

AYRIŞMA VE AYRIŞMA SINIFLAMALARI

T. Yalçın İRFAN

Türkiye Jeoloji Kurumu
Konferans Dizisi 19, 1981

ÖZ : Kayaç sınıflamasının standart mühendislik jeolojisi terimleriyle yapılması uygulayıcılar arasındaki uyumu sağlar. Kayaç sınıflaması genellikle karmaşık olan kayaç kütlelerinin dizayn amaçları için basitleştirilmeleri de sağlar. Birçok kayaçların mühendislik özelliklerini etkileyen en önemli etkenler süreksizlikler ve ayrışmadır. Bu yazıda, granitler ve benzeri kayaçların ayrışmasında etkili olan süreçlerin bir özeti verilmiş ve bu süreçlerin mühendislik açısından önemli sonuçları incelenmiştir. Günümüzde mühendislik amaçları için önerilmiş çeşitli ayrışma sınıflamaları gözden geçirilmiş ve arazi uygulamaları sonucunda evrensel olarak uygulanabilecek bir kütleli ayrışma sınıflaması geliştirilmiştir.

SUMMARY : Rock - characterization in standart engineering geological terms ensures uniformity of description from one worker to another. Rock characterization also allows simplification of the generally complex nature of rock masses for the purposes of design. The engineering behaviour of most rocks is likely to be influenced by the presence of discontinuities and by the effects of weathering. In this paper, a summary is given of the processes involved in the weathering of granites and similar rocks with engineering implications. Available weathering classifications proposed for engineering purposes have been reviewed and after the various field applications of the available methods of classifying weathered rocks a universal weathering grade rock mass classification is developed.

GİRİŞ

Kayaçların sınıflamasına birçok yollardan yaklaşılabılır. Jeologun yaklaşımı kayacın yalnız tek bir özelliği üzerine yoğunlaşır. Örneğin, petrolojik sınıflamalarda kökensel özellikler çok önemlidir; kayacın nasıl oluştuğu, mineral topluluğunun kökensel önemi, doku ve yapı özellikleri gibi. Çok ender durumlarda petrolog, kayacın ayrıışmış ve alterasyona uğramış olabileceği gerçeğini gözönüne alır; kayacın eklem özellikleri üzerinde ise hiç durmaz. Diğer yönden, mühendislik jeolojisi yaklaşımı mühendislik gereçlerini geçmişteki ve bugünkü jeolojik çevresi kapsamında inceler. Bu yaklaşım kayacın hem madde ve hem de kütle olarak şimdiki fiziksel durumuna nasıl geldiğini anlamaya yardımcı olur. Kayaç kütlelerinin jeolojik tarihi ve bu tarihin mühendislik açısından sonuçları ortaya konduktan sonra, kütlelerin mühendislik uygulaması ile ilgili özellikleri mühendislik jeolojisi terimleriyle belirlenebilir.

Uygulama açısından, kayaç sınıflamasının standart mühendislik jeolojisi terimleriyle yapılması uygulayıcılar arasındaki uyumu sağlar. Temel laboratuvar deneyleri yapıldıktan sonra böyle bir sınıflama ayrıntılı ve pahalı deneyler ve örnek hazırlaması gerektiren kayaç özellikleri için yaklaşık değerler sağlayan görsel bir yöntem olarak kullanılabilir. Bu da mühendislik jeolojisi terimleriyle yapılan haritalama ve karot loglaması gibi arazi çalışmalarında ve zemin araştırmasında büyük yarar sağlar.

Ayrıca, kayaç sınıflaması, genellikle karmaşık olan kayaç kütlelerinin dizayn amaçları için basitleştirilmelerini olanaklı kılar (Knill ve Jones 1965).

Yüzey kayaçlarının mühendislik özelliklerini belirleyen en önemli etken kayacın oluşumundan sonraki ayrışma sürecidir. Ayrışma, kayaçların hidrosfer ve atmosferin doğrudan etkileri altındaki değişme olayıdır (Sanders ve Fookes 1970) ve genellikle iki ana çeşide ayrılır. **Kimyasal ayrışmada** mineraller kimyasal tepkime sonucu bozuşmaya uğrarlar (decomposition), **Fiziksel ayrışma** da ise mineraller kayaç maddesi içinde oluşan çatlaklar nedeniyle küçük parçalara ayrılırlar (disintegration). Bir kimyasal ayrışma profilinin gelişiminde her iki ayrışma çeşidi de birlikte etkili olacağından fiziksel ayrışma ve kimyasal ayrışma arasındaki ayırım pek kesin olmayabilir.

Granitler ve gnayslarda etkili olan bir üçüncü çeşit değişim de **hidrotermal alterasyondur**. Kimyasal ayrışma ve hidrotermal alterasyon sonucu oluşan gereçlerin dağılımı genellikle değişiktir. Hidrotermal alterasyon «kabuk» içinde oluşan bir iç olaydır. Kimyasal ayrışma yüzeyden derinlere doğru etki eder, etkisi giderek azalır ve sonunda biter. Kimyasal ayrışma ve hidrotermal alterasyon arasındaki ayırım granitlerin durumunda bazı güçlükler ortaya çıkarır. Çünkü her iki değişim sonucu oluşan kaolinleşmiş granit birbirine benzer, fakat ayrışmış bir graniti «altere olmuş» bir granitten yukarıdaki arazi ölçütüyle ayırmak olanılgı vardır. Bir başka güçlük de Avrupa kullanımında «alterasyon» (alteration) ve ayrışma (weathering) sözcükleri eş anlamlı tutulmaktadır (Gary, McAfee ve Wolf 1972).

Ayrışmayı ayrıntılı incelemeden önce bu yazıda tartışılan kayaçların jeolojik özelliklerini tanımlamak gerekmektedir.

Granitlerin sınıflaması

Granitler ana mineraller olarak kuvars ve feldspatları içerirler; sınıflamaları doku ve tane boyuna göredir ve jeolojik açıdan alkali granit, adamelit ve granodiyorit olarak üç sınıfa ayrılmaları feldspatın çeşidi ve oranlarına göredir (Hatch, Wells ve Wells 1952).

Granitler ve diğer ana magmatik kayaç gurupları arasındaki ilişkiler Şekil 1 de (Dearman 1974 b) verilmiştir. Granitlerin en belirtilici özelliklerinden biri düşük renk indeksleri. Bu da biyotit gibi renkli minerallerin yüzde 20 den az olduğunu gösterir. Açık renkli minerallerden kuvars oranı yüzde 10 ile 50 arasında-

MAGMATİK			KÖKEN		
Masif			Yapı		
Kristalli ve kriptokristalli			Doku		
Açık renkli mineraller kuvars feldspatlar, mika ve feldsparimsı minerallerdir.			Bileşim		
PEGMATİT			Çok iri	60 2 0.06 0.002	TANE BOYU (mm)
GRANİT	Diyorit	GABRO	İri		
MİKROGRANİT	Mikrodiyorit	MİKROGABRO	Orta		
RİYOLİT	Andezit	BAZALT	İnce		
			Çok ince		
Obsidiyen ve Katran taşı		Takilit	CAMSI		
0 20 40 100			Renk indeksi		
Açık renkli mine- rallerin % 50-100 kuvars		Açık renkli mine- rallerin % 10-0, kuvars			

Şekil 1. Magmatik kayaların basitleştirilmiş bir mühendislik sınıflaması
Dearman (1974 b'den).

dır, geri kalanı ise feldspatlardan oluşmaktadır. Kimyasal ayrış-
ma açısından feldspatın çeşidi önem taşır. Plajyoklas ortaklaşa
oranla kimyasal ayrışmaya daha az dayanıklıdır (Loughnan 1969).

Mühendislik uygulamasında diyorit gibi öteki açık renkli mag-
matik kayaları ve siyeniti daha genişletilmiş bir granit sınıfı
içine sokmak uygun olabilir. Diyoritin genel bileşimi Şekil 1 de
verilmiştir, fakat siyenit silika içeriği aynı olmasına rağmen sod-
yum ve potasyumca zengindir ve granit - diyorit serisinin bir üye-
sini oluşturmaz. Bu kimyasal fark mineral içeriğine de yansımak-
ta ve ortoklas feldspat kayacın bileşiminin yarısından çoğunu
oluşturmaktadır. Plajyoklas oranı az olup bir miktar da kuvars
bulunabilir. Buna karşılık granitin kimyasal bileşimli kuvars - bi-
yotit - feldspat olup, minerallerin bileşimi Şekil 2 de verilmiştir.

Granitler bazen yüksek derecede metamorfik bölgelerde gneys
ve şistlerle birlikte bulunurlar. Şist çok değişik bir kayaç olduğun-

Kuvars	Si
Biyotit	Si Al K Mg Fe
Feldspat Plajyoklas	Si Al Na Ca
Ortoklas	Si Al K

Şekil 2. Granit ve benzeri kayalardaki minerallerin kimyasal bileşimleri.

dan burada incelenmeyecektir. Fakat gnays bu yazının amaçları için anizotropik bir granit olarak düşünülebilir ve granitlerle birlikte ortak olarak tartışmada gözönüne alınacaktır. Mineraloji ve ayırıcı özellikler açısından granite benzeyen gnaysda granitten farklı olarak yapraklanmaya paralel bazı mineral ayrılımları bulunmaktadır.

Kayaçları bu şekilde tanımladıktan sonra şimdi ayrışma süreçlerinin ortaya çıkardığı değişimleri gözden geçirmek yerinde olur.

ÇEŞİT	ÖRNEKLER	ÖNEMİ
Fiziksel ufulanma	Küresel ayrışma ve pul- lanma sonucu stres gev- şemesi Isısal hacim değişimleri Don etkisi - buz kama- ları Islanma ve kuruma	Süreksizliklerin açılması Yeni süreksizliklerin o- luşumu Tane dokanaklarının a- çılması
Kimyasal bozuşma	Erime Hidrasyon, hidroliz. Oksitlenme İndirgenme Karbonatlaşma	Kil minerallerinin olu- şumu Yıkanma, birikme Gözenekliliğin artışı Yumuşama ve direnç kaybı

Şekil 3. Ayrışma süreçlerinin basitleştirilmiş bir özeti.

Ayrışma süreçleri

Granit gibi birçok kayalar yüksek basınç ve sıcaklık altında oluşmuşlardır. Fakat bugün bu kayalar yer yüzeyinde daha alçak basınç ve sıcaklık koşulları altında bulunmaktadır. Ayrışma olayı hava ve suyun varlığında yeni dengenin bu alçak basınç ve sıcaklık koşullarında sağlanmasına doğru yönelmiş bir süreçtir.

Kayaç kimyasal bozuşma veya fiziksel ufalanma ile ayrışmaya uğrayabilir (Şekil 3). Ayrışma süreçlerini graniti örnek alarak şu şekilde açıklayabiliriz. Granit kuvars, biyotit, plajyoklas ve ortoklas feldspatları içermektedir. Bu minerallerin kimyasal bileşimleri Şekil 2 de belirtilmiştir. Çeşitli minerallerin kimyasal bozuşmaya olan tepkileri değişiktir. Kuvars genellikle değişmeden kalır; biyotit dilinim yüzeyleri boyunca ağarır, serbest bırakan demir oksit kayacın kahverengine boyanmasına neden olur ve biyotit giderek klorit ve diğer kil minerallerine dönüşür. Feldspatlar çeşitli kil minerallerine dönüşürler (Şekil 4), plajyoklas ilk

KİMYASAL BOZUŞMA

Kuvars ——— genellikle değişmez
Biyotit ——— renk açılması; demir oksit boyaması ——— kil mineralleri
Feldspatlar ——— montmorillonit ——— illit ——— kaolinit
————— gibsit.

FİZİKSEL UFALANMA

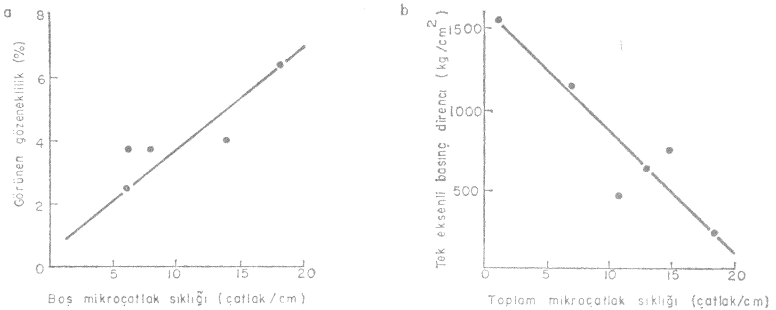
Süreksizliklerin açılması
Yeni süreksizliklerin oluşumu
Tanesel ufalanma
Tane dokanaklarının açılması — hepsi
Çatlama — kuvars
Dilinimlerin açılması — biyotit, feldspatlar

Şekil 4. Granitteki minerallerin kimyasal bozuşma ve fiziksel ufalanmanın etken olduğu ayrışma koşulları altında davranışları.

olarak bozuşmaya uğrar. Mekaniksel olarak kayaç, eklemelerin açılması, yeni süreksizliklerin oluşması ve bunlara ek olarak tane dokanakları ve taneler boyunca çatlamlarla parçalanır. İyi gelişmiş dilinimli mineraller, örneğin feldspatlar, çatlamlara özellikle duyarlıdır ve sonucunda tane boylarında küçülmeye, yüzey alanlarında artmaya uğrarlar. Düzensiz çatlama özelliğine sahip olan kuvars mekaniksel parçalanmaya daha az uğrar ve ayrışmanın sonunda öteki minerallere göre daha iri taneli parçacıklar oluşturur (Lumb 1962).

Fiziksel ayrışma kimyasal ayrışmanın doğal bir parçasıdır. Bu durum ayrışmaya uğramış granitler mikroskop altında incelendiğinde de kanıtlanır. Mineralojik değişimlere bağlı olarak fiziksel etkiler de görülür.

Dixon (1969), mikroçatlak oluşumunun sadece tane dokanaklarına bağlı kalmayıp minerallerin içlerinden de geçtiğini kuvars içinde düzensiz olarak, feldpatlar ve biyotit içinde ise dilinimler boyunca çatlaklar oluştuğunu göstermiştir. Mikroçatlak yoğunluğu ve açıklığı ayrışma derecesine bağlı olarak artar (İrfan ve Dearman 1978). Bazı mikroçatlaklar açık ve boş kalır, diğerleri limonit veya bozuşma ürünleri ile dolar. Dixon (1969) toplam mikroçatlak sıklığı ve tek eksenli basınç direnci, görünen gözeneklilik ve boş mikroçatlak sıklığı arasında doğrusal bağlantılar saptamıştır (Şekil 5). İrfan ve Dearman (1979) granitlerin pet-



Şekil 5. Ayrışmış bir granodiyoritte mikroçatlak sıklığının (a) görünen gözeneklilik, (b) tek eksenli basınç direnci üzerine etkileri (Dixon 1969).

rografik özellikleri ve çeşitli mühendislik özellikleri arasında birçok bağlantıyı ortaya koymuşlardır.

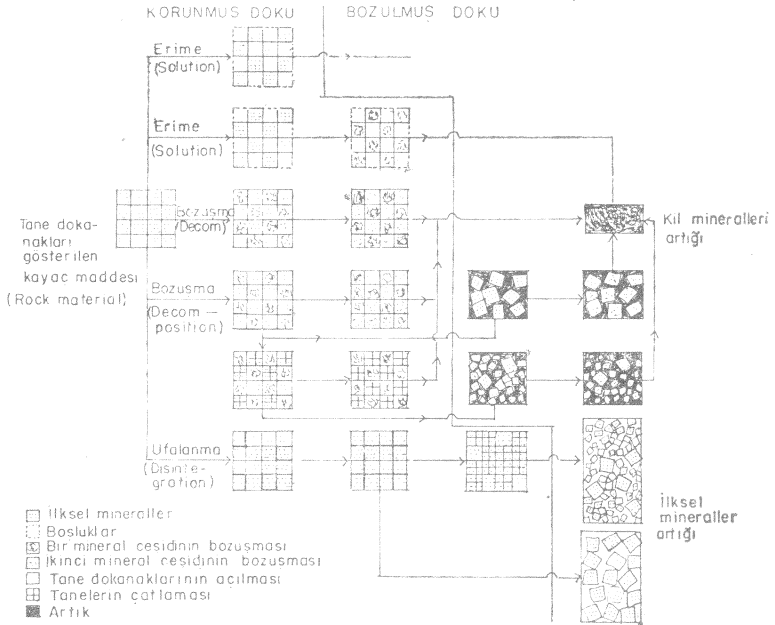
Dixon'un tanımladığı Avustralya granitinde taze kayadaki mineral taneleri hiç bozulmamıştır ve tane dokanakları çok iyi bir biçimde kenetlidir. Toprağa yakın bir duruma ayrılmış granitte ise kil minerallerine değişmiş plajyoklas oranı yüzde 15 den azdır. Biotit taneleri koyu kahverengiye renk değiştirdikleri halde hâla optik özelliklerini korumaktadırlar. Bu granitteki çatlak oluşumu, örtünün aşınmasından doğan yük azalmasına ve feldspatların ayrışma sonucu hacim artmalarına uğramasına bağlanmaktadır.

Belli ki granitler ayrışmalarında birbirlerinden ayrılık göstermektedir ve her granitin oluşumundan sonraki süreçler bu granitin ayrışma sırasındaki davranışını etkilemektedir. Wyoming, A.B.D.'deki Colorado Trail Creek graniti Eggler, Lawson ve Bradley (1969) tarafından incelenmiş ve bu araştırmacılar granitin ayrışmasını Prekambriyendeki yüksek sıcaklık oksitlenmesi sonucu dilinimler boyunca hematite değişen biyotitin genişlemesine bağlamaktadırlar. Bu ilk değişiklik kayacı çatlatmak için yeterli değildi, fakat daha sonra ayrışma etkenleri bozulmuş biyotitler üzerinde etki yaparak vermikulit, montmorillonit, kaolinit ve gipsit oluşumu sonucu minerallerin daha fazla genişlemesine neden olmuş, sonuçta da yüzeydeki kayacın bütünüyle paralanmış ve granit yer yer 65 metre derinliğe ulaşan bozulmamış kuvars ve feldspat taneli toprak durumuna ufalanmıştır. Trail Creek graniti gibi Sherman granitinin bir diğer üyesi olan Cap Rock graniti ise yer yer toprağa dönüşmekle birlikte bu değişim daha az ve daha yüzeysel olmuştur. Eggler ve diğerleri (1969) iki granit arasındaki ayrışma farkını Cap Rock granitinin Prekambriyen alterasyonundan çok az etkilenmesine bağlamaktadırlar.

Newberry (1979) de ayrışma profillerinin gelişmelerinde önceki jeolojik olayların büyük etkileri olduğunu göstermiştir. Malezya'daki Batang Padang granitinde makaslanma (shearing) ve parçalanma (cataclasm) sonucu ayrışma etkenleri kayacın içine kolayca ve düzgün olarak işleyerek «çekirdek taş» oluşumunu kısıtlamıştır.

Kimyasal ayrışmaya uğrayan granitler için geliştirilen sınıflama sistemleri ilk bakışta sırf fiziksel ayrışmaya uğrayan granitlere uygulanabilir olarak görülmemektedir. Bisdom (1967) Ku-

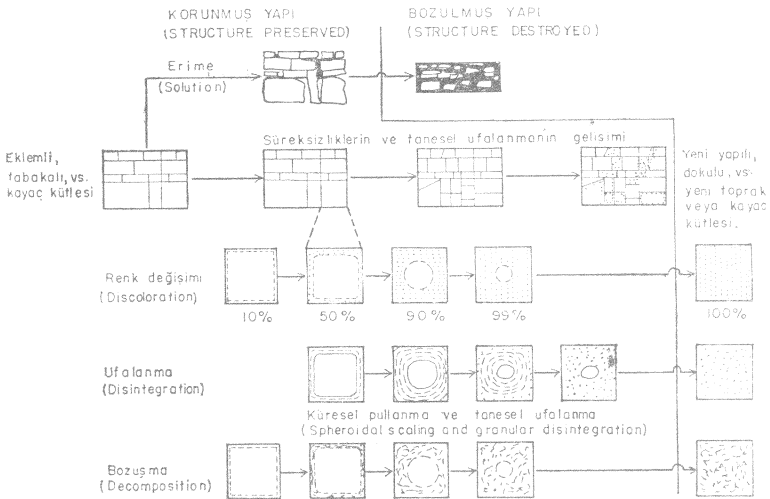
zeybatı İspanya'nın Galicia bölgesindeki ayrılmış granit bloklarını mikroçatlak sistemindeki değişmelere göre çeşitli zonlara ayırmıştır. 10 mikrondan az geniş, süreksiz mikroçatlakları içeren taze kayaç «çekirdeği», biyotit ve hornblend minerallerinin yer yer bozuştuğu bir limonit bandı ile çevrilmiştir. Limonit mikroçatlak sistemlerini boyamaktadır. Çekirdeği çevreleyen Zon 2 de mikroçatlaklar çekirdek zonu 1 e göre daha geniştirler. Zon 3 de daha yoğun bir mikroçatlak sistemine rastlanmakta ve ince tabakalar oluşmaktadır. Çatlakların birçoğu 4 mikrondan daha geniştirler, blok yüzeyine paralel olan mikroçatlaklar ise uzama ve genişleme sonucu Zon 4 de 1000 mikrondan geniş makroçatlaklar haline dönüşürler. Makroçatlakların oluşumu ile kayacın dış kısımları tabaka tabaka veya pul pul dökülür. Ortaya çıkan ayrılmış yığıntı köşeli mineral ve kayaç parçacıklarından oluşmuştur.



Şekil 6. Kayac maddesinin ayrışma safhalarını gösteren idealleştirilmiş çizelge

Bu zonsal sınıflama Ruxton ve Berry (1957) tarafından ileri sürülen bir blok etrafında oluşan radyal konsentrik kimyasal ayrışma profiline benzemektedir. Fakat İspanya örneğinde fiziksel ufalanma üstün olup çekirdek taşlar kalıntı toprak içinde değil ilksel granitik dokunun biraz bozulduğu toprak (grus) içindedirler. Ana ayrışma çeşidinin fiziksel ufalanma olduğunu belirledikten sonra böyle bir ayrışma dizisini kimyasal olarak ayrılmış kayalar için geliştirilmiş olan sınıflama sistemleri içine sokmamak için bir neden yoktur.

Kayaç maddesinin ve kayaç kütesinin ayrışma evrelerini gösteren idealleştirilmiş çizelgeler Şekil 6 ve 7 de verilmiştir. Kayaç dokusunun korunduğu ayrışma evreleri ile kayaç dokusunun yok olması sonucu toprak kütesinin oluştuğu ayrışma evreleri arasında bir ayırım yapılmıştır. Her iki şekilde de ölçek belirtilmemiştir ki bu durum ayrılmış kayacın özelliklerine kavuşacağı evreyi değerlendirmekte çok önemlidir. Örneğin, 20 mm kenarı olan küp şeklinde bir kayacın yüzde 50 oranında ufalanması veya bozuşmaya uğraması durumunda 8 mm kalınlığında ayrılmış bir kabuk oluşacaktır; 2 m. kenarı olan bir küpte ise kabuk 200 mm kalınlığında olacaktır.



Şekil 7. Bir kayaç kütesinin ayrışma safhalarının idealleştirilmiş çizelgesi

Nicel olarak ayrıışmış kabuk her iki durumda da aynı özelliklere sahip olacaktır. Fakat önceki gereç kütleli açıdan toprak özellikleri taşıyacak, sonraki durumda ise kenetli bir çekirdek taşı veya litorelik bir kütle olacaktır.

İklimsel etkenler

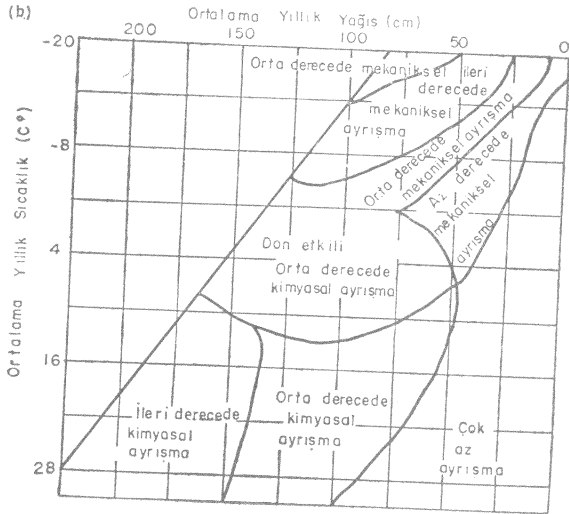
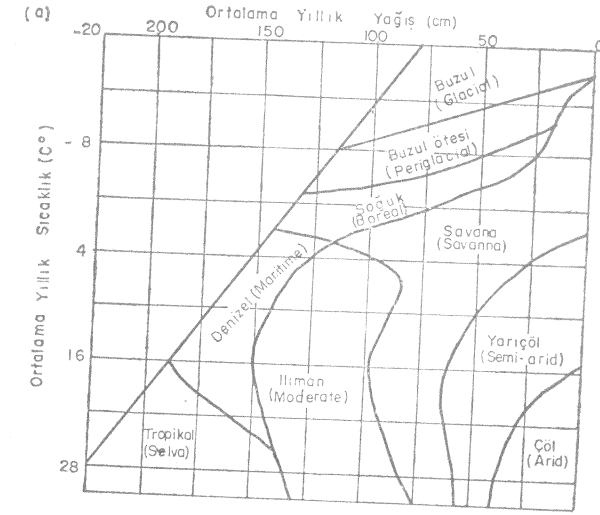
İklimsel koşullar, özellikle sıcaklık ve yağış ayrıışmayı ve ayrışma ürünlerini doğrudan etkilerle (Fookes, Dearman ve Franklin 1971). Bazı iklimler çeşitli ayrışma etkinlikleri için elverişli bir ortam oluştururlar, bazıları ise bu etkinlikleri kısıtlarlar. Ayrışmanın çeşidi ve şiddeti ile değişik iklim koşulları arasında bağlantılar kurulabilir. Peltier (1950) ortalama yıllık yağış ve ortalama yıllık sıcaklık arasındaki bağlantıyı ve bunların hem kimyasal ayrışmanın ve hem de don ayrışmasının şiddeti üzerindeki etkilerini saptamıştır (Şekil 8 a, b).

İklimin kimyasal ayrışmaya olan etkisinde, yüksek yağış daha fazla ayrışmaya neden olur. Çünkü su kimyasal ayrışma için en gerekli elemandır. Sıcaklık genellikle kimyasal tepkimelerin hızlarını artırır. Dolayısıyla ayrışmanın şiddeti sıcak ve sulu iklimlerde en fazladır, sıcaklık ve yağış düşüşüyle azalır.

Her iki diyagram üstüste konulduğunda ayrışma çeşitlerinin değişik sıcaklık ve yağış koşullarıyla olan bağlantısı vurgulanmaktadır. Ayrışma şiddeti ve çeşidi ile iklim koşulları arasında bir bağlantı vardır. Peltier bu iklim koşullarını morfojenik bölgeler halinde sınıflandırmıştır (Şekil 8 a). Bu diyagramları kullanırken şu unutulmamalıdır ki bu morfojenetik bölgeler kuramsal bölgelerdir.

Çünkü bütün jeomorfik olayları doğru olarak ölçecek ve karşılaştıracak yöntemler henüz geliştirilmemiştir. Buna karşın, bu kavram iklim koşullarının bilindiği bölgelerde olabilecek ayrışma durumlarının bir ön değerlendirmesi için çok yararlıdır.

Ayrışma profillerinin analizinde karşılaşılan bir güçlük bir ayrışma profilinin bugünkünden daha değişik iklim koşulları altında oluşmuş olabileceğidir. Örneğin, Avrupa'da Alt Tersiyer de oluşmuş ve bugüne kadar korunmuş kimyasal ayrışma profili daha sonraları günümüzün iklim koşullarının başlangıcından önce Pleyistosen zamanında buzul ötesi (periglacial) koşullarının etkisi altında kalmıştır.



Sekil 8. Peltier'in (1950) senelik yağış/sıcaklık rejimlerine göre ayrılmış kırsal morfojenik bölgeleri; (a) bölgelerin iklimsel dokanıkları, ve (b) çeşitli ayrışma tiplerinin önemi.

GRANİTLER İÇİN ÖNERİLMİŞ AYRIŞMA DERECELERİ SINIFLAMALARI

Mühendislik amaçları için geliştirilen ayrışma dereceleri sınıflaması aşağıdaki iki gerçeği gözönüne almalıdır :

(a) Kayacın bozuşma ve ufalanmasında kolayca tanınabilir ayrışma evrelerinin sırası,

(b) Ayrışma sonucunda kayaç maddesinin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde meydana gelen ve kayacın kütleli mühendislik davranışını (performance) etkileyen sürekli değişimler.

Şimdi günümüzde önerilmiş ayrışma sınıflamalarından gerek tümüyle jeolojik ve gerekse tümüyle mühendislik sınıflamalarından bazı örnekler verelim. Bu sınıflamalar araştırmacıların ilgilerini, iklimin ayrışma ve ayrışma ürünleri üzerindeki değişen etkilerini göstermeleri açısından ilginçtirler.

Snowy Mountains, Avustralya, granitlerindeki ayrışma evreleri

Geniş kapsamlı bir hidroelektrik projesi için 1948 den başlayarak Avustralya'nın New South Wales bölgesindeki Snowy Mountains'in bölgesel jeolojisi düzenli olarak araştırılmıştır (Moyle 1955). Bölgenin büyük bir bölümü intrusiv granitler ile ince taneli, granitlere benzeyen fakat sedimanter özellikli tabakalar gösteren granitik gneyslardan oluşmuştur.

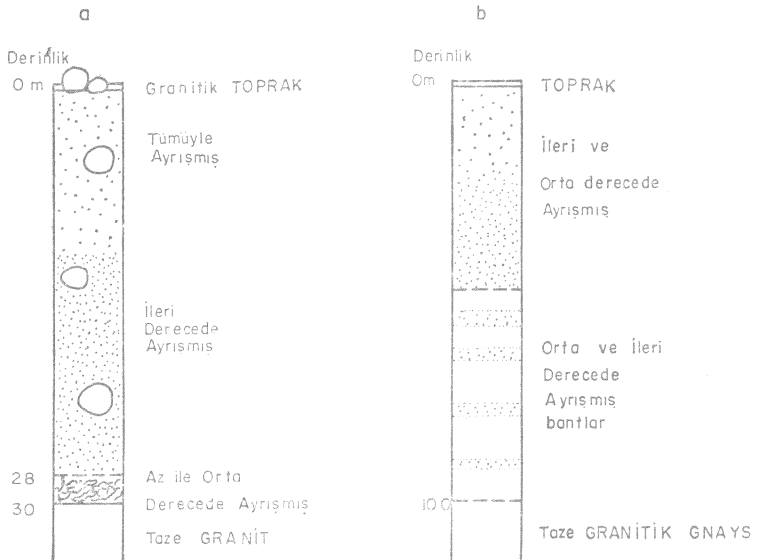
Plato yüzeyinin büyük bir bölümü ve plato içinde açılmış derin, genç ovaların dikçe eğimli yamaçları ayrışma sonucu oluşmuş bir kalıntı toprak örtüsü ile kaplıdır. Taze granit sadece, hızla aşınmakta olan akarsu yatakları boyunca ortaya çıkmaktadır. Baraj, tünel ve güç istasyonu yerlerinin saptanmasında karşılaşılan en önemli jeolojik sorunlar, ayrışmanın derinliği, durumu ve ayrışmış gereçlerin mühendislik özellikleri olmuştur. Ayrışma, beton agregası, rip - rap, ve kaya dolgu gereçleri için gereken taş ocağı yerlerini önemli derecede kısıtlamış ve bu sarp bölgede yapılacak olan yolların planlamasını ve güzergahlarını etkilemiştir. Ayrışma sonucu oluşan kalıntı toprak, barajlar ve yollarındaki toprak dolgu gereçleri için en uygun malzeme olmuştur.

Ayrışma bütün bölgede aynı derecede gelişmemiştir. Geniş toprak örtüsü ana kayacı ve özellikle faylanma sonucu oluşan

zayıf zonları gizlediğinden jeolojik harita yapımını güçleştirmiştir. Araştırmanın ilk aşamasında, ayrılmış granitin çeşitli birimlerini tanımlamak için kullanılan terimlerin belirlenmesi gerekli düşünölmüştür. Böylece çeşitli jeologların hendekleri, yarmaları ve kuyu karotlarını, çeşitli gereçlerin genel mühendislik özelliklerini aynı terimlerle benzer şekilde tanımlamaları sağlanacaktı.

Granitin ayrışması eklemler boyunca başlayarak eklem blokları kimyasal olarak toprağa değışinceye kadar düzgün bir biçimde sürer. Feldspatlar «yumuşar» ve bozuşur, biyotit çürür, limonitten oluşan kahverengi bir «lekelenme» bütün kayaç dokusu içine işler, ve kayaç mineral tanelerine ufalanma eğilimi gösterir.

Moye (1955) taze granitten granitik toprağa kadar altı ayrışma evresi belirlemiştir (Şekil 9). İleri derecede ayrılmış ve tül-



Şekil 9. Snowy Mountains, Avustralya'daki granitlerde ayrışma profilleri; (a) orta-iri taneli gri biyotit granit, ve (b) granitik gneys; Moye (1955)'den uygulanmıştır.

müyle ayrıışmış granitler mühendislik anlamında toprak olup bunların içinde yapılabilecek kazı çeşidi «kaba» veya «toprak kazı» olarak tanımlanabilir. Az derecede ayrıışmış granit bir «kayaç»dır, fakat orta derecede ayrıışmış granit kayaç ve toprak arasında özelliklere sahip olacağından sınıflaması çoğunlukla güç olacaktır.

Orta-iri taneli, çok biyotitli gri granit ayrıışmaya en yatkın granittir. Kuyu loglarından elde edilen bilgilere göre bu granit yüzeyden 20 - 30 metre derinliğe kadar ileri derecede ayrıışma göstermekte ve sonra birkaç metre içinde taze, ayrıışmamış kayaca geçmektedir. İleri derecede ayrıışmış ve tümüyle ayrıışmış zon içinde görülen yer yer yüzeye çıkmış taze veya az ayrıışmış büyük granit blokları mostralara sağlam veya az ayrıışmış kayaç görünümü vermektedirler (Şekil 9 a).

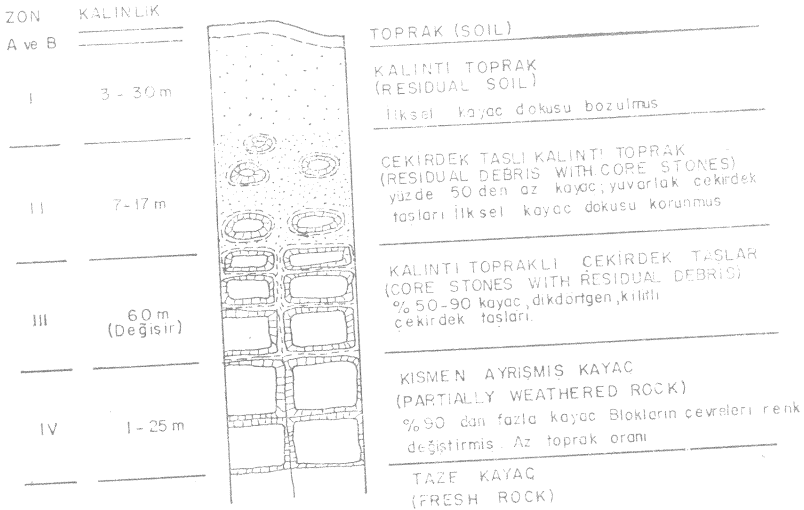
Granitik gnayslar da büyük derinliklere kadar ayrıışmakta, fakat genellikle topraktan taze kayaca kadar daha dereceli bir değişim göstermektedirler (Şekil 9 b). İri taneli granitik kayaçlara göre, açık renkli mikaca az granit aplitleri, ince taneli porfiritle ve asidik lavlar kimyasal ayrıışmadan daha az etkilenmişler ve üzerlerinde sadece ince bir toprak örtüsü oluşmuştur.

Hong Kong granitlerindeki ayrıışma evreleri

Granitlerdeki ayrıışmanın ayrıntılı olarak incelendiği ve in-saat mühendisliği açısından önem taşıyan bir başka bölge de Hong Kong'dur. Granitin ayrıışması ve mühendislik özellikleri Ruxton ve Berry (1957) ve Lumb (1962, 1965) tarafından incelenmiştir. Taze granit sarp tepelerin yukarı yamaçlarında su ayırım çizgisi yakınlarında bulunmaktadır. Diğer bütün bölgelerde ise riyolit ve granit geniş ölçüde bozuşmuştur. Granit üzerindeki ayrıışmanın derinliği çoğu yerde 60 metrenin üstündedir. Vadi tabanları birçok yerde henüz taze granite kadar aşınmamıştır.

Diğer bölgelerin aksine pedolojik A ve B düzeyleri bir-iki metre kalınlığında olduklarından mühendislerce üzerinde durulmamıştır (Deere ve Patton 1971). Çok kalın C düzeyi kayaç ve toprak özelliklerine ve kalıntı toprağın karakterine göre topografyaya paralel dört zona ayrılmıştır. I den IV e kadar numaralanan bu zonların herbiri (Şekil 10) kayaç parçacıklarının biçimlerine kimyasal ve fiziksel değişimlere göre belirlenmişlerdir. Ay-

ayırışma sırasındaki önemli değişimler sürekli renk değişimi, kayanın giderek ufalanması, minerallerden bazılarının birbirini ardına bozulması ve en sonunda da granit dokusunun yok olmasıdır. Ruxton ve Berry'nin çalışmasının önemli bir yönü de ayırışma profilindeki her çeşit kayaç maddesinin özenle tanımlarını yapmalarıdır. Her zon mineralojik değişim ve fiziksel ufalanma derecesi-ne göre belirlenmiştir.



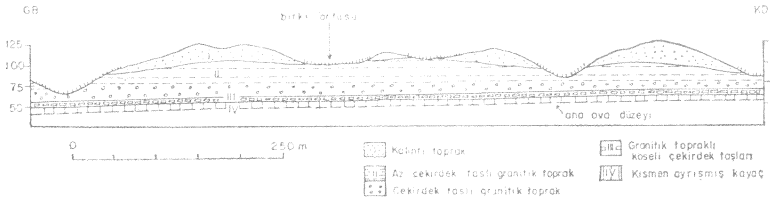
Şekil 10. Ruxton ve Berry (1957) tarafından Hong Kong granitlerinde tanınan ayırışma zonları

Kayaç maddesindeki ayırışma evrelerinin tanınması ve bu evrelerin kayaç kütleindeki ayırışma zonlarının belirlenmesinde uygulanması ayırışma profillerinin yorumuna önemli bir yenilik getirmiştir.

Moye'in ayrırmış kayaç maddelerinin ve, Ruxton ve Berry'nin kimyasal olarak ayrırmış kayaç kütlelerinin mühendislik özellikleri üzerindeki çalışmaları, bugün dünyada kullanı-

lan ayrışma sınıflamalarının gelişmesinde çok önemli etkileri olmuştur.

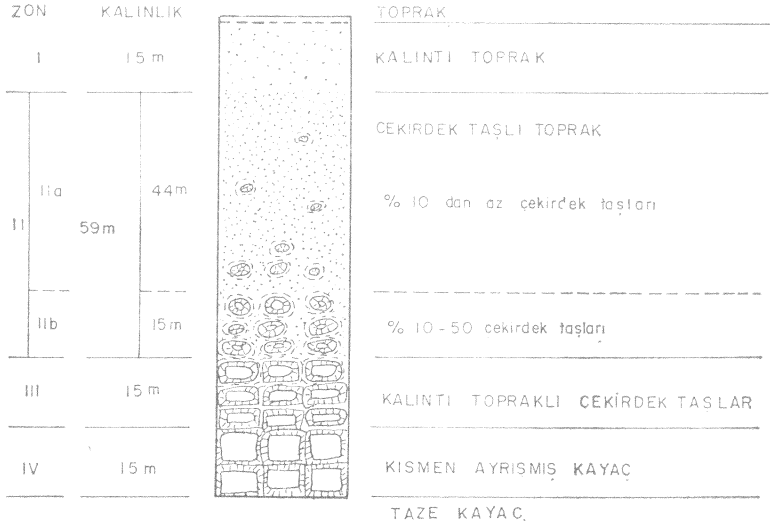
Jeomorfolojik verilere dayanarak olgun, kalın bir ayrışma profilinin ormanla kaplı alçak bir tepe yüzeyinde olduğu ve daha sonra da yer yer aşındığı düşünülmektedir (Şekil 11). Moye, Snowy Mountains'da aynı tür bir jeomorfolojik etkene değinmektedir. Süregelen iklim ve jeolojik koşullar altında ayrışmanın yü-



Şekil 11. Hong Kong'daki olgun ayrışma profilinde jeomorfolojinin etkisi. (Ruxton ve Berry 1957, şekil 12.)

zeyden derinlere doğru yavaş yavaş etki etmesiyle böyle bir tepe üstünde tam gelişmiş bir ayrışma profilinin oluşacağı belirtilmiştir. Ayrışmış kayaktan taze kayaca geçiş kesin bir «taban düzeyi» (basal platform, Linton 1955) ile olmaktadır. Ayrışmanın derinlere doğru etki etmesini kısıtlayan nedenler ya su tablosu veya açık süreksizliklerin olmayışıdır. Bu taban düzeyinin altında taze kayacın, üstünde ise ince bir zon IV ve zon III gelmekte, en üstte ise Zon II ve I'i temsil eden bir toprak örtüsü yer almaktadır (Şekil 12). Belirli bir derinliğe inen ayrışma, yüzeyden aşağılara doğru kayacın maddesinin toprağa sürekli değişimiyle ilerlemiş ve olgunluğa erişince de profilin tabanında topraktan kayaca çok ani bir geçiş oluşturmıştır. Bu açıdan da ayrışma profili Snowy Mountains'dakine paralel bir gelişme göstermektedir.

Zamanla bu alçak tepe yer yer aşınmış ve vadiler oluşmuştur. Bugün ise toprak örtüsünün çoğu aşınmış ve üst ayrışma zonları etkin olarak aşınmaya açık bırakılmıştır. Aşınma ilerledikçe ay-



Şekil 12. Hong Kong granitleri üzerinde oluşmuş olgun bir ayrışma profili. Zon numaraları Ruxton ve Berry (1957) den.

rışma profili yeni kara yüzeyine uygun olarak değişmekte ve Zon I'in alt dokanağı vadilere doğru eğim göstermektedir (Şekil 11).

Zon I'deki kalıntı toprak alttaki tümüyle ayrırmış fakat hâlâ ilksel granitik dokuyu koruyan topraktan parçacıkların su ile yıkanıp götürülmesi ve kimyasal yıkanma (leaching) sonucu oluşur. Yıkanma sonucu granitin gözenekliliği artar ve granitik dokunun çökmesiyle granit, ilksel dokuyu yitirmiş bir kalıntı toprak haline dönüşür.

Moye ve Ruxton ve Berry sınıflamalarının karşılaştırılması

Gerek Moye, gerekse Ruxton ve Berry, biyotit ve feldspatların bozuşmasını, boyanma ve dokuyu ayrışma sınıflamalarında tanıma etkenleri olarak uygulamışlardır (Şekil 13 ve 14). Fakat bu çalışmacıların kullandıkları diğer ölçütler soruna olan yakla-

MOYE SINIFLAMASI

Sınıf		Ayrışma dereceleri	Tanınma Faktörleri
VI		Granit toprak	 G
V	TOPRAK	Tümüyle ayrıışmış	A B C D E F
IV		İleri derecede ayrıışmış Madde	A B C D
III		Orta derecede ayrıışmış	A B C
II	KAYAÇ	Az derecede ayrıışmış	A B C
I		Taze Kütle	A

Tanınma Faktörleri

- A Boyanmış eklemler
- B Boyanmış kayaç ve toprak maddesi
- C Bozuşmuş feldspatlar
- D Direnç; NX karotları elle kırılabilir
- E Suda ufalanır
- F Bozuşmuş biyotit
- G Bozulmuş doku

Şekil 13. Moya (1955) ayrışma sınıflamasında gözönüne alınan etkenler Sınıf numaraları Little (1969)'dan.

şınlarındaki farkları göstermektedir. Moya, sınıflamasında kayaç maddesinin direnç özelliklerini ve karot parçalarının suya sokulduğunda ufalanıp ufalanmayacağını gözönüne almaktadır. Diğer yünden Ruxton ve Berry, sınıflamalarında yalnızca kayaç maddesinin özelliklerini değil, kayaç ve toprak oranını, çekirdek taşlarının kenetlilik derecesi ve kil oranı gibi kayaç kütlelerinin

RUXTON ve BERRY SINIFLAMASI

Sınıf	Zon Arazi Tanımı	Tanınma Faktörleri
VI	I Kalıntı toprak	D Z
V	TOPRAK IIa Yüzde 10'dan az çekirdek taş içeren kalıntı toprak	A B C W X Y
IV	IIb Yüzde 10 - 50 çekirdek taş içeren kalıntı toprak	A B C W X Y
III	TOPRAK III Kalıntı topraklı çekirdek ve taşları	A B W X
II	KAYAÇ IV Kısmen ayrıışmış, masif, eklemli kayaç; yüzde 90 dan fazla kayaç	A
I	KAYAÇ Taze eklemli kayaç	

Tanınma Faktörleri

A	Kahverengine boyanmış eklem ve çekirdek taş yüzeyleri	W Çekirdek taşları
B	Kısmen bozuşmuş feldspatlar ve biyotit	X Grus
C	Tümüyle bozuşmuş feldspatlar ve biyotit	Y Kalıntı toprak
D	Kırmızılaşma ve killeşme	Z Ayrıışmış toprak

Şekil 14. Ruxton ve Berry (1957) ayrışma sınıflamasında göz önüne alınan etkenler. Sınıf numaraları Little (1969)'dan.

özelliklerini kullanmaktadırlar. Her iki sınıflamada da taze kayaktan ilksel dokunun bozulduğu toprağa kadar süregelen bir dizi değişiklik tanınmaktadır. Snowy Mountains'da Hong Kong

da bulunan gerçek kalıntı toprak örtüsü yoktur. Moya'in granitik toprağı humuslu, ince bir pedolojik toprak örtüsüdür. Bu küçük farkın dışında tanınma etkenleri sınıf numaraları arttıkça eklenip çoğalmaktadır ve daha ileri derecede ayrılmış kayalar önceki ayrışma sırasında oluşmuş özellikleri de göstermektedirler. Kalıntı toprakta ise daha önce oluşmuş bütün tanınma etkenleri yok olmaktadır.

Taze granitin dışında Moya'in sınıflaması bütünüyle bir kayamaddesi sınıflamasıdır ve maddenin ayrışma sırasındaki özellikleri üzerine dayandırılmıştır. Buna karşılık Ruxton ve Berry sınıflaması kayaktan, kayam ve toprağı ve toprağı sürekli değişim gösteren hem kayam maddesi ve hem de kütle özellikleri üzerine dayandırılmıştır.

Ayrışma profiline sınıf numaralarının uygulanması :

İlk olarak Little (1967, 1969) kalıntı tropik toprakları mühendislik açısından sınıflarken ayrışmayı altı evreye ayırdı ve herbirine bir sınıf (grade) numarası verdi. Yüzeyden derine doğru numaralanan alışlagelmiş pedolojik uygulamadan farklı olarak Little, ayrışma profilinin en altındaki taze kayam birimini Sınıf I ve yüzeydeki toprak örtüsünü de Sınıf VI olarak adlandırdı. Little'in sınıflaması daha önceki Moya ve Ruxton ve Berry sınıflamalarının bir karışımı olup ayrışma evrelerinin arazide ayırt edilmeleri, ilksel kayam dokusunun kaybolması, kayam ve toprak oranları, limonit boyanması, feldspatların bozulması ve kayam direnci ölçütlerine dayandırılmıştır. Sınıf VI ile V toprak, IV ile III kayam - ve - toprak, ve II ile I kayactırlar. Tümüyle ayrılmış sınıf V granitte hemen hemen ortadan kalkmış fakat hala iskeletleri görünen bloklar bulunmakta, kayam dokusu korunmakta ve eklemler hala gözlenebilmektedirler.

Newberry (1970) de Moya'in sınıflamasını Malezya'nın Cameron Highlands bölgesindeki mikroçatlakların egemen olduğu ayrılmış granite uygulamıştır. Granitin ayrışma öncesi tektonizma sonucunda mikro ölçüde çatlaması dolayısıyla kimyasal bozulma sırasında diğer granitlerde görülen çekirdek taşları burada oluşmamıştır. Cameron granitinde ayrışma kendisini, biyotitin bozulması ve kayamı kahverengine boyaması, feldspatların kaolinleşmesi ve buna bağlı olarak kayacın direncinde sürekli olarak azalma ve en sonunda da toprak oluşumuyla göstermektedir.

GRANİTLER İÇİN ÖNERİLEN BİR AYRIŞMA SINIFLAMASI

Granitler için uygulanan genel bir ayrışma sınıflaması, kimyasal ve fiziksel ayrışmanın tek başlarına ve ortaklaşa etki etmeleri sonucu kayaç maddesi ve kayaç kütesinin özelliklerinde meydana gelen değişimleri içermelidir. Böyle bir sınıflama bütün ayrışma çeşitlerine uygulanabilmeli ve her ayrışma sınıfının mühendislik özelliklerine bağlı kılınmalıdır (Dearman 1974 a, 1976). Kayaçların mühendislik açısından tanımlanmaları için iki sistem önerilmiştir. Bunlardan biri karotların loglanması (Geol. Soc. 1970), diğeri ise haritalama amaçları (Geol. Soc. 1972) için önerilen tanımlama sistemleridir. Her iki sistemde de basitleştirilmiş bir kayaç adının önüne ve arkasına kayacın özelliklerini gösteren bazı terimler eklenmiştir. Bu özellikleri gösteren terimlerden biri de «ayrışma durumu»dur. Ayrışma, çeşitli terimlerle belirtilen kayaç özelliklerini az veya çok etkileyeceğinden her ayrışma sınıfı kayacın maddesel ve kütsel özelliklerinin ayrıntılı tanımlarıyla belirlenebilir. «Ayrışma durumu»nun kayaçların tanımlanmasında kullanılmasıyla kayaç kütesinin kökensel ilişkileri çok somut bir şekilde gözönüne serilmektedir.

Kayaç maddesindeki ayrışma sınıflarının tanımı :

Kayaç maddesindeki ayrışma sınıfları kimyasal ve mekaniksel ayrışma sonucu meydana gelen değişimler esas alınarak tanımlanabilir (Çizelge 1). Çizelge 1 de verilen her ayrışma evresi de incelenen kayaç maddesinin tanımlanmasına yardımcı olmak üzere kendi arasında alt birimlere ayrılabilir. Örneğin, «kısmen renk değiştirmiş», «tümüyle renk değiştirmiş», ve «az derecede renk değiştirmiş» gibi. Eğer gerekirse bu terimler sayısal olarak da verilebilir.

Kayaç kütesindeki ayrışma sınıflarının tanımı :

Kayaç kütesindeki ayrışma sınıflarının ayırımı, renk değişim derecesi, dayanımsız kayaç oranı, kayaç/toprak oranı ve ilksel kayaç dokusunun olup olmamasına göre yapılabilir. «Dayanımsız kayaç» ölçütü günümüzdeki sınıflamaların çeşitli arazi uygulamalarından sonra önerilen sınıflamaya katılmıştır. Toprak haline dönüşmeden önce, renk değiştirmiş kayacıdan direnci çok azal-

Çizelge 1. Kayaç maddesindeki ayrışma sınıflarının tanımı.

TERİM	TANIM
Taze	Kayaç maddesinde ayrışmanın hiçbir etkisi görülmez.
Renk Değiştirmiş	Kayaç maddesinin rengi değişmiştir ve bu ayrışmanın bir kanıtıdır. İlksel renge göre renk değişiminin oranı belirtilmelidir. Eğer renk değişimi belirli bazı mineralere özelse bu da belirtilmelidir.
Dayanımsız	Kayaç ayrışma sonucu çok belirgin bir şekilde dereceni yitirmiştir., fakat teknik anlamda henüz toprağa dönüşmemiştir.
Bozuşmuş	Kayaç ilksel dokuyu hala koruyan toprak durumuna ayrılmıştır. Minerallerin bazıları veya tümü bozuşmuştur.
Ufalanmış	Kayaç ilksel dokuyu hala koruyan toprak durumuna ayrılmıştır. Kolayca ufalanabilir, fakat mineral taneleri bozuşmamıştır.

mış (dayanımsız) kayaca değişim Moye (1955) ve Kayaç İlgilaması Çalışma Grubu (Geol. Soc. 1970) tarafından da belirtilmiştir. Dayanımsız kayacın mühendislik uygulamalarında doğurabileceği sorunlar gözönüne alınarak bu terim önerilen sınıflama sistemi içine getirilmiştir. Bir sınıflama sistemini gereksiz yere daha karışık duruma getirmek veya varolan bir sistemi değiştirmek hiçbir yarar sağlamaz, fakat evrensel olarak uygulanabilecek bir sistem ancak günümüzdeki sistemlerin evrimi sonucu gerçekleşebilir.

Kayaç kütlesindeki ayrışma profili, içindeki çeşitli derecelerde ayrılmış kayaç maddelerinin dağılımı ve ayrışmanın süresizlikler üzerinde yapmış olduğu etkileriyle tanımlanabilir. Çizelge 2 deki bazı terimler daha önceki sınıflamalarda kullanılan terim-

Çizelge 2. Kayaç kütleisindeki ayrışma sınıfları.

TERİM	SINIF	TANIM
Taze	I	Kayaç maddesinde ayrışmanın hiçbir etkisi görülmez; belki ana süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi olabilir.
Az derecede ayrılmış	II	Renk değişimi kayaç maddesinin ve süreksizlik yüzeylerinin ayrıştığını gösterir. Ayrışma sonucu kayaç kısmen renk değiştirebilir, fakat henüz direncinden birşey yitirmemiştir.
Orta derecede ayrılmış	III	Kayaç maddesi tümüyle renk değiştirmiş ve kayaç önemli ölçüde direncini yitirmiştir. Taze veya renk değiştirmiş dirençli kayaç ya süreksiz bir çatı veya çekirdektaşları şeklinde bulunabilir.
İleri derecede ayrılmış	IV	Kayaç kısmen toprağa bozuşmuş ve/veya ufalanmıştır. Toprak içinde taze veya renk değiştirmiş veya dayanımsız kayaç maddesi ya süreksiz bir çan veya çekirdektaşları şeklinde bulunabilir.
Tümüyle ayrılmış	V	Kayaç tümüyle toprağa bozuşmuş ve/veya ufalanmıştır. İlksel kayaç yapısı ve dokusu hala korunmaktadır.
Kalıntı toprak	VI	Kayaç tümüyle toprağa dönüşmüştür. Kütsel yapı ve maddesel doku bozulmuştur. Hacim büyük ölçüde artmıştır, fakat toprak henüz taşınmamıştır. A ve B toprak seviyelerine ayrılabilir.

(*) Sınıf II, III ve IV kayaç maddesinin bileşim oranlarına göre alt sınıflara bölünebilir. (Dearman, Baynes ve İrfan 1978).

lerin yerine tercih edilmiştir. Granit ve çeşitli kayalarla olan deneyim, önerilen sınıflamanın genel uygulaması olduğunu göstermiştir. Fakat bazı durumlarda sınıfların alt birimlere ayrılması gerekebilir. Taş ocağı uygulamalarında bu ayırım özellikle ayrışma sınıfı II de gerekmektedir (Dearman, Baynes ve İrfan 1976).

DEĞİNİLEN KAYNAKLAR

- Bisdom, E.B. 1967. Role of microcrack systems in spheroidal weathering of intrusive granite in Galicia, N. W. Spain. *Geologie en Mijnbouw*, 46 (9), 333 - 40.
- Dearman, W. R. 1974 a. Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. *Bull. Int. Assoc. Engng Geol.* No. 9, 33 - 42.
- Dearman, W. R. 1974 b. The characterization of rock for civil engineering practice in Britain. *Centenaire de la Société Géologique de Belgique de l'Ingénieur*, 1 - 75.
- Dearman, W. R. 1976. Weathering classification in the characterization of rock: a revision. *Bull. Int. Assoc. Engng Geol.* No. 13, 123 - 27.
- Dearman, W. R., Baynes, F. J. ve İrfan, T. Y. 1976. Practical aspects of periglacial effects on weathered granite. *Proc. Ussher Soc.*, 3, 373 - 81.
- Dearman, W. R., Baynes, F. J. ve İrfan, T. Y. 1978. Engineering grading of weathered granite. *Engng Geol.*, 12, 345 - 74.
- Deere, D. U. ve Patton, F. D. 1971. Slope stability in residual soils. 4th Panamerican Conf. Soil Mech. Found. Eng. San Juan, Puerto Rico, Amer. Soc. Civ Engrs, 87 - 170.
- Dixon, H. W. 1969. Decomposition products of rock substances. Proposed engineering geological classification. *Rock Mechanics Symp. Stephens Roberts Theatre, Univ. Sydney*, 39 - 44.
- Eggler, D.H., Larson, E.E. ve Bradley, W.C. 1969. Granite, gneisses and Sherman erosion surfaces, Southern Laramie range, Colorado - Wyoming. *Am. J. Sci.* 267(4), 510 - 22.

- Gary, M., McAfee, R. Jr ve Wolf, C.L. (Ed). 1972. Clossary of geology, Washington, D.C. (American Geological Institute).
- Geological Society of London 1970. The logging of rock cores for engineering purposes. Q. Jl Engng Geol., 3, 1-24.
- Geological Society of London 1972. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Q. Jl Engng Geol., 5, 293-382.
- Hatch, F.H., Wells, A.K. ve Wells, M.K. 1972. The petrology of the igneous rocks, 10. baskı. London Murby.
- İrfan, T.Y. ve Dearman, W.R. 1978. Engineering petrography of a weathered granite. Q. Jl Engng Geol., 11, 233-44.
- İrfan, T.Y. ve Dearman, W.R. 1979. Micropetrographic and engineering characterization of a weathered granite. Annales de la Société Géologique de Belgique, T. 101, 71-77.
- Knill, J.L. ve Jones, K.S. 1965. The recording and interpretation of geological conditions in the foundations of the Roseires, Kariba, and Latiyan dams. Geotechnique, 15, 94-124.
- Linton, D.L. 1955. The problem of tors. Geog. Jour. 121, 470-86.
- Little, A.L. 1967. Laterites. Proc. Asian Reg. Conf. Soil Mech. Found. Engng 3, Haifa 2, 61-71.
- Little, A.L. 1969. The engineering classification of residual tropical soils. Proc. Intern. Conf. Soil Mech. and Found. Engng 7, Mexico, 1, 1-10.
- Loughnan, F.C. 1969. Chemical weathering of the silicate minerals. Elsevier, London, 154 sayfa.
- Lumb, P. 1962. The properties of decomposed granite. Geotechnique, 12, 226-243.
- Lumb, P. 1965. The residual soils of Hong Kong. Geotechnique, 15, 180-194.
- Moye, D.G. 1955. Engineering geology for the Snowy Mountains Scheme. Jl Inst. Engng. Australia, 27, 281-299.

- Newberry, J. 1970. Engineering geology in the investigation and construction of the Batang Padang hydro - electric scheme, Malaysia. Q. Jl Engng Geol., 3, 151 - 181.
- Peltier, L. 1950. The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. Ann. Assoc. Am. Geog. 40, 214 - 236.
- Ruxton, B.P. ve Berry, L. 1967. Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong. Bull. Geol. Soc. Am. 68, 1263 - 1292.
- Sanders, M.K. ve Fookes, P.G. 1970. A review of the relationship of rock weathering and climate and its significance to foundation engineering. Engng Geol. 4, 289 - 325.