



## Örnek mikro yapısının ve köşelliliğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine etkisi ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksiyle bazı fiziksel özellikler arasındaki ilişki

*The effect of micro-structure and angularity of aggregates on the slake durability index and the relationship between the slake durability index and some physical properties*

**ERSİN KOLAY**

Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 66100, YOZGAT

Geliş (received) : 24 Nisan (April) 2007

Kabul (accepted) : 25 Haziran (June) 2007

### ÖZ

Kil içeren kayaların ıslanma-kuruma evreleri sonucunda aşınma ve ayrılıp suda dağılmaya karşı gösterdiği davranışını kontrol eden suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde, deney sonuçlarını etkileyebilen pek çok faktör vardır. Deney örneklerinin köşelliliği ile yapısal özellikleri de bu faktörler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan örneklerin köşelliliği ile yapısal özelliklerinin deney sonuçlarını nasıl etkilediğinin nicel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kil içeren kumtaşı, marn, kireçtaşı, tuf ve bozunmuş granit türü kaya birimleri çalışmanın malzemesi olarak seçilmiştir. Her kaya türünden köşeli, yarı köşeli ve yuvarlak örnekler hazırlanarak suda dağılmaya karşı duraylılık deneyine tabi tutulmuştur. Suda dağılmaya karşı duraylılık deney sonuçları, mikro süreksizlik içermeyen kayalarda, köşelliliğin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ( $I_{d2}$ ) üzerinde etkili olduğu göstermektedir. Bu tür kayaların  $I_{d2}$  değerlerinde köşelliliğe bağlı olarak % 26'ya varan farklar elde edilmiştir. Mikro süreksizlik içeren kayalarda ise, ikinci çevrim sonunda her köşellilik grubunda parçalanma meydana gelmiş ve örnek şeklinin  $I_{d2}$  üzerinde belirgin bir etkisi olmamıştır. Çalışmada kullanılan kaya türlerinin, çok çevrimli suda dağılmaya karşı duraylılık indekslerinin tek çevrimin sonunda belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinden kestirilebilmesi amacıyla geliştirilen görgül eşitlikler çok kuvvetli istatistiksel ilişkiler göstermektedir. Nokta yükü dayanım indeksi ve kuru birim hacim ağırlığından görgül eşitliklerle kestirilen ve deneyle belirlenen  $I_d$  değerleri arasında oldukça yüksek ortalama mutlak hata değerleri oluşmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kil içeren kaya, mikro yapı, köşellilik, kuru birim hacim ağırlık, nokta yükü dayanım indeksi, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi.

### ABSTRACT

*There are several factors affecting the results of the slake durability test which defines the disintegration of clay-bearing rocks through wetting and drying cycles as well as slaking behavior in water. These factors include angularity of the test specimens and structural properties of the rock material. This study aims to assess the effects of these factors on the results of the slake durability test. The materials selected for this purpose include clay bearing rocks such as clayey sandstone, marl, clayey limestone, tuff, and weathered granite. Angular, subangular and rounded specimens were prepared from each rock type and subjected to the slake durability test. The results of the slake durability tests indicate that angularity effects the slake durability index ( $I_{d2}$ ) values of the rock groups*

without any micro discontinuity. The  $I_{d2}$  values of these types of rocks show differences as high as 26% depending on the aggregate angularity. For the rock groups with micro discontinuities, disintegration was observed at the end of the second cycle for each group and it was concluded that the aggregate shape has no significant effect on the  $I_{d2}$  value of these rock groups. The regression analyses conducted to determine multi-cycled slake durability index via single-cycle slake durability index for the rock types used in the study indicate a strong statistical relationship. High average absolute error values occurred between experimentally and empirically defined  $I_d$  values as a function of  $I_{s(50)}$  and  $\gamma_d$ .

**Key Words:** Clay-bearing rock, micro structure, angularity, dry unit weight, point load strength index, slake durability index.

## GİRİŞ

Franklin ve Chandra (1972) tarafından geliştirilen suda dağılmaya karşı duraylılık deneyiyle, iki standart ıslanma-kuruma çevrimine tabi tutulan kil içeren kaya örneklerinin, aşınmaya ve ayrılıp suda dağılmaya karşı gösterdiği direnç belirlenmektedir. Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi sonuçlarının; deneye tabi tutulan kaya örneklerinin porozite ve permeabilitesine, deneyde kullanılan sıvının özelliklerine, deney aletinin tamburuna konulan örneklerin şekline ve sayısına, deney aletinin özelliklerine, örneklerin muhafaza edilme koşullarına ve çevrim sayısına göre değişim gösterdiği belirtilmektedir (Franklin ve Chandra, 1972). Suda dağılmaya karşı duraylılık deney sonuçları yukarıda belirtilen faktörler göz önüne alınmadan değerlendirildiğinde, hatalı yorumlamalar kaçınılmaz olmaktadır.

Literatürde suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi ile ilgili çalışmaların bir kısmında araştırmacılar, bu deneyden faydalanarak, kayaların ıslanma-kuruma durumundaki davranışlarını ortaya koymuşlar ve bunları daha iyi tanımlamaya çalışmışlardır. Bir kısım araştırmacılar da, deneyin uygulanma şeklini irdeleyerek, kayaların mineralojik bileşiminin, çevrim sayısının ve deney çözeltisinin türü gibi etkenlerin deney sonuçlarını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Aufmuth (1974), kayacın elastisite modülü ve Schmidt geri sıçrama değeriyle  $I_d$  arasındaki ilişkileri incelemiştir. Vallejo (1994), suda dağılmaya karşı duraylılık deneyine tabi tuttuğu kaya örneklerinin iki boyutlu profillerinde meydana gelen değişimleri, fraktal boyut yöntemiyle nicel olarak ortaya koymuştur. Koncagül ve Santi (1998) örneklerin köşeliliğinin artması durumunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinin daha düşük olacağını belirtmektedir. Bazı araştırmacılar (Bell vd., 1977; Taylor, 1988; Mon ve Beattie, 1995; Ulusay vd., 1995), iki çevrimli deneyin kil içeren kayaların duraylılığını tam

olarak açıklayamadığını belirtmişlerdir. Gökçeoğlu vd. (2000), özellikle dört çevrimli deneyin duraylılığın tanımlanmasında daha gerçekçi bir yol olduğunu belirtmişler ve kil minerallerinin  $I_d$  üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Koncagül ve Santi (1998) ve Gökçeoğlu vd. (2000), kayaların tek eksenli sıkışma dayanımları ile  $I_d$  değerleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Çetin vd. (2000), ilksel mineralojik bileşimleri aynı olan afanitik ve vesiküler dokulu bazaltlar üzerinde yaptıkları çalışmada, kaya dokusunun kayacın bozunma ve duraylılığı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir. Dhakal vd. (2002), çamurtaşı, kumtaşı ve kumlu tüfler üzerinde yaptıkları suda dağılmaya karşı duraylılık deneylerinde, deney sıvısı olarak saf su, NaCl ve CaCl<sub>2</sub> kullanmışlardır. Bu araştırmacılar deneyler sonucunda en yüksek suda dağılmaya karşı duraylılık indekslerinin 1M CaCl<sub>2</sub> ile, en düşük suda dağılmaya karşı duraylılık dayanımlarının ise saf su ile elde edildiğini belirlemişlerdir. Kayabalı vd. (2006), sekiz farklı jips türünde, deney sıvısının pH değerinin  $I_{d2}$  üzerindeki etkisini araştırmışlar ve sülfatlı kayalarda  $I_{d2}$  değerlerinin, deney çözeltisinin iyon değişiminden çok kaya dokusundan etkilendiğini belirlemişlerdir. Kolay ve Kayabalı (2006), kil içeren kayalarda deney örneklerinin köşeliliğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine etkisini araştırmışlar ve iri taneli kayalarda (tuf, bozunmuş granit, kumtaşı) örnek şeklinin  $I_{d2}$  üzerinde ince taneli kayalara (marn, kireçtaşı) göre daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyine tabi tutulacak örneklerin 40-60 g ağırlığında, küreselle yakın (eş boyutlu) bir şekilde ve köşeleri yuvarlatılmış olarak hazırlanması gerekmektedir (ISRM, 2007; ASTM, 1990). Ancak uygulamalarda, kaya türüne, bozunma derecesine, tane boyuna, mineralojik bileşime ve yapısal-dokusal özelliklere bağlı olarak küresel şekilli örneklerin hazırlanması güçleşmekte ve zaman almakta

bazen de mümkün olamamaktadır. Çalışmalarında suda dağılmaya karşı duraylılık deneyini kullanan bazı araştırmacılar (Dhakal vd., 2002; Yılmaz ve Karacan, 2005), bu güçlükler nedeniyle deneyi küresellikten uzak ve oldukça köşeli örneklerle yapabilmişlerdir.

Bu çalışmada, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi için hazırlanan örneklerin köşeliliğinin ve kayanın mikro yapısının suda dağılmaya karşı duraylılık indeksini nasıl etkilediğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda mikro süreksizlik (fisür, laminalanma vb.) içeren ve içermeyen farklı türden kayalardan (marn, killi kireçtaşı, tuf, kumtaşı, bozunmuş granit), farklı köşeliliğe (köşeli, yarı köşeli, yuvarlak) sahip örnekler hazırlanmış ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi, Gökçeoğlu vd. (2000) tarafından önerildiği gibi dört çevrim uygulanarak yapılmıştır. Mineralojik bileşim, yapı-doku ve gözeneklilik gibi özellikler; kayacın birim hacim ağırlığını, dayanımını ( $\sigma_c$ ,  $I_{s(50)}$ ) ve duraylılığını ( $I_d$ ) etkileyen özelliklerdir. Literatürde kayaların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksleriyle tek eksenli sıkışma dayanımları ve elastisite modülleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Killi kayalarda silindirik deney örneklerinin hazırlanması çoğu zaman güç olmakta ve bazen de mümkün olamamaktadır. Bu çalışmada kayaların dayanım parametresi olarak, düzensiz örneklerle de belirlenebilen nokta yükü dayanım indeksi seçilmiştir. Çalışmada kullanılan kaya türlerine ait suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleriyle nokta yükü dayanım indeksi ve kuru birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişkiler regresyon analizleriyle incelenmiştir.

## MALZEME VE YÖNTEM

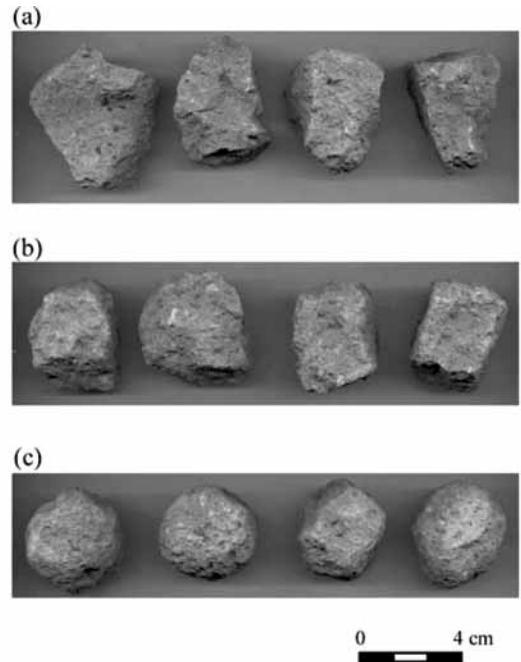
### Örnekleme

Bu çalışmada kullanılan kaya türleri; marn, killi kireçtaşı, killi kumtaşı, tuf ve bozunmuş granitten oluşmaktadır. Örnekleme sırasında kaya örneklerinin homojen olmasına özen gösterilmiştir. Kaya örnekleri, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki, farklı amaçlar için oluşturulmuş şev yüzeylerinden blok şeklinde alınmıştır (Çizelge 1). Kaya örneklerinin petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, MTA laboratuvarlarında ince kesitler hazırlanıp petrografik çözümlenmeler ve bakır tüplü PW-3710 model cihaz ile X-ışınları kırınım (XRD) analizleri yapılmıştır.

### Yöntem

Mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenen kaya örneklerinin, kuru birim hacim ağırlıkları ( $\gamma_d$ ) (her grupta 5 adet) ve nokta yükü dayanım indeksleri ( $I_{s(50)}$ ) (her grupta 10 adet) ISRM (2007) tarafından önerilmiş yöntemlere göre belirlenmiştir.

Örnek köşeliliğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine etkisini belirleyebilmek için, çalışmada kullanılan dokuz kaya türünden, ucu keskinleştirilmiş özel çekiçler, bıçak ve zımpara yardımıyla, kütlesi 40-60 g olan köşeli (K), yarı köşeli (YK) ve yuvarlak (Y) deney örnekleri hazırlanmıştır (Şekil 1). Örneklerin köşeliliğinin nicel olarak belirlenebilmesi için fraktal boyut yöntemi kullanılmıştır. Fraktal geometri kavramı ilk olarak Mandelbrot (1967) tarafından, doğada bulunan düzensiz şekillere sahip cisimlerin geometrisini tanımlamak amacıyla önerilmiştir. Ülke, göl, ada gibi düzensiz şekillerin sınırlarını nicel olarak ifade eden fraktal boyut (D), kırılma ve parçalara ayırma anlamına gelmektedir. Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde kullanılan örneklerin iki boyutlu profilleri de bunlar



Şekil 1. Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi için hazırlanmış (a) köşeli, (b) yarı köşeli ve (c) yuvarlatılmış deney örneklerinin genel görünümü.

Figure 1. A general view of the (a) angular, (b) subangular and (c) rounded test specimens prepared for the slake durability test.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan kayaların petrografik özellikleri ve alındıkları yerler.  
Table 1. The petrographical properties of the rock samples used in the study and their locations.

Kaya türü	Tane boyu, renk,bağlayıcı	*Mineralojik bileşim	Alındığı yer
Arkoz arenit (Kmt-1)	Orta, açık gri, karbonat	Kuvars, plajiolklaz, kalsit, kaolinit	Sorgun (Yozgat)
Litik grovak (Kmt-2)	Orta, kırmızımsı, kil	Simektit, analsim, plajiolklaz	Sorgun (Yozgat)
Litik arenit (Kmt-3)	Orta, yeşilimsi, kil	Kayaç parçaları, plajiolklaz, kuvars, simektit, illit, kaolinit	Sorgun (Yozgat)
Bozunmuş granit (G)	Orta, pembemsi-sarı	Kalsit (karbonatlaşma) ortoklaz, kuvars, simektit	Yozgat
Tüf (Tf-1)	Orta, gri	Kayaç parçaları, kuvars, opal, ortoklaz, zeolit, illit	Karşıyaka (Ankara)
Tüf (Tf-2)	Orta, sarı-pembe	Kayaç parçaları, plajiolklaz, simektit, illit, kuvars	Göreme (Nevşehir)
Marn (M-1)	Açık yeşil	Kalsit, simektit, mika	Sarayköy (Yozgat)
Marn (M-2)	Sarımsı yeşil	Kalsit, simektit, illit, kaolinit	Sarayköy (Yozgat)
Killi kireçtaşı (Kçt)	Kirli beyaz	Kalsit, kil, zeolit	Karacabey (Bursa)

\*Mineraller bolluk sırasına göre verilmiştir.

gibi düzensiz şekillerdir. Bir örneğin profilindeki köşelliliğinin artması, ayrıca profilin dairesellikten uzaklaşması durumunda D büyümektedir (Kolay ve Kayabalı, 2005).

Çalışmanın ilk aşamasında; araziden getirilen kaya bloklarından kırılarak elde edilen örnekler ait profiller, tarayıcı kullanılarak bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Tarayıcı ile elde edilen bir profil, örnek yüzeyini iki boyutta ifade etmektedir. Gerçekte ise, örnekler üç boyutludur. Dolayısıyla bir örneğin köşelliliğinin üç boyutlu olarak ifade edilebilmesi için, her örneğin dört farklı yüzeyi taranmış ve elde edilen profilin fraktal boyutu hesaplanmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan agrega profillerine ait dosyalar Didger (Golden Software, 2000) programında açılmış, poligon şeklindeki profiller x-y koordinat sisteminde sayısallaştırılmıştır. Daha sonra, FORTRAN programlama dilinde kodlanmış Fraktal programı (Kolay ve Kayabalı, 2005) ile sayısallaştırılmış bu veriler işlenerek, ilgili profile ait fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır. Bir örneğin fraktal boyutunun hesaplanması sırasında gerçekleştirilen işlemlerin ayrıntısı, Kolay ve Kayabalı (2005) tarafından ayrıntılı olarak verilmiştir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinin uygulandığı her kaya türünden, ikişer adet köşeli (K1-K2), yarı köşeli (YK1-YK2) ve yuvarlatılmış (Y1-Y2) örnek grubu hazırlanmıştır. Oluşturulan bu her alt gruptaki 10 adet örneğin 4 profilinin fraktal boyutu belirlenmiştir. Bir alt grubun köşelliliği, toplam 40 profile ait fraktal boyut değerinin aritmetik ortalaması ( $D_{ort}$ ) ile temsil edilmiştir. Hazırlanan örneklerin yüzey profilleri yaklaşık 200 tarama işlemiyle bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Örneklerin fraktal boyutlarının belirlenmesi işlemleri, tüm kaya türlerine ait her örnek için (toplam 540 örnek ve 2160 profil) aynı şekilde ve ayrı ayrı yapılmıştır. Deney örneklerinin yüzey profillerini belirlemek için yaklaşık 150 bin koordinat noktası konulmuştur.

## PETROGRAFİK İNCELEMELER

Çalışmada kullanılan kaya türlerinin petrografik çözümlerinin ve XRD sonuçlarının özeti Çizelge 1'de verilmiştir. Marn ve kumtaşı türü kayalar Yozgat (Yerköy-Sorgun) çevresinde yüzeyleyen, kristalin masif üzerine gelen, Eosen yaşlı sedimanter birimler (Ketin, 1955) içerisinde

den alınmıştır. Çalışmada kullanılan orta taneli, beyaz-gri kumtaşı (Kmt-1) kuvars, feldispat, kalsit ve kil minerallerini içermekte olup bağlayıcısı karbonattır. Bu kaya, arkoz arenit olarak adlandırılmıştır. Orta taneli, kırmızı ikinci kumtaşı (Kmt-2), simektit, analsim ve plajiyoklaz minerallerini içermektedir. Bağlayıcısı kil olan bu kumtaşı, litik grovak olarak adlandırılmıştır. Orta taneli yeşilimsi üçüncü kumtaşı (Kmt-3), kaya parçaları, feldispat, kuvars ve kil bağlayıcı içermektedir. Bu kaya, litik arenit olarak adlandırılmıştır. Üst Kretase-Paleosen yaşlı bozunmuş granit örnekleri (G), Yozgat'ın güneybatısında yüzeyleyen Sarıhacılı lökograditi (Ketin, 1955) içerisindeki bozunma zonlarından alınmıştır. Orta taneli ve pembemsi sarı olan bu granit, karbonatlaşmaya uğramış durumda olup, kalsit, feldispat, kuvars ve kil minerallerinden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan granitin bozunma derecesi ISRM (2007)'ye göre büyük oranda 3. derecedir. Birinci tür tuf örnekleri (Tf-1), Miyosen yaşlı Mamak formasyonu içerisindeki tuf seviyelerinden alınmıştır. Mamak formasyonu aglomera, tuf ve bazaltik bileşimli lavlardan oluşmaktadır. Aglomeralar arasında izlenen tüfler değişik renklerde ve ince tabakalıdır (MTA, 1997). İnce kesit ve XRD çalışmalarında tufün kaya parçaları, kuvars, opal, feldispat ve killerden oluşmakta olup, litik tuf olarak adlandırılmıştır. Çalışmada kullanılan ikinci tür tuf (Tf-2) Kapadokya bölgesindeki geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Ürgüp volkanik formasyonundan (Temel, 1992) alınmıştır. Bu formasyon kırıntılı olup, büyük-küçük obsidiyen ve pümis parçaları içermekte; kirli beyaz, gri ve pembe renkler sunmaktadır (Aydan ve Ulusay, 2003). Göreme-Ürgüp yolu kenarından alınan pembe tuf örnekleri kaya parçaları, feldispat, kil

ve kuvars minerallerini içermektedir. Tüfleri oluşturan bileşenlerin taneleri daha çok orta-iri olup, çalışmada iri taneli kayalar olarak değerlendirilmişlerdir. Marn türü kayalar Yibitaş (Sarayköy-Yozgat) malzeme ocağındaki şevlerin farklı seviyelerinden alınmıştır. Açık yeşil birinci marn örnekleri (M-1), ince kesitte homojen-izotrop bir mineralojik bileşim göstermekte olup, XRD analizinde kalsit ve simektit, mika, kaolinit minerallerini içerdiği belirlenmiştir. Sarımsı yeşil ikinci marn örnekleri (M-2) ise, 2-3 mm kalınlığında killi ve karbonatlı bantlar içermektedir. Mineralojik bileşiminin, XRD analizinde kalsit, simektit ve illit minerallerinden oluştuğu görülmektedir. Kireçtaşı (Kçt) örnekleri Çeşnigir köyünün (Karacabey-Bursa) 2 km batısından, Orta-Geç Miyosen yaşlı Çamlık formasyonu içerisindeki killi seviyeden alınmıştır. Çamlık formasyonu gölsel karakterli olup kilitaşı, killi kireçtaşı ve çoğunlukla da dolomitik kireçtaşından oluşmaktadır (Bayhan vd., 1998). İnce kesit incelemeleri ve XRD analizleri sonucunda kayacın kalsit, kil ve bol fosil içerdiği görülmektedir. Fosillerin çevresinde demir oksitleşmeler ve killer izlenmektedir. Kayada bazı yerlerde kil bazı yerlerde de kalsit ve fosil yoğunlaşmaları mineralojik açıdan heterojenlik ortaya çıkarmaktadır.

## DENEY SONUÇLARI

### Mikro Yapının ve Örnek Köşelliliğinin Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksine Etkisi

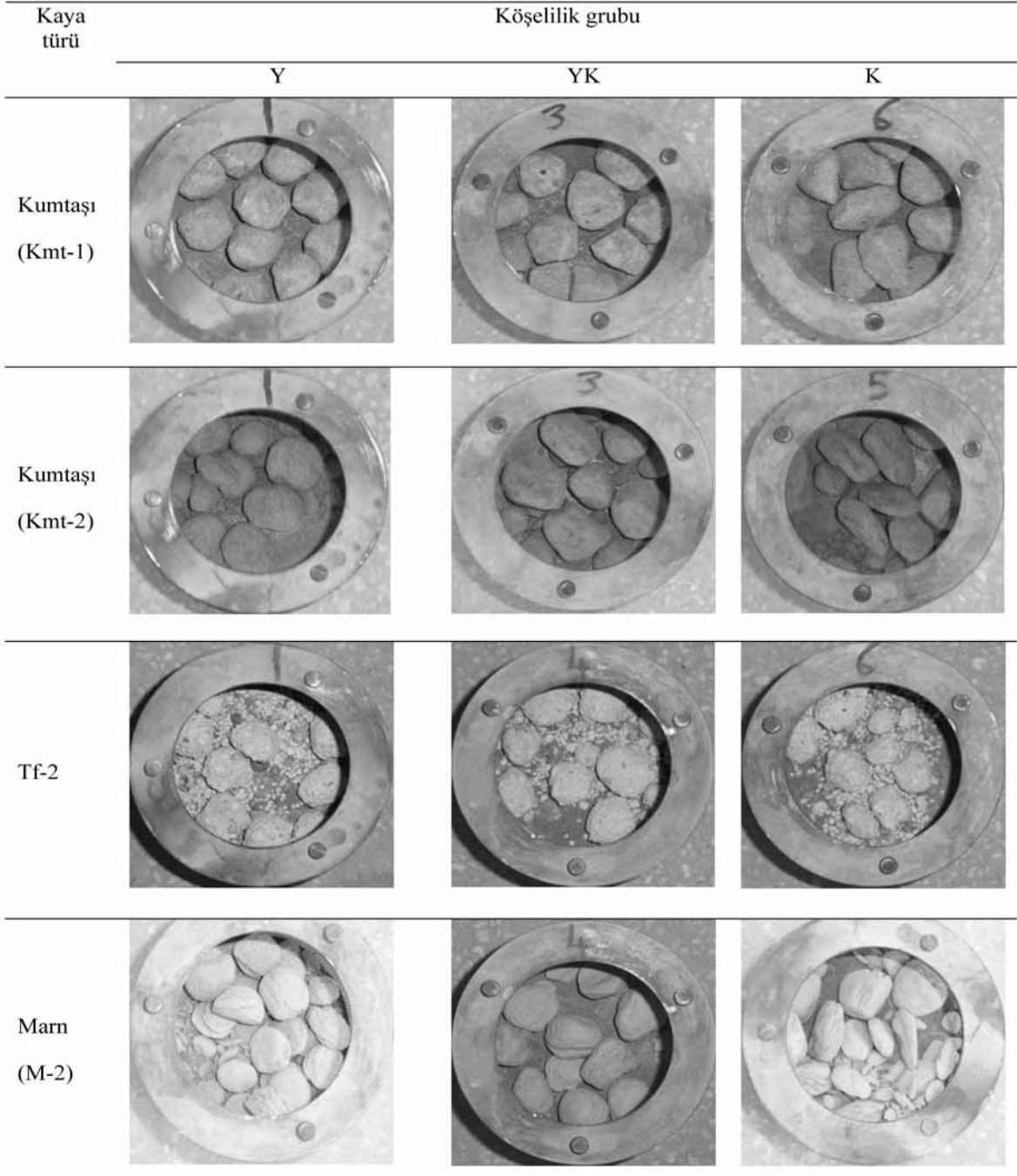
Bu çalışmada kullanılan kaya türlerinin kuru birim hacim ağırlıkları ve nokta yükü dayanım indeksleri Çizelge 2'de verilmiştir. Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi için hazırlanan 54

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan kaya türlerinin kuru birim hacim ağırlık ve nokta yükü dayanım indeksi değerleri. Table 2. Values of the dry unit weight and point load strength index of the rocks used in the study.

Kaya türü	Kuru birim hacim ağırlık			Nokta yükü dayanım indeksi		
	$\gamma_d$			$I_{s(50)}$		
	(kN/m <sup>3</sup> )			(MPa)		
	En büyük	En küçük	Ortalama	En büyük	En küçük	Ortalama
Kmt-1	26.66	24.22	21.50	5.43	3.75	4.54
Kmt-2	20.20	19.22	19.71	3.10	1.72	2.41
Kmt-3	25.89	21.67	23.24	4.43	3.16	3.57
G	28.24	25.60	26.58	4.11	1.95	3.34
Tf-1	20.50	19.22	20.10	1.26	0.99	1.08
Tf-2	14.22	12.75	13.73	1.67	1.38	1.51
M-1	21.56	18.34	19.81	3.85	2.19	3.21
M-2	20.60	17.65	19.12	3.77	1.97	2.87
Kçt	22.65	20.59	21.97	4.54	2.03	3.42

(9x6) örnek grubunun ortalama fraktal boyut değerleri ve çevrim sayısına bağlı suda dağılmaya karşı duraylılık indeksleri Çizelge 3'de verilmiştir. İkinci çevrim sonunda tamburda kalan örneklerin görüntüsü Şekil 2'de verilmiş olup, mikro süreksizlik içermeyen ve homojen mineralojik bileşime sahip kaya türlerinde (Kmt-1, Kmt-3, G,

Tf-1, Tf-2, M-1 ve Kçt), yuvarlak örneklerin olduğu tamburlarda parçalanmanın daha az, köşeli örneklerin bulunduğu tamburlarda ise daha çok olduğu görülmektedir. Kmt-2 ve M-2 türü kayalarda ise, tüm gruplarda parçalanma meydana geldiği görülmektedir. M-2 el örneği, diğer kaya türleri gibi homojen ve süreksizlik içermez görü-



Şekil 2. İkinci çevrim sonunda tamburda kalan örneklerin görüntüsü.

Figure 2. A view of the test specimens in the drum at the end of the second cycle.

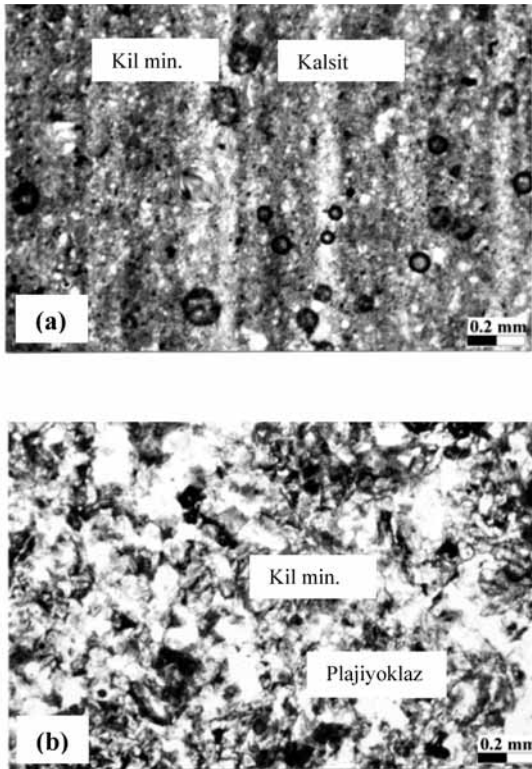
Çizelge 3. Örnek gruplarının  $I_d$ - $D_{avg}$  değerleri ve  $I_{d2}$  değerleri arasındaki farklar.  
 Table 3.  $I_d$ - $D_{avg}$  values of the sample groups, and differences between the  $I_{d2}$  values.

Kaya türü	Köşelilik	Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (%)		Ortalama fraktal boyut ( $D_{ort}$ )	Yuvarlak ve köşeli örnek gruplarının $I_{d2}$ değerleri arasındaki en büyük fark (%)
		$I_{d1}$	$I_{d2}$		
Kmt-1	Y1	95.90	93.46	1.032	10.19
	Y2	94.63	91.13	1.030	
	YK1	94.03	90.58	1.037	
	YK2	93.87	90.37	1.037	
	K1	91.28	86.10	1.044	
	K2	89.91	83.27	1.042	
Kmt-2	Y1	89.80	63.82	1.033	8.22
	Y2	92.02	57.51	1.036	
	YK1	87.35	61.24	1.042	
	YK2	86.91	58.92	1.041	
	K1	85.14	55.60	1.052	
	K2	87.14	65.11	1.047	
Kmt-3	Y1	96.92	94.52	1.033	6.89
	Y2	96.13	93.85	1.035	
	YK1	96.33	93.87	1.036	
	YK2	95.71	93.42	1.040	
	K1	93.45	87.63	1.050	
	K2	94.51	90.26	1.048	
G	Y1	95.23	91.82	1.029	18.49
	Y2	93.89	90.04	1.033	
	YK1	78.09	66.03	1.039	
	YK2	85.48	75.68	1.037	
	K1	87.24	79.78	1.043	
	K2	82.97	73.33	1.052	
Tf-1	Y1	84.06	71.15	1.027	15.48
	Y2	82.83	69.42	1.027	
	YK1	83.49	64.20	1.037	
	YK2	83.38	64.79	1.038	
	K1	76.94	55.67	1.050	
	K2	78.97	62.45	1.050	
Tf-2	Y1	83.26	66.84	1.024	26.06
	Y2	83.02	62.92	1.027	
	YK1	78.65	52.11	1.031	
	YK2	76.31	54.76	1.033	
	Y1	69.71	40.78	1.047	
	Y2	70.87	44.30	1.042	
M-1	Y1	94.03	89.93	1.024	3.66
	Y2	94.24	90.48	1.024	
	YK1	92.91	88.78	1.031	
	YK2	93.20	88.69	1.032	
	K1	92.76	87.37	1.038	
	K2	90.30	86.82	1.038	
M-2	Y1	87.47	70.07	1.022	18.42
	Y2	88.40	70.95	1.024	
	YK1	88.43	79.49	1.033	
	YK2	85.42	68.05	1.035	
	K1	85.14	70.99	1.041	
	K2	82.51	61.07	1.045	
Kçt	Y1	96.64	93.06	1.025	10.83
	Y2	97.24	91.38	1.027	
	YK1	87.58	84.17	1.036	
	YK2	95.51	90.94	1.034	
	K1	85.31	82.23	1.041	
	K2	92.74	89.18	1.041	

Y1:1.yuvarlak grup, Y2:2.yuvarlak grup, YK1:1.yarı köşeli grup, YK2:2.yarı köşeli grup, K1:1.köşeli grup, K2:2.köşeli grup

nürken, ince kesitte 2-3 mm kalınlığında killi ve karbonatlı bantlar içerdiği gözlenmektedir (Şekil 3a). İkinci çevrim sonunda tamburda kalan örneklerde bu bantlaşma açık bir şekilde ortaya çıkmakta ve örnekler bu düzlemlere bağlı olarak parçalanmaktadır (Şekil 4). Kmt-2 ise el örneğinde ve ince kesitte belirgin bir süreksizlik içermezken (Şekil 3b), ikinci çevrim sonunda tamburda kalan örnekler incelendiğinde, soğan yapısı şeklinde zayıflık düzlemlerinin oluştuğu gözlenmektedir (Şekil 4). Bu iki kaya türünde, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi sırasındaki parçalanmaların, mikro yapıdaki ve mineralojik bileşimdeki heterojenlik ile denetlenmediği anlaşılmaktadır.

Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyine tabi tutulan kaya türlerinde deney örneklerinin köşelliliği ile iki çevrim sonunda tayin edilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için, her kaya türünden elde edilen  $I_{d2}$  ve D değerleri arasında basit regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Şekil 5'de ve Çizelge 4'de verilmiştir. Çalışmada

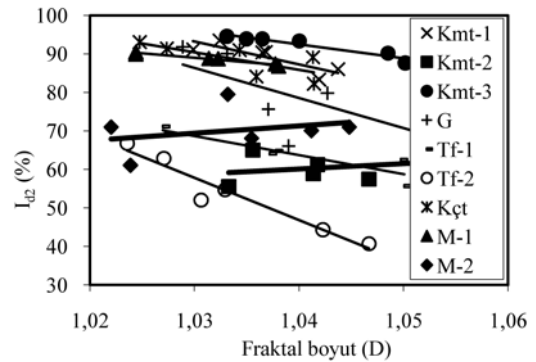


Şekil 3. (a) Marn (M-2) ve (b) kumtaşı (Kmt-2) kaya örneklerinin mikrofotografı (tek nikol).  
Figure 3. Micro-photographs of (a) marl (M-2) and (b) sandstone (Sst-2) samples (open nicol).



Şekil 4. İkinci çevrim sonunda tamburda kalan (a) marn (M-2) ve (b) kumtaşı (Kmt-2) örnekleri ve bu örneklerde gelişen zayıflık düzlemleri.  
Figure 4. A view of the M-2 (a) and Sst-2 (b) test specimens in the drum at the end of the second cycle, and weakness planes that developed in these specimens.

kullanılan litik grovak ve marn (M-2) dışındaki kayalarda 2. çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi  $I_{d2}$  ile D arasında kuvvetli-çok kuvvetli negatif ilişki gözlenirken, litik grovak ve marn (M-2) açısından anlamlı bir ilişki yoktur. Mikro süreksizlik içermeyen kayalarda köşeli örneklerin köşeleri tamburdaki aşınma etkilerinden daha fazla etkilenmekte, bu da kayıp olarak ortaya çıkmaktadır. Yuvarlatılmış örneklerde ise, köşellilik önceden giderildiği için aşınma kayıpları daha az meydana gelmektedir. Mikro süreksizlik içeren litik grovak (soğan yapısı) ve marn (M-2) (kil-karbonat laminalanması) türü kayalarda örneklerin köşelliliği  $I_{d2}$  üzerinde etkili olmamıştır. Çünkü deney sırasında yuvarlak ve köşeli olarak hazırlanan örnekler süreksizliklerin kontrolünde parçalanarak, başlangıçtaki göre farklı kenar ve yüzeyler oluşturmuşlardır. Bu durum, deneyin



Şekil 5. Kayaç gruplarında  $I_{d2}$  ve D arasındaki ilişki.  
Figure 5. Relationships between the  $I_{d2}$  and D values for different rock groups.



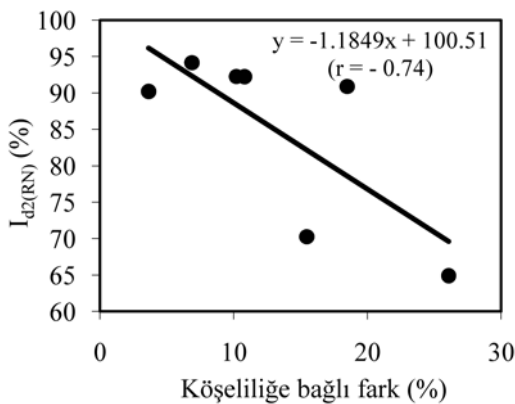
yuvarlak ya da köşeli örneklerle yapılması etkisini ortadan kaldırmıştır. Mikro süreksizlik içeren litik grovak ve marn (M-2) kaya türlerinde  $I_{d2}$  ile D arasındaki ilişkinin çok zayıf da olsa (0.26-0.29), pozitif olması bu tip örneklerin yuvarlatılması sırasında maruz kaldıkları çekiç darbelerinden etkilenen mikro yapılarının, deney sırasında parçalanmayı daha da kolaylaştırdığına işaret etmektedir.

Çizelge 4. Kaya gruplarına ait  $I_{d2}$  ve D değerleri arasındaki ilişkiler.

Table 4. Relationships between the  $I_{d2}$  and D values of different rock groups.

Kaya türü	Regresyon eşitliği	Korelasyon katsayısı (r)
Kmt-1	$I_{d2} = -594.05D + 705.11$	-0.85
Kmt-2	$I_{d2} = 138.63D - 84.07$	<b>0.26</b>
Kmt-3	$I_{d2} = -360D + 466.85$	-0.95
G	$I_{d2} = -783.28D + 893.15$	-0.64
Tf-1	$I_{d2} = -492.68D + 576.09$	-0.92
Tf-2	$I_{d2} = -1100D + 1190.9$	-0.97
M-1	$I_{d2} = -229.45D + 325.33$	-0.98
M-2	$I_{d2} = 190.82D - 127.1$	<b>0.29</b>
Kçt	$I_{d2} = -455.42D + 559.49$	-0.73

Yüksek  $I_d$  değerlerine sahip, mikro süreksizlik içermeyen ve homojen mineralojik bileşim gösteren kayalarda, köşelliliğe bağlı olarak  $I_{d2}$  değerleri arasındaki farklar daha düşük çıkmaktadır (bkz. Çizelge 3, Şekil 6). Gamble (1971)'in



Şekil 6. Mineralojik bileşimi ve yapısal özellikleri homojen olan kayalarda yuvarlak örneklerin  $I_{d2(RN)}$  değerleri ile köşelliliğe bağlı olarak oluşan farklar arasındaki ilişki.

Figure 6. The relationship between differences arising from angularity and  $I_{d2(RN)}$  values of rounded test specimens of rocks with homogeneous mineralogical composition and micro-fissures.

önerdiği suda dağılmaya karşı duraylılık sınıflaması çizelgesinde (Çizelge 5), yüksek duraylılığın olduğu sınıflarda sınıf aralıkları oldukça daralmakta ve % 2-3 gibi değerler almaktadır. Bu durum, yüksek  $I_d$  değerlerine sahip kayaların bu değerlerinde köşellilikten kaynaklanacak küçük yüzdelerdeki farkların bile duraylılık sınıflamasındaki yerlerinin değişmesine neden olacağını göstermektedir. Bu olumsuz durum, orta duraylılık sınıfı üzerindeki sınıf sayısının azaltılması ve sınıf aralıklarının artırılmasıyla nispeten ortadan kaldırılabilir.

### Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksiyle Nokta Yükü Dayanım İndeksi ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Arasındaki İlişkiler

Farklı çevrimlerle elde edilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleriyle ( $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$ ,  $I_{d4}$ ) nokta yükü dayanım indeksi ve kuru birim hacim ağırlık arasındaki görgül ilişkileri belirleyebilmek amacıyla, dokuz kaya türünden üçer örnek grubu (9x3) hazırlanmış ve dört çevrimli suda dağılmaya karşı duraylılık deneyine tabi tutulmuştur. Her kaya türünden ikişer gruba ait  $I_d$  değerleri (9x2) (Çizelge 6) ile basit regresyon analizleri yapılmış ve görgül eşitlikler elde edilmiştir. Geriye kalan 9 deney sonucuyla (Çizelge 7) ise, görgül eşitlikten tahmin edilen ve deneyle belirlenen  $I_d$  değerleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, elde edilen görgül eşitlikler, korelasyon katsayıları, ayrıca tahmin edilen ve deneysel olarak belirlenen  $I_d$  değerlerinin ortalama mutlak hataları ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 5. Gamble (1971) tarafından önerilen suda dağılmaya karşı duraylılık sınıflaması.

Table 5. The slake durability classification suggested by Gamble (1971).

Grup	10 dakikalık bir çevrimden sonra % kalan (Kuru kütle olarak)	10 dakikalık iki çevrimden sonra % kalan (Kuru kütle olarak)
Çok yüksek duraylılık	> 99	> 98
Yüksek duraylılık	98 – 99	95 – 98
Orta-yüksek duraylılık	95 – 98	85 – 95
Orta duraylılık	85 – 95	60 – 85
Düşük duraylılık	60 – 85	30 – 60
Çok düşük duraylılık	< 60	< 30

Çizelge 6. Regresyon eşitliklerinin elde edilmesinde kullanılan  $I_d$ ,  $\gamma_d$  ve  $I_{s(50)}$  değerleri.  
Table 6.  $I_d$ ,  $\gamma_d$  and  $I_{s(50)}$  values used in the development of the regression equations.

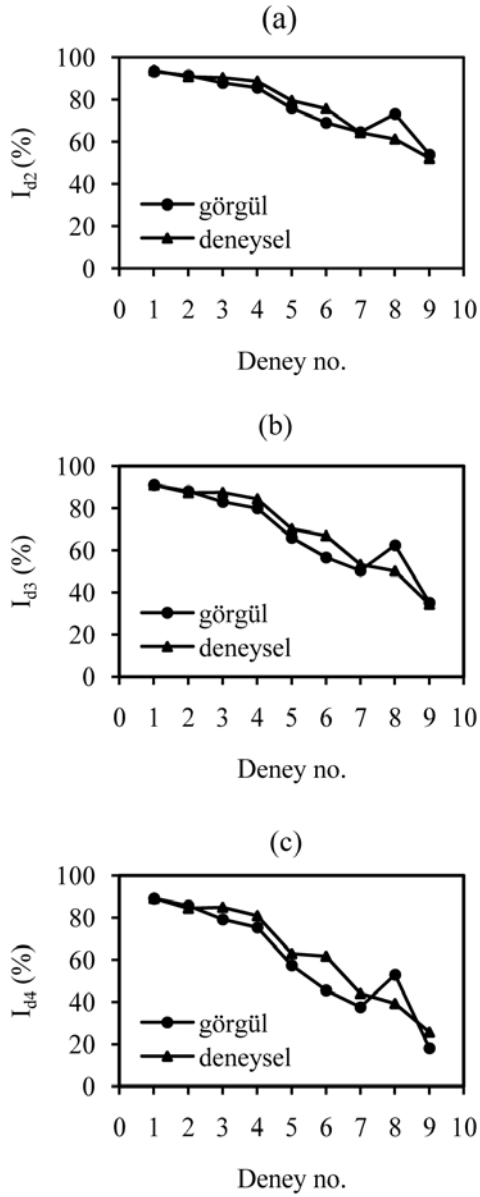
Çevrim sayısına göre $I_d$ değerleri (%)				Kuru birim hacim ağırlık, $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	Nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$ (MPa)
$I_{d1}$	$I_{d2}$	$I_{d3}$	$I_{d4}$		
96.33	93.87	91.07	89.18	23.24	3.57
95.90	93.46	91.43	89.58	25.50	4.54
94.63	91.13	88.24	85.68	25.50	4.54
96.92	94.52	92.03	90.10	23.24	3.57
96.13	93.85	91.15	89.14	23.24	3.57
95.23	91.82	88.93	86.63	26.58	3.34
93.89	90.04	86.87	84.32	26.58	3.34
94.03	89.93	85.98	82.98	19.81	3.21
94.24	90.48	86.64	83.68	19.81	3.21
96.64	93.06	90.21	86.96	21.97	3.42
97.24	91.38	86.90	84.43	21.97	3.42
84.06	71.15	60.05	51.96	20.10	1.08
82.83	69.42	57.32	46.02	20.10	1.08
83.26	66.84	47.78	33.61	13.73	1.51
83.02	62.92	45.53	31.71	13.73	1.51
85.14	55.61	48.08	32.25	19.71	2.41
87.14	65.10	57.65	46.55	19.71	2.41
85.14	70.99	52.89	40.23	19.12	2.87
82.51	61.07	44.17	32.16	19.12	2.87

Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi, kolay uygulanabilen bir indeks deneyidir. Bununla birlikte, deney örneklerinin hazırlamasının uzun sürmesi ve her çevrimden sonra fırında bekleme sürelerinin uzun olması, bu deneyi zaman alıcı hale getirmektedir. Bu nedenle kayaların 2., 3., ve 4. çevrimine ait  $I_d$  değerlerini tek çevrimli suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinden görgül olarak belirleyebilmek,  $I_{d1}$  değeri ile  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  değerleri arasında regresyon analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 8'de verilmiştir.  $I_{d1}$ 'den tahmin edilen  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  değerleri ile deneysel olarak bulunmuş  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  değerlerinin karşılaştırılması Şekil 7'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan kayaların nokta yükü dayanım indeksi ( $I_{s(50)}$ ) ve kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_d$ ) değerleri belirlenerek  $I_d$  ile olan ilişkileri regresyon analizleriyle incelenmiş ve elde edilen görgül eşitlikler Çizelge 9'da verilmiştir.  $I_{s(50)}$ 'den görgül eşitlikle kestirilen  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  değerleri ile deneysel olarak bulunmuş  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  değerleri Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Kayaların  $\gamma_d$  değerleri ile farklı çevrimlerdeki  $I_d$  değerleri arasındaki ilişkiler ise Çizelge 10'da,  $\gamma_d$ 'den görgül olarak elde edilen  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  değerleri ile deneysel olarak bulunmuş  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  değerlerinin karşılaştırılması ise Şekil 8'de verilmiştir.

Çizelge 7. Regresyon eşitliklerinin test edilmesinde kullanılan  $I_d$ ,  $\gamma_d$  ve  $I_{s(50)}$  değerleri.  
Table 7.  $I_d$ ,  $\gamma_d$  and  $I_{s(50)}$  values used for testing the regression equations.

Çevrim sayısına göre $I_d$ değerleri (%)				Kuru birim hacim ağırlık, $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	Nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$ (MPa)
$I_{d1}$	$I_{d2}$	$I_{d3}$	$I_{d4}$		
96.33	93.87	91.07	89.18	23.24	3.57
95.51	90.94	87.29	84.34	21.97	3.42
93.87	90.37	87.44	84.94	25.50	4.54
92.91	88.78	84.35	80.83	19.81	3.21
88.45	79.49	70.14	62.87	19.12	2.87
85.48	75.68	66.82	61.66	26.58	3.34
83.49	64.20	53.23	43.90	20.10	1.08
87.34	61.24	50.12	39.25	19.71	2.41
78.65	52.11	34.27	25.45	13.73	1.51



Şekil 7.  $I_{d1}$ 'e bağlı görgül ve deneysel olarak belirlenmiş (a)  $I_{d2}$ , (b)  $I_{d3}$  ve (c)  $I_{d4}$  değerleri arasındaki ilişki.

Figure 7. The relationship between experimentally and empirically defined (a)  $I_{d2}$ , (b)  $I_{d3}$  and (c)  $I_{d4}$  values as a function of  $I_{d1}$  values.

## TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı kaya türlerinde örnek köşeliliğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksini nasıl etkilediği nicel olarak belirlenmiştir. Mikro süreksizlik içermeyen ve homojen mineralojik bileşime sahip kayalarda örneklerin köşeliliğine bağlı olarak  $I_{d2}$  değerinde % 3.66 ile % 26.06 arasında değişen bir farklılık belirlenmiştir.

Çizelge 8.  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$ 'ün  $I_{d1}$  ile istatistiksel ilişkisi.  
Table 8. The statistical relationship of  $I_{d1}$  with  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  and  $I_{d4}$ .

İlişki	Korelasyon katsayısı (r)	Ortalama mutlak hata
$I_{d2}=2.240I_{d1}-122.4$	0.95	3.46
$I_{d3}=3.179I_{d1}-215.2$	0.97	4.47
$I_{d4}=4.009I_{d1}-297.2$	0.97	6.89

Çizelge 9.  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  ile  $I_{s(50)}$  arasındaki istatistiksel ilişkiler.

Table 9. Statistical relationships of  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  and  $I_{d4}$  with  $I_{s(50)}$ .

İlişki	Korelasyon katsayısı (r)	Ortalama mutlak hata
$I_{d1}=4.739I_{s(50)}+76.77$	0.83	3.03
$I_{d2}=10.10I_{s(50)}+51.02$	0.75	7.13
$I_{d3}=14.37I_{s(50)}+30.87$	0.77	9.64
$I_{d4}=18.14I_{s(50)}+13.11$	0.76	10.97

Çizelge 10.  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  ve  $I_{d4}$  ile  $\gamma_d$  arasındaki istatistiksel ilişkiler.

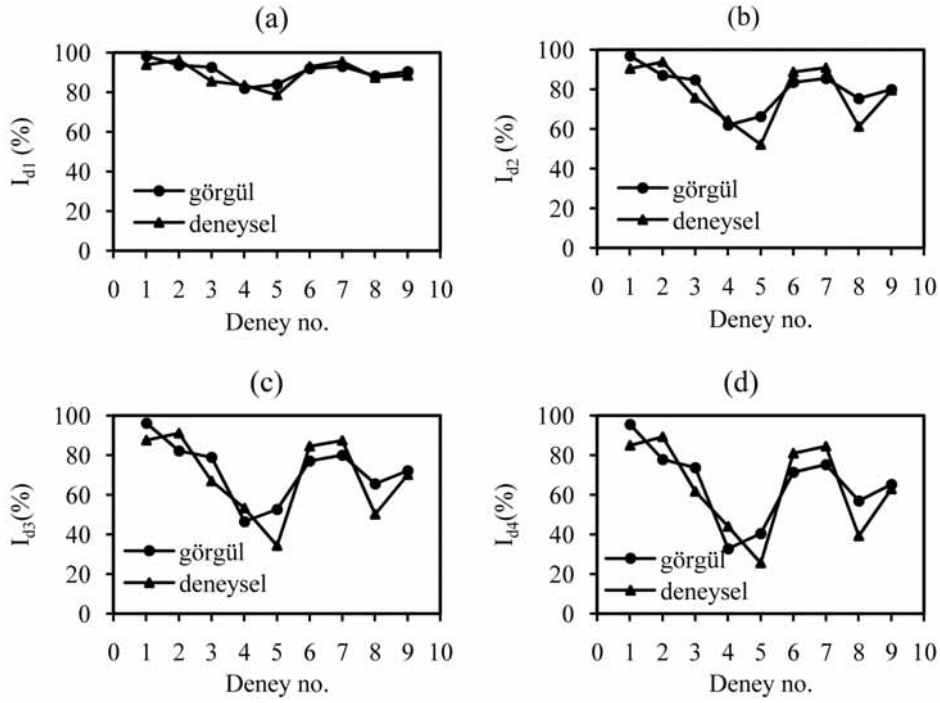
Table 10. Statistical relationships of  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$ ,  $I_{d3}$  and  $I_{d4}$  with  $\gamma_d$ .

İlişki	Korelasyon katsayısı (r)	Ortalama mutlak hata
$I_{d1}=1.170\gamma_d+65.76$	0.73	3.92
$I_{d2}=2.704\gamma_d+23.12$	0.71	10.08
$I_{d3}=4.055\gamma_d-13.17$	0.77	12.77
$I_{d4}=5.153\gamma_d-43.22$	0.78	14.39

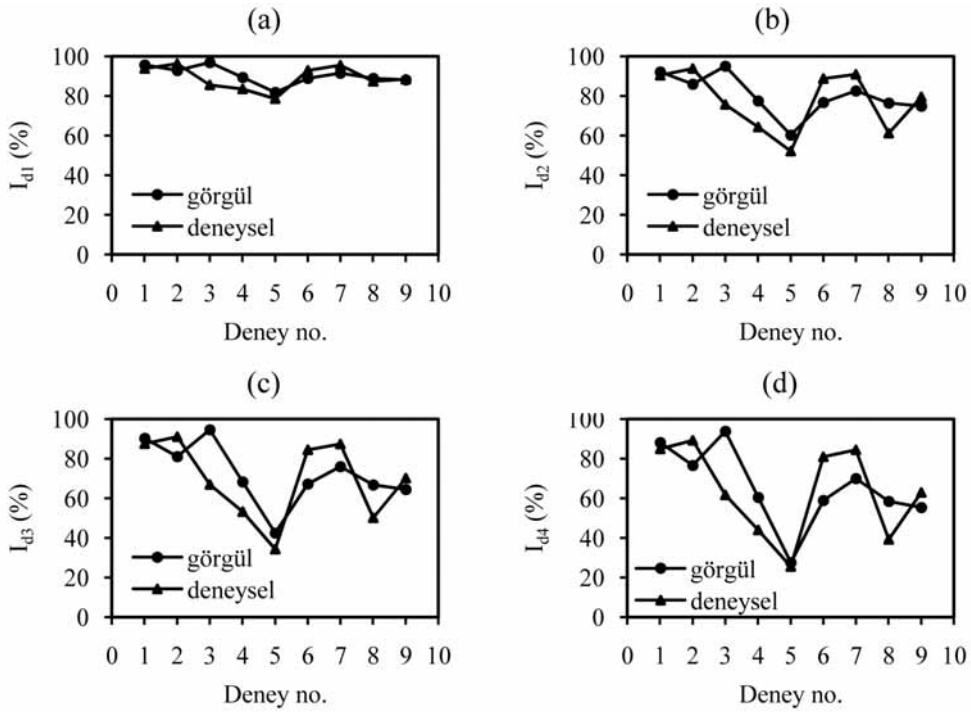
Gamble (1971) tarafından önerilen duraylılık sınıflamasında, özellikle yüksek  $I_{d2}$ 'ne sahip kayaların  $I_{d2}$  değerlerinin belirlenmesinde, köşelilikten ya da başka etkenlerden kaynaklanacak küçük farklar bile, kayacın duraylılık sınıflamasındaki yerinin değişmesine neden olacaktır. Bu olumsuz durum, orta duraylılık sınıfı üzerindeki sınıf sayısı azaltılması ve sınıf aralıklarının artırılmasıyla nispeten ortadan kaldırılabilecektir.

Mikro süreksizlik içermeyen kayalarda deney örneklerinin köşeliliği, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksini etkileyen önemli bir etken olmuştur. Mikro süreksizlik içeren kayalarda ise, köşeliliğin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı, asıl etkinin yapısal özelliklerden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Tek ve çok çevrim sonucunda belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksleri arasındaki



Şekil 8.  $I_{s(50)}$ 'ye bağlı görgül eşitlikten tahmin edilmiş ve deneysel olarak belirlenmiş (a)  $I_{d1}$ , (b)  $I_{d2}$ , (c)  $I_{d3}$  ve (d)  $I_{d4}$  değerleri arasındaki ilişki.  
 Figure 8. The relationship between experimentally and empirically determined (a)  $I_{d1}$ , (b)  $I_{d2}$ , (c)  $I_{d3}$  and (d)  $I_{d4}$  values as a function of  $I_{s(50)}$ .



Şekil 9.  $\gamma_d$ 'ye bağlı görgül eşitlikten tahmin edilmiş ve deneysel olarak belirlenmiş (a)  $I_{d1}$ , (b)  $I_{d2}$ , (c)  $I_{d3}$  ve (d)  $I_{d4}$  değerleri arasındaki ilişki.  
 Figure 9. The relationship between experimentally and empirically determined (a)  $I_{d1}$ , (b)  $I_{d2}$ , (c)  $I_{d3}$  and (d)  $I_{d4}$  values as a function of  $\gamma_d$ .

görgül ilişkilerde çok kuvvetli pozitif korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Korelasyon katsayılarına göre, çevrim sayıları arttıkça görgül ilişki daha da kuvvetlenmektedir.

Çalışmada kullanılan kaya türlerinin kuru birim hacim ağırlığı ve nokta yükü dayanım indekslerinin  $I_d$  ile olan görgül ilişkileri incelendiğinde, kuvvetli pozitif ilişkinin olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, görgül eşitliklerden tahmin edilen ve deneyle belirlenen  $I_d$  değerleri arasında oldukça yüksek ortalama mutlak hata oranları ortaya çıkmaktadır. Bu durum, çalışmada kullanılan kayalara ait bozunma derecesi, mineralojik bileşim, paketlenme yoğunluğu, kristallerin dokanak tipi, gözeneklilik gibi etkenlerdeki farklılığın duraylılık ile fiziksel özellikler arasındaki ilişkiyi zayıflatmış ve belirsizleştirdiğini göstermektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, çalışmalar sırasında bilimsel görüş ve önerilerini esirgemeyen Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Kamil Kaya-balı'na, ince kesitlerin ve XRD analizlerinin yapımından yardımcı olan MTA Genel Müdürlüğü'nden Neşat Konak ve Bilgin Dönmez'e, petrografik incelemelerde yardımcı olan Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Y. Kağan Kadioğlu'na, yapıcı eleştirileri ve yazımdaki düzeltmeleri için Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Reşat Ulusay'a ve Candan Gökçeoğlu'na, ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Tamer Topal'a teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

ASTM, 1990. Standard test method for slake slake durability of shales and similar weak rocks (D4644). Annual Book of ASTM Standards Vol. 4. 08. ASTM, Philadelphia, PA. 863-865.

Aufmuth, R.E., 1974. Site engineering indexing of rocks: Field testing and instrumentation of rock. American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication, 554, 81-99.

Aydan, O., and Ulusay, R., 2003. Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in

Cappadocia, Turkey. Engineering Geology, 69, 245-272.

- Bayhan, E., Temel, A., Şahbaz, A., Varol, B., Kazancı, N., Görmüş, S. ve Ergin, M., 1998. Mudanya-Ulubat Gölü (Bursa Yöresi) Orta-Üst Miyosen-Kuvaterner istifinin mineralojik incelenmesi. Yerbilimleri, 20, 55-62.
- Bell, F.G., Entwisle, D.C., and Culshaw, M.G., 1997. A geotechnical survey of some British Coal Measures mudstones, with particular emphasis on durability. Engineering Geology, 46, 115-129.
- Çetin, H., Laman, M., and Ertunç, A., 2000. Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Ataturk Dam in Turkey. Engineering Geology, 56, 225-242.
- Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M., and Kaneko, K., 2002. Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks. Engineering Geology, 65, 31-34
- Franklin, J.A., and Chandra, R., 1972. The slake durability test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9, 325-341.
- Gamble, J.C., 1971. Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks. PhD Thesis, University of Illinois (yayımlanmamış).
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R., and Sönmez, H., 2000. Factor effecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. Engineering Geology, 57, 215-237.
- Golden Software, 2000. Didger 2.0, Golden Software Inc., USA.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Ankara.
- Kayabalı, K., Beyaz, T., and Kolay, E., 2006. The effect of the ph of the testing liquid

- on the slake durability of gypsum. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65, 65-71.
- Ketin, İ., 1955. Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu masifinin tektonik durumu. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 6, 1-40.
- Kolay, E. ve Kayabalı, K., 2005. Agregaların köşelliliğinin ve pürüzlülüğünün belirlenmesinde fractal boyut yönteminin kullanılması. Yerbilimleri, 26 (2), 49-61.
- Kolay, E., and Kayabalı, K., 2006. Investigation of the effect of aggregate shape and surface roughness on the slake durability index using the fractal dimension approach. Engineering Geology, 86, 271-284.
- Koncagül, E., and Santi, P.M., 1998. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36, 139-153.
- Mandelbrot, B.B., 1967. How long is the coast of Great Britain: Statical self similarity and the fractional dimension. Science, 156, 636-638.
- Moon, V.G., and Beattie, A.G., 1995. Textural and microstructural influences on the durability of Waikato coal measures mudrocks. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, 303-312.
- MTA, 1997. Türkiye jeoloji haritaları. Maden Tetkik Arama Enstitüsü, 55. Ankara-F15 paftası.
- Taylor, R.K., 1988. Coal Measures mudrocks: composition, classification and weathering processes. Quarterly Journal of Engineering Geology. 21, 85-99.
- Temel, A., 1992. Kapadokya eksploziv volkanizmasının petrolojik ve jeokimyasal özellikleri. Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi (yayımlanmamış).
- Ulusay, R., Arıkan, F., Yoleri, M.F., and Çağlayan, D., 1995. Engineering geological characterization of coal mine waste material and evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in a strip mine SW Turkey. Engineering Geology, 40, 77-101.
- Vallejo, L.E., 1994. Fractal analysis of the slake durability test. Canadian Geotechnical Journal, 31, 1003-1008.
- Yılmaz, İ., and Karacan, E., 2005. Slaking durability and its effect on the Doline formation in the gypsum. Environmental Geology, 47, 1010-1016.