler ortaya çıkabilir. Bu problemlerden en önemlisi tabakalar arasında bozunma sonucunda yapraklanma oluşmasıdır. Yapraklanma sonucunda su sızıntıları meydana gelmesi, hem barajdan su kaybına neden olması hem de sızıntının önlenmesi için beton enjeksiyonu yapılması açısından ek maliyetler getirmesi söz konusudur. Kireçtaşı üzerine inşa edilen veya kireçtaşının dolgu malzemesi olarak kullanıldığı barajlarda, kireçtaşının bozunma aşamasında yüksek oranlarda çözünürlük özelliğe sahip olması problemleri durumlar yaratabilmektedir. Ülkemizde, Atatürk Barajı'nda dolgu malzemesi olarak kireçtaşının kullanılması sonucunda barajdan su kayıpları olduğu gözlenmiştir, (Brenner ve Straubhaar, 1993).

9.2. Kayaların Bozunma Özelliklerinin Yeraltı Kazılarına Etkisi

Madencilik veya madencilik dışı faaliyetler sonucunda yeraltında açıklıklar oluşturulur. Madencilik faaliyetleri sonucunda oluşturulan yeraltı boşluklarının ömrü madencilik dışı faaliyetlerdeki kazılara (tünel vb.) oranla daha kısadır. Kayaların bozunmasının zamana bağlı bir değişken olması dolayısıyla, kayanın bozunma derecesinin belirlenmesinde bozunmaya maruz kalman sürenin ve

bozunmaya neden olan diğer faktörlerin önemi büyüktür.

Tünelcilik faaliyetlerinde çoğunlukla birlikte kullanılan kaya saplaması ve püskürtme beton tahkimat sisteminin kullanılması ile bozunmanın oluşması engellenebilmektedir. Ancak açıldığı anda tahkimat gerektirmeyen veya çok az tahkimat gerektiren sağlam kaya içerisinde kazı yapılması veya tünel açılması durumunda, kaya malzemesi ile kaya kütlelerinin bozunma özelliklerinin çok iyi etüd edilmesi gerekmektedir.

Yeraltı elektrik santrallerinin inşa edilmesi sırasında kazının mutlaka bozunmaya uğramamış ve bozunmaya karşı dirençli olan kaya kütleleri içerisinde açılması gerekmektedir.

Madencilik faaliyetleri sırasında açılan galeri ve yollara ait yan kayacın bozunma özelliklerinin iyi bir biçimde saplanması ile tahkimat tasarımı daha doğru bir şekilde yapılabilir. Eğer kayanın bozunma özellikleri dikkate alınmaz ise uygulanan tahkimat sistemi kayacın bozunma sürecine bağlı olarak işlev göremez hale gelecek ve yeraltı boşluğunun fonksiyonunu yerine getirebilmesi için mutlaka tamir tarama işlemine tabi tutulması gerekecektir. Bu durum ek bir maliyeti ifade etmesi dolayısıyla çalışma ekonomisine doğrudan yansıtacaktır.

9.3. Kayaların Bozunma Özelliklerinin Şev Duraylılığına Etkisi

Açık ocak ve diğer amaçlı kazı şevlerinde kaya bozunmasına bağlı olarak şev duraysızlığı riski de yükselmektedir. Kayanın bozunması sonucunda kırık ve çatlakların artması, süreksizlik yüzeyleri arasındaki mesafenin açılması gözlenir. Süreksizliklerin açıklıklarının artması ile bu düzlemlerin makaslama dayanımını düşüren bir etkiye sahip olan suyun süreksizlik düzlemleri arasına girmesi

sonucunda, şev uygulanan gerilme miktarlarında doğal olarak bir artış olacaktır. Bozunma sonucu zemin özelliğine yakın özelliklere sahip bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Zeminin de kaymaya karşı kayalardan daha yatkın bir malzeme olduğu bilinen bir gerçektir, (Durgin, 1977; Sancia ve Brown, 1980).

Şev tasarımı sırasında kayanın bozunma özelliklerinin, doğru bir şekilde tespit edilerek değerlendirilmemesi sonucunda tasarlanan şevlere ait emniyet faktörleri bir süre sonra yeterli gelmeyecek ve şev duraysızlığı kaçınılmaz bir olay olarak ortaya çıkabilecektir.

9.4. Kayaların Bozunma Özelliklerinin Yapı Malzemelerine Etkisi

Bozunmanın yapı malzemelerine etkisi hem yararlı, hem de zararlı yönlerde olabilir. Kayaların bozunmuş olması sayesinde dolgu yapı malzemeleri oluşmaktadır. Yeteri kadar bozunarak zemin haline gelmiş olan bir malzeme dolgu işlemlerinde kullanılabilir. Zemin haline gelmiş bir malzemenin daha fazla bozunması az miktarda gerçekleşecektir. Şeyi, kireçtaşı, kumtaşı ve kıltaşı gibi bozunma özelliği yüksek olan kayaların tam olarak bozunmadan dolgu malzemesi olarak kullanılması her zaman mümkün olmayabilir ve kaymalar ve çökmeler meydana gelebilir.

Beton yapımında kullanılacak olan kum ve çakılın bozunma özelliklerinin çok az olması ve kullanıldıkları anda taze kaya özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir. Şişme özelliğine sahip kil minerallerinin beton yapımında kullanılması sonucunda, şişme nedeniyle duraysızlık problemi görülebilir. Ayrıca, bozunmaya uğramış parçacıklar betonun bağlayıcı özelliğini zayıflatarak dayanımının düşmesine neden olurlar.

10. SONUÇ

Minerallerin ve kayaların bozunma özelliklerinin jeoloji mühendisliği disiplini altında incelenmesi yaklaşık 60 yıllık bir geçmişe sahiptir. Ancak, kaya mühendisliği uygulamalarında kayaların bozunma özellikleri, baraj temelleri gibi çok kritik olan durumlar dışında, tasarım yapıldıktan sonra dikkate alınan veya hiç alınmayan bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Aslında, kaya malzemesi ve kütlelerinin bozunma özelliklerini saptamak ve tasarım sırasında mutlaka göz önünde bulundurmak projenin ileride başarıya ulaşması için bir ön koşul olarak değerlendirilmelidir.

Bieniawski (1973; 1989) tarafından geliştirilen Kaya Kütleli Sınıflaması (RMR) ve Barton vd. (1974) tarafından geliştirilen ve daha sonra Barton ve Grimstad (1994) tarafından modifiye edilen Tünelcilik Kalite İndeksi (Q), günümüzde kaya mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan sınıflama yöntemleridir. Her iki yöntemde de aslında kayanın bozunma derecesini temsil eden parametreler dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte, her iki kaya sınıflandırma yöntemi de yeni yapılan bir kazı sonrasında açığa çıkan kaya kütleli özelliklerinde bir süre sonra bozunma sonucu olması beklenen değişiklikleri tahmin etmekten uzaktır. Bu nedenle, kazı çevresinin püskürtme beton ile izole edilmediği durumlarda, özellikle kıltaşı ve marn gibi kayalar içinde gerçekleştirilen yerüstü ve yeraltı kazılarında, yapılan ilk tasarımın doğru olmasına rağmen zamanla büyük oranlarda duraysızlık problemleri ile karşılaşılabilir.

Kaya mühendisliği açısından kaya malzemesi ve kütlelerinin bozunmuşluk derecesinin belirlenmesinden çok, belirli bir süre içinde değişik dış etkenler nedeniyle kaya kütleli bozunma potansiyelinin belirlenmesi büyük önem taşır. Günümüze kadar geliştirilmiş olan

Çizelge 7. Kayaların Bozunma Derecesine Göre Sınıflandırılması, (İrfan ve Dearman,1978)

Bozunma Sınıfı	Derecesi	Kaya Kütleli ve Kaya Malzemesinin Tanımı	İndeks Özellikler			
			Dayanım	RQD (%)	Kaya / Zemin oranı (% Kaya)	Gözeneklilik
Taze kaya	I	Görünür herhangi bir bozunma yok	Çok yüksek	90 - 100	95 - 100	
Hafif Derecede Bozunmuş Kaya	II	Dış ve çatlak yüzeylerinde renk değişikliği	İli den İlii ye kadar. çok yüksekten taze kayanın dayanımının % 50-60'ına kadar.	75- 90	90 - 95	Taze kayaya göre %5 artış
a) Yer yer renk değişikliği	II i	Sadece çatlak yüzeylerinde renk değişikliği				
b) Tamamen renk değişikliği	II ii	Genel hacmin %50'sinde renk değişikliği				
Orta Derecede Bozunmuş Kayaç	III	Kayacın %50'sinden daha azı çatlaklı ve kırılmış. Kırılmış malzeme bir miktar kohezyona sahip. Sondaj karotlarında zayıflama ve renk değişikliği.	Taze kaya dayanımının %30'u kadar	40 - 75	60 - 90	Taze kayaya göre % 7 artış
İleri Derecede Bozunmuş Kayaç	IV	Kayacın %50 sinden daha azı çatlaklı ve kırılmış. Kırılmış malzeme bir miktar kohezyona sahip. Sondaj karotlarında zayıflama ve renk değişikliği.	Taze kaya dayanımının % 15'i kadar	10-40	30-60	Taze kayaya göre % 10 artış
Tamamen Bozunmuş Kaya	V	Tamamen çatlaklı ve kırılan az miktarda kohezyona sahip. Ayrılmış zemin orijinal kaya kütlelerinin yapısına hala sahip.	Çok düşük	0 - 10	0 - 30	Taze kayaya göre % 20 artış
Bozunma Sonucu Oluşan Toprak	VI	Orjinal kaya kütleli yapısından tamamen farklı malzeme	Çok düşük	0	0	Taze kayaya göre > % 20 artış

bozunma sınıflama sistemleri jeolojik bir yaklaşımla kayaların bozunmuşluk derecesini belirlemeyi amaçlamışlardır. Ancak, mühendislik uygulamaları açısından kaya malzemesi ve özellikle kaya kütlelerinin bozunma potansiyeli daha önemlidir. Bozunma potansiyelinin doğru bir biçimde belirlenmesi ve kaya kütlelerinin bozunma potansiyeli daha güvenilir kazı ve tahkimat tasarımlarının yapılması mümkün olacaktır. Bu nedenle, özellikle kaya kütlelerine ait bozunma özelliklerinin ve potansiyelinin rasyonel olarak belirlenmesinde kullanılacak olan bir bozunma potansiyeli sınıflaması sisteminin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Kaya mekaniği ve mühendisliği henüz çok yeni ve ileride büyük aşamalar kaydetmesi beklenen bir bilim dalıdır. Kaya mühendisliğinde konu olan malzeme kayalardır ve özellikleri çok değişkendir. Bu nedenle, gelecekte mutlaka bütün bilgilerin yapay zeka veri bankası oluşturacak olan uzman sistemlerle değerlendirilmesi yoluna ve kaya mühendisinin insiyatifini daha sağlıklı bir şekilde kullanabileceği sayısal çözümlere gidilmesinde yarar vardır.

KAYNAKLAR

BACCIARELLI, R., 1993 ; "A Revised Weathering Classification for Mercia Mudstone (Keuper Marl)", The Engineering Geology of Weak Rock, A.A. Balkema, pp. 169- 174.

BARTON N., LIEN R. and LUNDE J., 1974; "Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support", Rock Mechanics, 6, pp. 189-236.

BARTON N. and GRIMSTAD . E., 1994; "The Q-System Following Twenty Years of Application in NMT Support Selection ", 43rd Geomechanics Colloquy, October, Salzburg, Austria, pp. 1-16.

BEA VIS F.C., 1985; "Engineering Geology", Blackwell Publications. £L££ (p P

BELL F.G., 1983; "Engineering Properties of Soils' and Rocks", 2nd Edition Butterworths.

BIENIAWSKI Z.T., 1989; "Engineering Rock Mass Classification", McGraw Hill. New York, 237 p.

BLYTH F.G. and FREITHER, 1987; " A Geology for Engineers". Arnold, London, 325 pp.

BRENNER R.P. and STRAUBHAAR R., 1993; "The Use of a Platcy. Marly Limestone in an Embankment Dam". The Engineering Geology of Weak Rock, A.A. Balkema, pp. 175-182.

CHANDLER R.J., 1972 ; "Lias Clay :Weathering Processes and Their Effects on Shear Strength ". Geotechnique. 22 pp 403-431.

COULTHARD J.M, and BELL F.G., 1993; "The Influence of Weathering on the Engineering Behavior of Lower Lias Clay". The Engineering Geology of Weak Rock, A.A. Balkema, pp. 183-192.

DEARMAN W.R., 1976; "Weathering Classification in the Characterization of Rock; A Revision ", Bull Int. Assoc. Eng. Geology, 13, pp. 123-138.

DOBEREINER L. and PORTO C.G., 1993; "Consideration on the Weathering of Gneissic Rock ", The Eng. Geology of Weak Rock, A.A. Balkema, pp. 193-205.

DOUGLAS D.J., 1980; "Modulus Values for Weathered Rock From Plate Load Tests." IntConl". on Structural Foundations on Rock, Sydney, pp .17-22.

DURGIN P.B. 1977; "Landslides and the Weathering of Granitic Rocks". Geology

MADENCİLİK/EYLÜL 1995

Society of America, Reviews in Engineering Geology, Vol III, pp. 127-131.

FOOKES P.G., DEARMAN W.R. and FRANKLIN J. A. 1971 ; " Some Engineering Aspects of Rock Weathering". Quar. J. Eng. Geology, 4, pp. 139-185.

FORTH R.A. and PLATT-HIGGINS P.M., 1981; "Methods of Investigations of Weathered Rocks" Proc. of The Int. Symp. on Weak Rock " , Tokyo, pp. 519-526.

FRANKLIN J.A. and CHANDRA R., 1972; "The Slake Durability Test", Int. Journal of Rock Mech. Min. Sci., pp. 325- 341

ILLIEV, G.I., 1967; "An Attempt to Estimate the Degree of Weathering of Intrusive Rocks From Their Physico-Mechanical Properties.", ISRM, 1st Rock Mechanics Congress,

İRİFAN T.Y. and DEARMAN W.R., 1978 ; "Engineering Classification and Index Properties of a Weathered Granite", Bulletin of the Int. Assoc. of Engineering Geology, 17, pp. 79-90

JOHNSON R.B. and DEGRAFF J.V. 1988; "Principles of Engineering Geology" John Willey&Sons.

MARTIN G.R. and MILLAR P.J.,1974; "Joint Strength Characteristics of a Weathered Rock ". Proc. of 3rd Cong. of ISRM, Denver, USA, pp. 263-270.

OLIVIER H.J. 1979; "A New Engineering Geological Rock Durability Classification". Eng. Geology., 14, pp 255-279

OLLIER CD., 1969; "Weathering" Oliver & Boyd Edinburgh.

ONODERA T.F., YOSHINAKA R. and ODA M., 1974; "Weathering and Its

Relation to Mechanical Properties of Granite ", Proc. 3rd Congress of ISRM , Denver, USA, pp. 71-78.

PAŞAMEHMETOĞLU A.G., KARPUZ C, and İRFAN T.Y. 1981; "The Weathering Characteristics of Ankara Andésites", Proc. of the Int. Symp. on Weak Rock , Tokyo, pp. 185-190.

PERRY H.R.. 1986 ; "Engineering Geology; An Environmental Approach". Elsevier.

RICHARDS L.R., 1972; "Classification of Weathering of Near Surface Jointed Rock". PhD Thesis, Royal School of Mines. Imperial College, London , England, 165 p-

SANCIO R.T. and BROWN I., 1980; "A Classification of Weathered Foliated Rocks for Use in Slope Stability Problems", 3rd Australia-New Zealand Conf. on Geomechanics. Vol 2., Wellington , New Zealand, pp. 2.81-2.86

VELD, B.S. and MEURNIER. A., 1989; "Petrologic Phase Equilibria in Natural Clay Systems", Mineralogical Society Monograph No: 6, pp. 423-458.

WALTHAM A.C. 1994; "Foundation of Engineering Geology", Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall, 88 p.

CAN ŞİRKETLER GRUBU

CAN HAFRİYAT - MÜNİP ÇÖKER

CAN MADENCİLİK AŞ.

CANTOS MADENCİLİK AŞ.

CANKEMİG TAŞIMACILIK AŞ.

CAN PETROL AŞ.

CAN :: MERMER SAN. AŞ.

Gümüş Pala Mah. Zabit Sok. No : 1/1

34850 AVCILAR - İSTANBUL

Tel : 0.212.5931483- 5931875- 5933376- 5094541

Fax: 0.212.5932199