

# KÜRTÜN GRANODİYORİTİ'NDEKİ AYRIŞMIŞ KAYA MALZEMESİNİN SINIFLANDIRILMASINDA VE MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN TAHMİN EDİLMESİNDE ELASTİK DALGA HIZININ KULLANILMASI

**Şener CERYAN\*, Şule TÜDEŞ\*\*, Nurcihan CERYAN\*, Ali AYDIN\*\*\***

\*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

\*\*Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Teknikokullar/Ankara

\*\*\*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Kampus/Denizli

Geliş Tarihi : 23.03.2006

## ÖZET

Kürtün Baraj yeri ve göl alanında (Gümüşhane, KD Türkiye) ve Kürtün-Doğankent (Giresun, KD Türkiye) karayolunda ayrıışmış granitik malzemede çok sayıda heyelan gelişmiştir. Bu nedenle, Kürtün Granodiyoritinde kaya malzemesinin mühendislik özellikleri üzerindeki ayrıışmanın etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, söz konusu granitik kayalardaki ayrıışma nedeniyle oluşan mineralojik ve fiziksel değişimler boyuna dalga hızların kullanılarak tanımlanmıştır. Boyuna dalga hızlarına bağlı olarak tanımlanmış Mineralojik Değişim İndeksi ve Fiziksel Değişim İndeksleri seçilen ayrıışma profillerinden alınan örneklerin fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki ayrıışmanın etkilerini tahmin etmek için uygulanmıştır. Mekanik özelliklerin göreceli değişimi ile bu indeksler arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler vardır. Aynı zamanda, ayrıışmanın Kürtün granodiyoritindeki kaya malzemesinin mekanik davranışı üzerindeki etkisini değerlendirmek için örneğin katı kısmındaki boyuna dalga hız ile Ceryan (1999a) tarafından suda dağılım indeksi, Mineralojik Değişim İndeksi ve Fiziksel Değişim İndekslerine bağlı olarak tanımlanan Sayısal Ayrıışma indeksinin birlikte kullanılabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Ayrıışma indeksleri, Elastik dalga hızı, Kürtün granodiyoriti, Mühendislik özellikler.

## USING ELASTIC WAVE VELOCITY ON CLASSIFICATION WEATHERING ROCK MATERIALS AND PREDICTION OF ENGINEERING PROPERTIES IN KURTUN GRANODIORITE

## ABSTRACT

A great number of landslides occurred in weathered granites outcropped the area in which Kurtun Dams with reservoirs and Gümüşhane-Giresun highways pass trough. For this, weathering effect on the rock materials of the Kurtun granodiorite was investigated. In this study, both physical and mineralogical changes on the granitic materials due to weathering are described separately using P- wave velocity in rocks materials. Mineralogical Change Parameter and Physical Parameter defined based on P- wave velocity in rocks materials are applied on the samples from the selected weathering profiles, for the estimation of the effects of weathering on the physico-mechanical properties of rock materials. The relative variation of mechanical properties and these indices display a statistically significant correlation. Besides, it is shown that P wave velocity in the solid parts of the samples. and Quantitative Weathering index originally defined Ceryan (1999a) as based on slake-durability index, Mineralogical Change Parameter and Physical Parameter can be used together to evaluate the effect of weathering on the mechanical behavior of rocks material from Kürtün granodiorite.

**Key Words:** Weathering indices, Elastic wave velocity, Kürtün granodiorite, Engineering properties.

## 1. GİRİŞ

Kaya malzemesinin mühendislik davranışı, sadece gerilme durumu ve gerilmelerin gelişimine bağlı olmayıp aynı zamanda ayrışma kökenli değişimlere de bağlıdır. Ayrışma kayacın fiziksel değişimlerle (tane sınırlarının ve var olan mikro-kırıkların açılmasına, yeni mikro-kırıkların oluşmasına) ve mineralojik dolayısıyla kimyasal değişimlere (kayacı oluşturan minerallerin bozularak yeni mineral veya bileşenlerin oluşmasına) yol açmaktadır. Söz konusu değişimlerin sonucu kaya malzemesinin indeks özellikleri ve mühendislik davranışları da değişmektedir. Bu nedenle, kaya malzemesinin tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında, mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesinde ve ayrışma dereceleri ile mühendislik özellikleri arasında sayısal ilişkilerin kurulmasına izin veren sayısal ayrışma sınıflandırmalarının oluşturulmasında indeks özellikler sıkça kullanılmaktadır (Martin, 1986; Tuğrul, 1995; Ceryan 1999a; Gupta and Rao, 2001). Söz konusu amaçlar için literatürde sıkça kullanılan indeks özellikler; elastik dalga hızı, petrografik ve kimyasal indeksler, suda dayanım indeksi, kuru yoğunluk, çabuk su emme indeksi, toplam porozite ve efektif porozitedir (Martin 1986, Ceryan 1999a). Petrografik ve kimyasal indeksler için gerekli mineralojik ve kimyasal analizlerin yapılması için önemli miktarlarda zaman ve finansa ihtiyaç duyulmaktadır. Kuru yoğunluk, çabuk su emme indeksi, toplam porozite ve efektif porozitenin ölçüldüğü indeks deneyler kimyasal ve mineralojik analizlere göre daha hızlı ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, bu indeks değerlerin ayrışma süreçlerinin sonuçlandığı değişimleri (fiziksel, mineralojik ve kimyasal değişimleri) tek başlarına ifade edemeyecekleri ve bunların değişimlerinde ayrışma dışında başka faktörlerde etkili olabileceği söylenebilir (Ceryan 1999b).

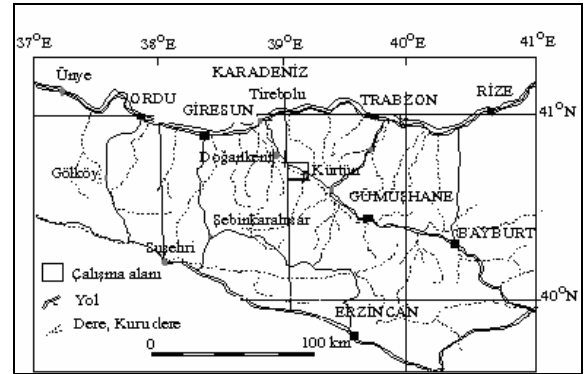
Sayısal ölçeklerin oluşturulması için fiziksel ve mineralojik değişimlerin aynı indeks özelliklerle tanımlanması, ölçülmesi ve ölçümler sırasında örneğin örselenmemesi tercih edilir. Elastik dalga hızı kullanılarak ayrışmayla oluşan bu değişimler kolaylıkla ölçülebilir (Ceryan 1999a; Ceryan199b). Kaya malzemesinde elastik dalga hızının ölçülmesi için üzgün geometrik şekil (küp veya silindirik şekilli) örnekler ihtiyacı duyulmamakta, iki yüzü paralel olan örneklerde yapılabilen ölçüm ayrıca ölçüm sırasında örnek örselenmemektedir. Bu nedenlerle ayrışmış kayaların değerlendirilmesinde en çok kullanılan indeks deneylerden biride elastik dalga hızı ölçümleridir (İllev, 1967; Dearman and İrfan, 1978; Türk and Dearman, 1987; Lee, 1987;

Guolin and Yushan, 1990; Doberreiner et al., 1993; Zhao et al., 1994; Kılıç, 1995; Kılıç, 1999; Ceryan 1999a, b; Ceryan et al. 2003; Ceryan and Şen, 2003).

Bu çalışmada, örnekleme yapıldığı ayrışma profillerinin üzerinde geliştiği Kürtün Granodiyoriti Kürtün Baraj yeri ve göl alanında ve ayrıca üzerinde çok sayıda önemli büyüklükte aktif ve potansiyel kütle hareketlerinin gözlemlendiği Kürtün (Gümüşhane) –Doğankent (Giresun) Karayolu boyunca yüzeyleşmektedir. Bu nedenle, söz konusu kaya malzemesinin mühendislik özelliklerinin ekonomik ve güvenilir olarak tahmin edilmesinde elastik dalga hızının kullanılabilirliği araştırılmıştır.

## 2. ÖRNEKLEME VE UYGULANAN DENEY VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

İncelenen ayrışmış kaya malzemesi örnekleri Kürtün (Gümüşhane)-Doğankent (Giresun) arasında yüzeylenen (Şekil 1) Kürtün Granodiyoriti'nde seçilen 3 ayrı ayrışma profilinden alınmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Bu çalışmada tanımlanan ayrışma indeksleri ve sayısal ayrışma ölçeği dokununun göçtüğü, kaya dokusunun tamamen kaybolduğu, ayrışma sırasında önemli hacim değişikliğinin olduğu kalıntı toprak zonundaki malzemede anlamlı sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle, ayrışma profillerindeki kalıntı toprak zonlarından örnekleme yapılmamıştır. Ayrışmış granitik malzemenin petrografik analizleri, indeks deneyler (elastik dalga hızı ölçümü, fiziksel özelliklerin belirlenmesi, suda dayanım indeksi deneyi) ve mekanik deneyler (dayanım ve deformasyon deneyleri) KTÜ Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. (Tablo 1 ve Tablo 2).

Tablo 1. Kürtün Granodiyoriti'nde Seçilen Üç Farklı Ayrışma Profillinden Alınan Örneklerin Fiziko-Mekanik Özellikleri.

Profil	Örnek	$\rho$	n	$n_e$	Id	$V_p$	$V_{pm}$	$\sigma_t$	$\sigma_c$	$E_t$	$E_s$
I	KR1a	2.678	1.32	0.72	98.9	4932	6193	20.7	195.6	37500	28986
	KR1b	2.638	1.94	1.23	97.2	4834	5467	12.2	121.5	20000	15600
	KR1c1	2.553	6.24	5.45	78.6	3645	4631	6.1	78.3	12821	8453
	KR1c2	2.561	5.59	5.15	82.3	3312	4409	4.1	53.7	11236	6598
	KR1d1	2.457	8.47	7.86	43.2	2495	3844	1.4	18.9	4000	2155
	KR1d2	2.375	10.5	10.24	55.6	2470	3810	1.2	17.4	-	1750
	KR1e1	2.312	16.1	16.03	15.7	2218	3588	-	7.1	-	-
II	KD1a	2.683	1.37	0.77	99.2	5318	6187	22.8	200.3	35443	23821
	KD2	2.648	2.45	1.77	98.5	4723	5400	14.2	135.8	21053	13451
	KD2B	2.634	2.09	1.41	97.8	4582	5527	13.2	143.4	17500	15989
	KD3A	2.544	5.81	5.07	72.1	3830	5115	5.6	70.6	11905	7268
	KD3B	2.512	7.1	5.42	69.8	3659	4848	4.7	62.2	13514	5875
	KD4A	2.456	13.3	12.58	38.4	2878	4381	2.6	33.6	6154	3096
	KD5	2.324	18.53	18.13	17.32	3002	3951	-	2.8	-	-
III	KST1	2.644	1.55	0.95	98.4	4878	6098	18.2	179.8	27119	21976
	KST2	2.571	3.6	2.48	97.1	4297	5129	8.9	99.3	20896	13119
	KST3	2.496	6.37	5.4	79.4	3624	4417	4.7	55.2	11628	7526
	KST4	2.408	11.45	10.98	39.1	2368	3677	1.3	10.9	5195	1313
	KST5A	2.315	15.54	15.31	13.2	2056	3185	-	4.6	-	-
	KST5B	2.332	16.33	16.16	16.1	2144	3244	-	6.1	-	-

( $\rho$ :Yoğunluk ( $gr/cm^3$ ); n: Toplam porozite (%),  $n_e$ : Efektif porozite (%), Id: Suda dayanım indeksi,  $V_p$ : Örneklerin kuru durumunda ölçülen boyuna dalga hızı (m/sn),  $V_{pm}$ : Boyuna dalganın örneklerin katı kısmındaki hızı (m/sn),  $\sigma_t$ : Çekme dayanımı (MPa),  $\sigma_c$ : Serbest basınç dayanımı (MPa),  $E_t$ : Tanjant elastisite modülü (MPa),  $E_s$ : Deformasyon Modülü (MPa))

Tablo 2. Kürtün Granodiyoriti'nde Seçilen Üç Farklı Ayrışma Profillinden Alınan Örneklerin Modal Bileşimi.

Profil	Örnek	Q	Or	Pl	Hrn	Bi	Oj	Cl	Srs	Ep	Chl	Oq	FM	SM	CD	Ip
I	KR1a	24.8	18.4	42.1	5.99	1.1	2.3	0.0	0.0	1.07	1.14	2.7	93.35	4.21	2.44	14.04
	KR1b	23.6	16.0	35.4	4.25	1.6	1.2	2.88	6.22	1.28	3.73	2.67	85.29	11.51	3.2	5.79
	KR1c1	21.0	12.5	24.7	3.0	0.8	1.1	9.45	10.87	1.62	5.83	2.04	65.1	27.77	7.13	1.86
	KR1c2	22.3	10.1	23.8	3.21	0.5	0.8	11.8	12.76	2.1	5.78	1.98	63.09	32.01	4.9	1.71
	KR1d1	19.1	7.73	15.2	2.17	0.5	0.7	17.2	17.97	1.03	5.2	1.45	46.74	41.35	11.9	0.88
	KR1d2	19.1	6.02	14.9	1.99	0.2	0.7	17.6	16.48	1.55	4.98	0.97	43.98	40.57	15.4	0.78
	KR1e1	18.1	4.62	7.62	1.94	0.3	0.0	16.3	24.91	1.8	4.84	1.35	33.9	47.88	18.2	0.51
II	KD1a	26.0	16.4	39.4	12.3	4.5	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4	92.05	5.4	2.55	11.58
	KD2	25.4	14.0	32.9	9.67	3.3	0.0	3.47	6.41	0.24	2.57	0.4	82.66	13.7	3.64	4.77
	KD2B	26.1	14.4	31.9	9.13	2.5	0.0	2.98	4.75	0.78	4.38	1.6	81.58	13.9	3.52	4.68
	KD3A	23.3	10.6	29.7	4.97	2.2	0.4	6.76	5.21	2.74	7.0	2.06	73.15	21.72	5.13	2.72
	KD3B	21.4	12.0	24.8	5.29	2.6	0.0	6.82	10.22	2.37	4.01	1.09	67.17	23.43	9.4	2.05
	KD4A	18.7	8.22	17.8	4.06	1.5	0.4	12.1	9.37	3.19	6.16	1.83	52.49	30.8	16.7	1.10
	KD5	18.2	5.61	12.6	3.26	1.0	0.0	16.2	10.78	2.76	5.76	1.49	42.15	35.54	22.3	0.73
III	KST1	25.4	25.0	37.2	5.06	2.7	0.0	0.0	0.0	0.86	1.95	1.45	93.79	3.81	2.4	15.1
	KST2	24.4	20.8	27.9	4.67	2.5	0.0	4.65	9.36	1.63	1.53	0.62	78.87	17.17	3.96	3.73
	KST3	22.9	18.2	18.6	2.55	1.9	0.0	11.5	13.18	1.33	1.6	1.87	65.94	27.61	6.45	1.94
	KST4	18.5	9.63	13.8	0.86	2.3	0.0	21.9	13.71	1.84	2.21	0.85	44.63	40.87	14.5	0.81
	KST5A	22.1	5.16	2.54	0.67	1.0	0.0	31.6	13.86	1.03	4.77	0.13	30.71	52.21	17.1	0.44
	KST5B	21.2	6.47	2.03	0.54	0.7	0	31.5	10.47	1.36	7.17	0.85	31.45	50.87	17.7	0.45

(Q: Kuvars, Or: Ortoklas, Pl: Plajiyoklas; Hrn: Hornblend; Bi: Biotit; Oj: Ojit, Srs: Serisit; Ep: epidot; Chl: Klorit; Oq: Opak mineral; FM: Ayrışmamış mineral oranı; SM: İkincil mineral oranı; CD: Mikrokırık + boşluk oranı; Ip: Mikropetrografik indeks; Ip: Birimsiz, diğer değişkenler % olarak verilmiştir).

Fiziksel özellikler, çekme dayanımı ve serbest basınç dayanımının belirlenmesi için yapılan deneylerde Anon (1981), suda dayanım indeksinin bulunmasında Lee and Freitas (1988) esas alınmıştır. Boyuna dalganın örneklerin katı kısmındaki hızının ( $V_{pm}$ ) bulunmasında aşağıda verilen bağıntı kullanılmıştır (Ceryan 1999a),

$$\frac{1}{V_{pm}} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{V_{pi}} \quad (1)$$

Burada;  $x_i$ : i mineralinin (Ör: kuvars, plajiyoklaz, ortoz, biyotit vb.) kayadaki % (hacim) miktarını,  $V_{pi}$ : mineraldeki boyuna dalga hızını göstermektedir.

P dalga hızı olivin grubundaki minerallerde 8400 km/sn, piroksen türü minerallerde 7200-7300 km/sn arasında, amfibollerde 6800 km/sn, plajiyoklazlarda 6250 km/sn, K-feldispatlarda 5800 km/sn, kuvarsta 6050 km/sn, biyotitte 5360 km/sn, kloritte 5000 km/sn ve kil grubu minerallerde 2400-1800 km/sn'dir (Fourmaintraux, 1976).

En az 3'er adet alınan ince kesitler üzerinde modal analizler her bir örnek için mineralojik bileşim ve petrografik indeksler (ayrışmamış mineral oranı (FM, %), ikincil mineral oranı (SM, %), mikrokırık + boşluk oranı (CD %) ve Mikropetrografik İndex (Ip)) bulunmuştur (Tablo 2). Mikropetrografik İndex İrfan ve Dearman (1978) tarafından aşağıdaki eşitlikle tanımlanmıştır;

$$I_p = \frac{FM}{SM + CD} \quad (2)$$

Serbest basınç deneyinde, uygulanan yükte birlikte örnekteki deformasyon okunarak deney örneği için gerilme-birim deformasyon eğrisi elde edilmiştir. Söz konusu gerilme-birim deformasyon eğrilerinde serbest basın dayanımının % 50 sine karşılık gelen noktasındaki teğetin eğiminden tanjant elastisite modülü ( $E_t$ ), ortalama eğimden de deformasyon modülü ( $E_s$ ) bulunmuştur (Tablo 1).

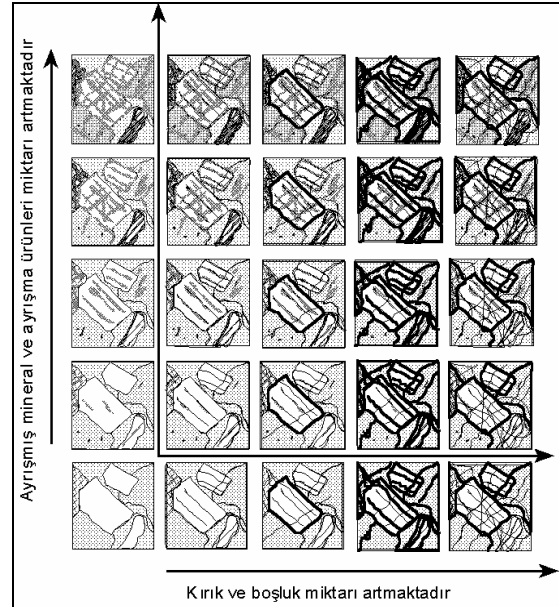
### 3. AYRIŞMIŞ KAYA MALZEMESİNİN SINIFLANDIRILMASI VE MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

#### 3. 1. Genel Jeoloji

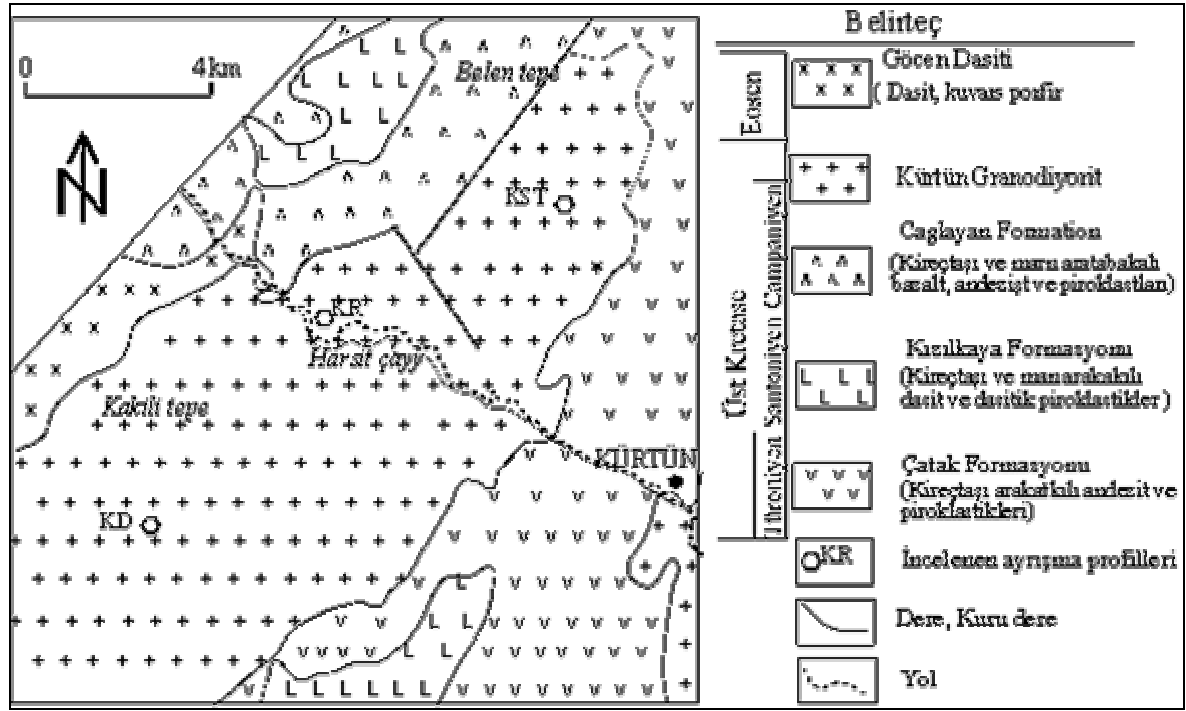
İnceleme alanında en yaşlı birim Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu'dur (Güven, 1993) (Şekil 2). Bu formasyon sürekli olmayan fakat iyi tabakalanmış killi ve kumlu kireçtaşları ile tüffit ara katkılı içeren andezit ve piroklastlarından oluşmaktadır. Çatak Formasyonu üzerinde uyumlu olarak aynı yaşlı Kızılkaya Formasyonu (Güven 1993) yer almaktadır. Bu birim mikritik kireçtaşı ve marn mercceklerini içeren dasit ve piroklastlarından meydana gelmiştir. Söz konusu formasyonda iki tür dasitik kayaç vardır. Bunlardan ilki oldukça bol piritli olan ve bölgedeki masif sülfid yataklarını içeren "Cevherli Dasit" ikincisi ise cevher içeriği oldukça düşük dasittir. Kızılkaya Formasyonu üzerinde uyumlu olarak Kampaniyen-Mastrihtiyen yaşlı, killi ve kumlu kireçtaşları ve marn ara katkılı bazalt, andezit ve piroklastlarından oluşan Çağlayan Formasyonu (Güven, 1993) bulunmaktadır. Tüm bu seri Üst Kretase boyunca sokulum yapan Kürtün Granodiyoriti ile kesilmiştir. Bu granodiyorit tüm kristalli, eşit taneli dokuya sahip olup bazen iri plajiyoklaz kristalleri içermektedir. Üst Kretase oluşuklarının tümü kuvars porfir ve iri kuvarslı prizmatik debili Göcen Dasiti (Ceryan, 1999a) tarafından kesilmiştir.

#### 3. 2. Ayrışmayla Oluşan Fiziksel ve Mineralojik Değişimlerin ve Ayrışma Durumunu Sayısal Olarak Tanımlanması

Ayrışma, yer yüzeyinde veya yakın derinliklerdeki toprak veya kaya malzemesinin kimyasal, fiziksel ve biyolojik işlemlerle bozulması şeklinde tanımlanmaktadır (örneğin Selby, 1993; Anon, 1995). Kimyasal ayrışmada üç eş zamanlı olay söz konusudur (Loughnan, 1969). Bunlar; bileşen elemanlarının iyon ve molekül olarak ayrılması ve bunu takiben ana kayacın parçalanması, ayrılmış, serbest kalmış bileşenlerinin bir kısmının bir çözültü içerisinde taşınması ve son olarak, geriye kalan, taşınmamış bileşenlerin atmosfer kökenli ve yeraltı sularındaki diğer bileşenlerle yeni mineralleri oluşturmasıdır. Fiziksel ayrışma kimyasal değişikliğin olmadığı ve esas olarak yerinde parçalanmaya neden olan bütün doğal olaylar olarak tanımlanmaktadır (Reiche, 1950). Biyolojik ayrışma organizmaların kaya malzemesi üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkileriyle oluşmaktadır. Bu nedenle, ayrışma süreçlerinin kaya malzemesinde sonuçlandığı değişiklikler esas olarak iki grupta ele alınabilir; birincisi mineralojik (ve dolayısıyla kimyasal değişim), ikincisi ise mikrokırık+boşluk oranının artması ve doku değişiminin oluşturduğu fiziksel değişimdir. Bu durum dikkate alındığında; kaya malzemesinin ayrışma durumunun kartezyen koordinat sisteminde ayrı eksenlerde gösterilen fiziksel ve mineralojik değişikliklere bağlı olarak tanımlanabileceği söylenebilir (Şekil 3).



Şekil 3. Ayrışma durumunu fiziksel değişim (kırık ve boşlukların artması) ve mineralojik değişime (ayrışmış minerallerin ve ayrışma ürünlerinin artmasına) bağlı olarak tanımlanmasının şematik gösterimi.



Şekil 2. Kürtün (Gümüşhane) yöresinin jeoloji haritası.

Araştırmacılar fiziksel değişmeyi değişik şekillerde tanımlamakta ve ölçmektedir. Birim alandaki kırık uzunluğu olarak tanımlanan mikrokırık yoğunluğu (Dixon 1969, Davis 1984 ve Tuğrul 1995) ve 10 mm deki mikrokırık sayısı olarak tanımlanan mikrokırık indeksi (Dearman ve İrfan 1978) en yaygın kullanılan indeks değerlerdir. Ayrıca porozite, efektif porozite, doygunluk derecesi ve çabuk su emme indeksi (Hamrol, 1961) değerleri de kayadaki mikrokırık+boşluk oranı ile ilişkilidir. Mineralojik ve kimyasal değişimler de sayısal olarak değişik şekillerde ifade edilmektedir. Kimyasal ayrışma indeksleri ve mikropetrografik indeks kimyasal ve mineralojik değişimim sayısal ifade edilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerdir (Dearman ve İrfan 1978; Jayawardena and Izawa, 1994; Tuğrul 1995; İrfan 1996; Düzgören and Aydın, 2003; Price and Velbel, 2003).

Fourmaintraux (1976) ve Ceryan (1999a) tarafından verilen kayaç yapıcı mineraller ve ayrışma ürünlerindeki P dalga hızları ile Hodder (1984) tarafından bu mineraller için verilen Ayrışabilirlik İndeksi değerlerini inceleyerek aşağıdaki önemli sonuçlara ulaşılmıştır;

- Minerallerin boyuna dalga hızı ayrışma ürünlerinkinden daha büyüktür.
- Ayrışma ürünlerinin Ayrışabilirlik İndeksi (Hodder, 1984) değerleri orijinal minerallere göre daha düşüktür

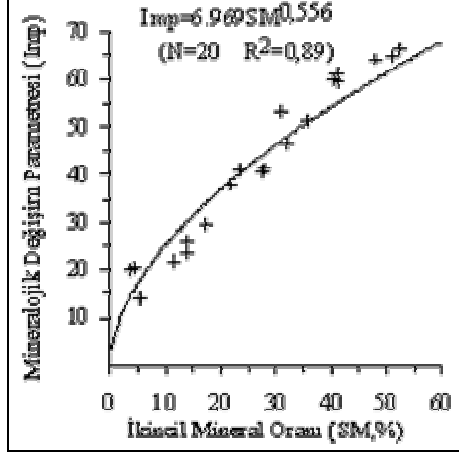
- Minerallerin boyuna dalga hızları Ayrışabilirlik İndeksi değerleri ile doğru orantılı (ayrışmaya karşı dirençle ters orantılı) olarak değişmektedir.

Ayrışma ilerledikçe, ayrışmış mineral oranı ve ayrışma ürünü miktarı artacağından kayacın katı kısmının boyuna dalga hızının ( $V_{pm}$ ) azalması beklenmelidir (Ceryan, 1999a). Başka bir anlatımla;  $V_m$ 'nin sağlam kayada ölçülen değere göre değişimi, ayrışmış mineral oranının ve ayrışma ürününün giderek artmasının bir göstergesidir (Şekil 4). Bu nedenle  $V_{pm}$ 'nin sağlam kayadaki değerine göre değişimini veren ( $V_{pmo}$ ) aşağıdaki ifade "Mineralojik Değişim Parametresi" (Imp) olarak adlandırılmıştır (Ceryan, 1999a).

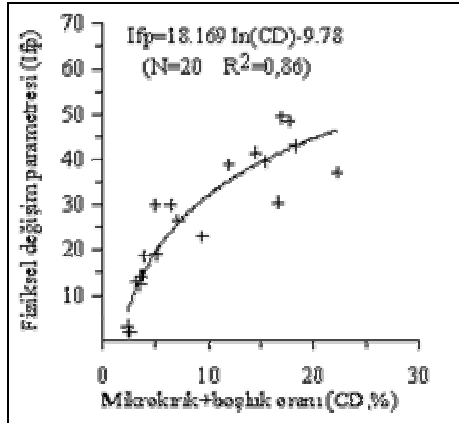
$$Im p = \frac{(V_{pmo} - V_{pm})}{V_{pmo}} \times 100 \quad (3)$$

Fourmaintraux (1976), kayacın yüksek sıcaklıkta ısıtıldığında kırık ve boşluk miktarının arttığını ve bu artışa bağlı olarak  $V_p$  değerinin azaldığını ifade etmektedir. Bu örnekte de görüldüğü üzere,  $V_{pm}$ 'nin sabit olması durumunda (başka bir deyişle aynı mineralojik bileşim ve dokuya sahip örneklerde) mikrokırık+boşluk oranı arttıkça kayadaki boyuna dalga hızının ( $V_p$ ) azalmaktadır. Bu nedenle, kuru halde ölçülen boyuna dalga hızının ( $V_p$ ), örneğin katı kısmının boyuna dalga hızına ( $V_{pm}$ ) göre değişim yüzdesini gösteren oran, aynı mineralojik

bileşime sahip örneklerde mikrokırık + boşluk oranının artma miktarını ifade etmektedir (Şekil 5). Bu nedenle, söz konusu oran "Fiziksel Değişim Parametresi" (Ifp) olarak adlandırılmıştır (Ceryan, 1999a).



Şekil 4. Kürtün Granodiyoriti kaya malzemesinde mineralojik değişim parametresi (Imp)-İkincil Mineral oranı (SM, %) ilişkisi.



Şekil 5. Kürtün Granodiyoriti kaya malzemesinde fiziksel değişim parametresi (Ifp)-Mikrokırık + boşluk oranı (CD, %) ilişkisi.

$$Ifp = \frac{(V_{pm} - V_p)}{V_{pm}} \times 100 \quad (4)$$

Kürtün Granodiyoriti'ndeki kaya malzemesi için Şekil 4 ve 5'de verilen ilişkiler ayrışmayla oluşan mineralojik değişimin Imp ile, fiziksel değişiminde Ifp ile ifade edilebileceğini göstermektedir.

Imp ve Ifp nin kartezyen koordinatta ayrı eksenlerde gösterilmesi durumunda ayrışma durumunun orijinde uzaklık olarak ifade edilebilir ve sayısal olarak aşağıda verilen eşitlikle tanımlanabilmektedir (Ceryan, 1999a).

$$Iad = \sqrt{\frac{Ifp^2 + Imp^2}{2}} \quad (5)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen Iad "Ayrışma Durumu İndeksi" olarak adlandırılmıştır.

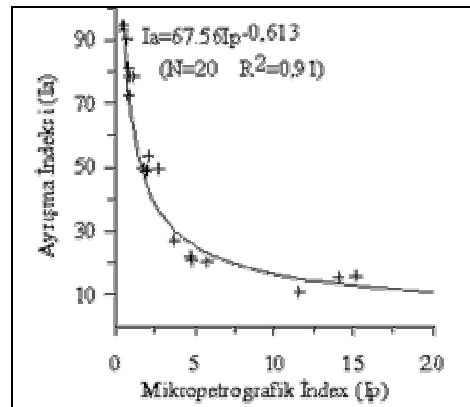
Ayrışma kayaktan toprağa doğru dönüşümü kapsamakta ve ayrışma ilerledikçe kaya/toprak oranı azalmaktadır. Bu nedenle, ayrışma durumunun sayısal olarak tanımlanmasında kaya/toprak oranı dikkate alınmalıdır. Suya dayanım indeksi (Id) ayrışmış malzemede kaya/toprak oranının bir göstergesidir. (Lee ve Freitas 1989). Ceryan (1999a) bu durumu göz önüne alarak Sayısal Ayrışma İndeksi'ni (Ia) aşağıda verilen şekilde oluşturmuş (Eşitlik 6) ve granitik kaya malzemesinin Ia değerlerine göre sınıflandırılmasını vermiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Ayrışma İndeksi'ne (Ia) göre Kürtün Granodiyoriti'ndeki Kaya Malzemesinin Sınıflandırılması (Ceryan 1999a).

Ia	Sınıf
0-20	Taze
21-30	Az ayrışmış
31-60	Orta derecede ayrışmış
61-90	Yüksek derecede ayrışmış
91-100	Tamamen ayrışmış(kaya yapısı korunmuş)
	Kalıntı toprak(kaya yapısı korunmamış)

$$Ia = 100 - ((100 - Iad) \times Id \times 001) \quad (6)$$

Kürtün Granodiyoriti ayrışmış kaya malzemesi için bulunan Ayrışma İndeksi (Ia) değerleri ile ayrışma derecesinin sayısal olarak tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan Mikropetrografik İndeks değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı sayısal ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Kürtün Granodiyoriti'ndeki kaya malzemesi için Ayrışma İndeksi-Mikropetrografik İndeks ilişkisi

İncelenen örnekler için bulunan Mineralojik Değişim Parametresi (Imp), Fiziksel Değişim

Parametresi (Ifp), Ayrışma Durumu İndeksi (Iad), Sayısal Ayrışma İndeksi değerleri (Ia) ve mühendislik özelliklerin sağlam örneğe göre

değişim yüzdesi Tablo 4'de verilmiştir. Sağlam örneğe göre değişim yüzdesi aşağıdaki formül ile bulunmuştur.

Tablo 4. Kürtün Granodiyoriti'nde Seçilen Üç Farklı Ayrışma Profillinden Alınan Örneklerin Ayrışma İndeksleri ve Mühendislik Özelliklerin Sağlam Kayaca Göre Değişim Oranları.

Profil	Örnek	Imp	Ifp	Iad	Ia	$\sigma_t^*$	$\sigma_c^*$	$E_t^*$	$E_s^*$
I	KR1a	20.36	1.7	14.45	15.39	0	0	0	0
	KR1b	21.94	13.22	18.12	20.41	41.06	37.88	46.67	46.18
	KR1c1	41.14	26.49	34.6	48.6	70.53	59.97	65.81	70.84
	KR1c2	46.52	30.02	39.15	49.92	80.19	72.55	70.04	77.24
	KR1d1	59.71	38.98	50.42	78.58	93.24	90.34	89.33	92.57
	KR1d2	60.12	39.52	50.87	72.69	94.2	91.1	92.45	93.96
II	KR1e1	64.19	43.05	54.65	92.88	-	96.37	-	-
	KD1a	14.05	1.79	10.01	10.73	0	0	0	0
	KD2	23.66	14.29	19.54	20.75	37.72	32.2	40.6	43.53
	KD2B	25.94	12.27	20.29	22.05	42.11	28.41	50.62	32.88
	KD3A	38.1	18.81	30.04	49.56	75.44	64.75	66.41	69.49
	KD3B	40.86	23.05	33.17	53.35	79.39	68.95	61.87	75.34
	KD4A	53.48	30.46	43.52	78.31	88.6	83.23	82.64	87
KD5	51.48	37.29	44.95	90.46	-	98.6	-	-	
III	KST1	20.01	3.21	14.33	15.7	0	0	0	0
	KST2	29.53	18.59	24.68	26.86	51.1	44.77	22.95	40.3
	KST3	40.57	29.89	35.63	48.89	74.18	69.3	57.12	65.75
	KST4	61.17	41.63	52.32	81.36	92.86	93.94	80.84	94.03
	KST5A	66.28	49.44	58.47	94.52	-	97.44	-	-
	KST5B	64.84	48.51	57.26	93.12	-	96.61	-	-

(Imp: Mineralojik değişim parametresi; Ifp: Fiziksel değişim parametresi; Iad: Ayrışma durumu indeksi; Ia: Ayrışma İndeksi;  $\sigma_t^*$ ,  $\sigma_c^*$ ,  $E_t^*$  ve  $E_s^*$  sırasıyla çekme dayanımının, serbest basınç dayanımının, elastisite modülünün ve deformasyon modülünün ayrılmamış örnekte ölçülen değerlere göre değişim yüzdesi).

$$Z^* = \frac{Z_f - Z_w}{Z_f} \times 100 \quad (7)$$

Eşitlikte, sağlam kayaca göre değişimi incelenen özelliğin ayrılmamış kayacıkta ölçülen değeri  $Z_f$ , incelenen örnekte ölçülen değeri  $Z_w$ , değişim değeri de  $Z^*$  olarak verilmiştir.

### 3. 3. Ayrışma İndeksi ve Elastik Dalga Hız Değerleri İle Mühendislik Özellikler Arasındaki İlişkiler

Bu çalışmada verilen istatistiksel bağıntılar ve determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) "en küçük kareler yöntemi" ile % 95 emniyet seviyesi için bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır. Johnson (1984) istatistiksel bağıntılarda determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) >0.64 olduğunda ele alınan özellikler arasında istatistiksel olarak önemli derecede ilişkinin olduğunu,  $R^2$ 'nin 0.49 ile 0.64 arasında olduğunda ilişkinin önemli derecede olmadığı fakat ortaya konan ilişkinin değeri bilinmesi istenen özelliğin tahmini için yeterli olacağını belirtmektedir.

Ayrışma etkilerini tanımlamak için kullanılması önerilen değişim parametreleri (Mineralojik Değişim Parametresi (Imp) ve Fiziksel Değişim Parametresi (Ifp)) ile incelenen granitik malzemedeki mühendislik özelliklerin sağlam malzemeye göre değişimi arasında aşağıdaki ilişkiler elde edilmiştir.

$$\sigma_t^* = 0.198 \text{ Imp} + 2.222 \text{ Ifp} + 2.40 \quad (N=10; R^2=0.88) \quad (8)$$

$$\sigma_c^* = 0.472 \text{ Imp} + 1.66 \text{ Ifp} - 1.924 \quad (N=20; R^2=0.92) \quad (9)$$

$$E_t^* = 0.55 \text{ Imp} + 1.595 \text{ Ifp} - 1.37 \quad (N=15; R^2=0.79) \quad (10)$$

$$E_s^* = 0.232 \text{ Imp} + 2.158 \text{ Ifp} + 0.476 \quad (N=15; R^2=0.89) \quad (11)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde,  $\sigma_t^*$ ,  $\sigma_c^*$ ,  $E_t^*$  ve  $E_s^*$

sırasıyla çekme dayanımının, serbest basınç dayanımının, elastisite modülünün ve deformasyon modülünün ayrıışmamış örnekte ölçülen değerlere göre değişim yüzdesini, Imp Mineralojik Değişim Parametresini, I<sub>fp</sub> ise Fiziksel Değişim Parametresini göstermektedir. Söz konusu bu ilişkiler, Kürtün Granodiyoriti ayrıışmış kaya malzemesinin mühendislik özelliklerindeki ayrıışmayla değişimin Imp ve I<sub>fp</sub>'den yararlanılarak tahmin edilebileceğini göstermektedir

İncelenen ayrıışma profillerinden alınan örneklerin çekme dayanımı ( $\sigma_t$ , MPa) ve serbest basınç dayanımı ( $\sigma_c$ , MPa), tanjant elastisite modülü ( $E_t$ , MPa) ve deformasyon modülü ( $E_s$ , MPa) tahmin etmek için örneklerin P dalgasının katı kısmındaki hızı ( $V_{pm}$ , m/sn) ve Ayrıışma İndeksi (Ia) ile söz konusu mühendislik özellikler arasında aşağıdaki çoklu doğrusal regrasyon denklemleri elde edilmiştir.

$$\sigma_t = 0.0065V_{pm} - 0.057Ia - 21.06 \quad (12)$$

(N=10 R<sup>2</sup>=0.90)

$$\sigma_c = 0.0462V_{pm} - 0.705Ia - 102.7 \quad (13)$$

(N=20 R<sup>2</sup>=0.93)

$$E_t = 9.64V_{pm} - 82Ia - 27067 \quad (14)$$

(N=15 R<sup>2</sup>=0.85)

$$E_s = 7.462V_{pm} - 75Ia - 22597 \quad (15)$$

(N= 15 R<sup>2</sup>=0.89)

Yukarıda verilen bağıntılarda, incelenen granitik malzemenin çekme dayanımı, serbest basınç dayanımı ve elastisite modülü ve deformasyon modülünün  $V_{pm}$  ile doğru orantılı Ia ile ters orantılı değiştiiği görülmektedir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma için Kürtün Baraj yeri ve göl alanında ve Gümüşhane-Giresun karayolunun Kürtün-Doğankent arasındaki kısmında yüzeylenen Kürtün Granodiyoriti'nin de gelişen üç ayrıışma profili seçilmiştir. Söz konusu profillerden alınan kaya malzemesinde ayrıışmanın sonuçlandığı fiziksel ve mineralojik değişimler elastik dalga hızından yararlanılarak tanımlanmıştır. Oluşturulan istatistiksel modellerle, söz konusu kayaçların mühendislik özelliklerinin ayrıışmayla değişim oranının Mineralojik Değişim Parametresi (Imp) ve Fiziksel Değişim Parametresi kullanılarak ekonomik ve

güvenilir şekilde tahmin edilebileceği görülmüştür. Ayrıca, Ceryan (1999a) tarafından tanımlanan Sayısal Ayrıışma İndeksi ve elastik dalganın örneğin katı kısmındaki hızı birlikte kullanılarak incelenen granitik kayaçların mühendislik özellikleri tahmin edilebilmektedir. Elastik dalga hızının ölçülmesinde örnekler örselenmemekte ve ayrıca bu ölçümler ayrıışma etkilerinin tanımlamalarında kullanılan indekslerin oluşturulmasında gerekli mineralojik ve kimyasal analizlere ve standart laboratuvar deneylerine göre ekonomik ve pratiktir. Elastik dalga ölçümüyle ilgili bu durum bu çalışmada elde edilen bulgularla birlikte ele alındığında, ayrıışmış kayaçların mühendislik performansının değerlendirilmesinde Mineralojik Değişim Parametresi, Fiziksel Değişim Parametresi ve Ayrıışma İndeksinin kullanılabilirliği ve sayısal olarak tanımlanan ayrıışma dereceleri ile birlikte sağlam durumdaki mineralojik yapısının göz önüne alınmasının gerekli olduğu söylenebilir. Bu çalışmada elde edilen bulgular değişik kayaçlarda gelişen ayrıışma profilleri için test edilmelidir.

#### 5. KAYNAKLAR

Anonymous, 1981. Rock characterization testing and monitoring. International Society for Rock Mechanics Suggested Methods. Pergamon Press, Oxford, 211 pp.

Anonymous, 1995. The Description and Classification of Weathered for Engineering Purposes (Geological Society Engineering Group Working, Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology 28, 207-242.

Ceryan, Ş. 1999a. Harşit Granitoyidi'nin Ayrıışması, Sınıflandırılması, Ayrıışmanın Mühendislik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Ceryan, Ş. 1999b. Ayrıışmış Kayaçalarda Kimyasal Ayrıışma İndeksleri ile Mühendislik Özellikler Arasındaki İlişkiler, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, Ankara, 9-16.

Ceryan, Ş., Tüdeş, Ş. ve Ceryan, N. 2003. Ayrıışmış Kayaçların Direnç ve Deformasyon Özelliklerinin Elastik Dalga Hızlarından Yararlanılarak Tahmin Edilmesi için Bir Yaklaşım. SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Isparta, Cilt 7, Sayı 2, 409-418.

Ceryan, Ş. and Şen, C. 2003. Two Potential Methods: Chemical Weathering Index and Elastic Wave Velocity Defining Potential Rock Durability. Proc. of Industrial Minerals and Building Stones.



- Int. Assoc. For Engineering Geology and Environment, İstanbul, Turkey, 139-146.
- Davis, G. H. 1984. Structural Geology of Rocks and Regions. John Wiley and Sons, New York.
- Dearman, W., R. and İrfan, T. Y. 1978. Assessment of the Degree of Weathering in Granite Using Petrographic and Physical Index Tests. International Symposium on Deterioration and Protection of Stone Monuments, Unesco, Paris, 2. 3.
- Dixon, H. W. 1969. Decomposition products of Rock Substances. Purposed Engineering Geological Classification. Rock Mechanics Symp. Stephen Roberts Theatre, Univ. Sydney, 39-4.
- Dobereiner, L., Durville J., L. and Restituito, J. 1993. Weathering of the Massiac Gneiss (Massif Central, France). Bulletin of the Int. Association of Engineering Geology, 47, 79-97.
- Duzgören, A. N. and Aydın A. 2003. Chemical Heterogeneities of Weathered Igneous Profiles: Implications for Chemical Indices. Environmental and Engineering Geoscience, 9 (4), 363-376.
- Fourmaintraux, D. 1976. Characterization of rocks; laboratory tests, Chapter IV in La Mecanique des roches appliquee aux ouvrages du genie civil by Marc Panet et all. Ecole Nationale des Ponts et Chaussees. Paris.
- Guolin, R. and Yushan L. 1990. Engineering Geological Zonation of Xiamen Granitic Weathered Crust and Bearing Capacity of Residual Soil, 6 th International IAEG Congress, Balkama, Rotterdam 1989, 1989-1996.
- Gupta, A.S., Rao, K. S. 2001. Weathering Indices and Their Applicability for Crystalline Rocks, Bull Eng Geol. Env 60, 201-221.
- Güven, Ü. H. 1993. Doğu Karadeniz Bölgesinin 1/250.000-Ölçekli Jeolojik ve Metalojenik Haritası. MTA Genel Müdürlüğü Yayınları, (MTA), Ankara.
- Hamrol, A. 1961. A Quantitative Classification of The Weathering and Weatherability of Rocks. Proceedings of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, 2, 771-774.
- Hodder, A., P., W. 1984. Thermodynamic Interpretation of Weathering indices and its application to Engineering Properties of Rocks, Engineering . Geology 20, 241-251.
- İllev, I. G. 1967. An Attempt to Estimate the Degree of Weathering of Intrusive Rocks From Their Physico-mechanical Properties. Proc. 1 st. Cong. Int. Soc. Rock Mech., Lisbon, 109-114.
- İrfan, T.Y. 1996. Mineralogy, Fabric Properties and Classification of Weathered Granites in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, 29,5-35.
- İrfan, T. Y., Dearman, W. R. 1978b. Engineering Classification and Index Properties of a Weathered Granite, Bulletin of the Int. Association of Engineering Geology, 32, 67-80.
- Jayawardena, U. S. and Izawa, E. 1994. Application of Present indices of chemical Weathering for Precambrian Metamorphic Rocks in Sri Lanka. Bulletin of the Int. Association of Engineering Geology, 49, 55-61.
- Johnson, R. 1984. Elementary Statistics. Duxbury Pres, Boston, MA, pp. 86-106.
- Kılıç, R. 1995. Geomechanical Properties of the Ophiolites (Çankırı, TURKEY) and Alteration Degree of Diabase Bulletin of the Int. Association of Engineering Geology, 51, 63-69.
- Kılıç, R. 1999. The Unified Alteration Index (UAI) for Mafic Rocks. Environmental and Engineering Geoscience, 4, 475-483
- Lee, S., G. and Freitas, M. H. 1988. Quantitative Definition of Highly Weathered Granite Using the Slake Durability test. Geotechnique, 38-56.
- Lee, S. G. 1987. Weathering and Geotechnical Characterization of Korean Granites, PhD Thesis, Imperial College, University of London.
- Loughnan, F. C. 1969. Chemical Weathering of the Silicate Minerals, Elsevier, Amsterdam.
- Martin, R. P. 1986. Use of Index Tests for Engineering Assessment of Weathered Rocks. Proceedings of 5 th Congress of International Association of Engineering Geologists, Buenos Aires, 433-450.
- Price, J. R., Velbel, M. A. 2003. Chemical Weathering Indices Applied to Weathering Profiles Developed on Heterogeneous Felsic Metamorphic Parent Rocks, Chemical Geology 202, 397-416.
- Reiche, P. 1950. A Survey of Weathering Processes and Products New Mexico University Publication in Geology No : 3.

Selby, M. J. 1993. Hillslope Materials and Processes, 2<sup>nd</sup> Edition Oxford University Press, Oxford.

Tuğrul, A. 1995. Niksar Yöresindeki Bazaltların Mühendislik Özelliklerine Ayrışmanın Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bil. Ens., İstanbul.

Türk, N. and Dearman, W. R. 1987. Assesment of

Grouting Efficiency in a Rock Mass in Terms of Seismic Velocities. Bulletin of the Int. Association of Engineering Geology, 36, 101-108.

Zhao J., Broms, B., Zhou Y. and Chao V. 1994. A Study of The Weathering of The Bukit Timah Granite. Part A: Review, Field Observation and Geophysical Survey. Bulletin of the Int. Association of Engineering Geology, 49, 97-106.