

## KAYAÇLARIN TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI TAHMİNİNDE NOKTA YÜKÜ DENEY YÖNTEMLERİ VE POROZİTENİN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Evaluation of Point Load Test Methods and Porosity for Estimating the Uniaxial Compressive Strength of Rocks*

Kadir KARAMAN (\*)  
Ayhan KESİMAL (\*\*)

### ÖZET

Nokta yükü dayanım indeksi ( $Is_{(50)}$ ) ve görünür porozite ( $n$ ) kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) tahmininde hızlı, ucuz ve kolay deneyler olmalarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Nokta yükü dayanım indeksi deney yöntemleri (eksenel ve çapsal) ve görünür porozite değerleri kullanılarak kayaçların UCS tahmini için istatistiksel eşitlikler belirlenmiştir. Bu çalışmada 3'ü magmatik, 2'si metamorfik ve 4'ü tortul olmak üzere 9 farklı kayaç türü üzerinde deneyler yapılmıştır. Eksenel ve çapsal deney yöntemleri için, UCS ve nokta yükü dayanım indeksi değerleri arasında güçlü lineer ilişkiler bulunmuştur. Buna karşın, eksenel nokta yükü dayanım indeksi yönteminin çapsal yöntemle kıyasla kayaçların UCS tahmininde daha az güvenilir olduğu görülmüştür. Bu çalışma, görünür porozitenin %15'ten %24'e çıkması durumunda biyomikritik kireçtaşları için UCS/ $Is_{(50)}$  oranının 24'ten 11'e düştüğünü göstermiştir. UCS ve  $n<1\%$  değerleri arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve literatürde bulunan bazı çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ayrıca görünür porozitenin ( $n<1\%$ ) kayaçların UCS değerlerini tahmin etmede güvenilir olmadığını ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Nokta Yükü Dayanım İndeksi, Görünür Porozite

### ABSTRACT

The point load index ( $Is_{(50)}$ ) and apparent porosity ( $n$ ) have been commonly used for predicting the uniaxial compressive strength (UCS) of rocks, due to the fact that they are quick, inexpensive and easy test methods. Statistical equations have been determined for estimating of the UCS of rocks by means of the point load index test methods (axial and diametral) and apparent porosity values. Nine different rock types were sampled and tested in the current study, 3 of which were igneous, 2 were metamorphic, and 4 were sedimentary. Strong linear relations between the point load strength index values and the UCS values were found for the axial and diametral test methods. Notwithstanding this, it was shown that estimating the UCS of rocks using axial point load strength index method is less reliable compared with the diametral method. The current study showed that an increase in apparent porosity from 15% to 24% leads to decrease in UCS/ $Is_{(50)}$  ratio from 24 to 11 for biomicritic limestone. The relationship between UCS and porosity ( $n<1\%$ ) values were evaluated and compared with the previous studies in the literature. The current study revealed that porosity ( $n<1\%$ ) values are not reliable for estimating of the UCS.

**Key words:** Uniaxial Compressive Strength, Point Load Strength Index, Apparent Porosity

---

(\*) Arş. Gör. Karadeniz Teknik Üni, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON, kadirkaraman@ktu.edu.tr  
(\*\*) Prof. Dr. Karadeniz Teknik Üni, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

## 1. GİRİŞ

Yeraltı ve yerüstü yapılarının tasarımında, kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, inşaat, maden ve jeoloji mühendisleri için çok önemlidir. En yaygın kullanılan mekanik parametre tek eksenli basınç dayanımı (UCS) olup (Karaman vd, 2011), hem Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM, 2007), hem de Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM, 1984) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Ancak, kayaçların UCS değerlerini belirlemede kullanılan deney aleti oldukça pahalı olup, yüksek kaliteli karot örneklerine ihtiyaç duyulmakta ve özellikle örneklerin deneye hazırlanması zaman almaktadır (Fener vd, 2005; Kılıç ve Teymen, 2008; Kahraman ve Yeken, 2010; Ersoy ve Kanık, 2012). Ayrıca, çok zayıf, ince tabakalı ve çok sık eklemlili kaya kütlelerinden istenilen geometride karot örneklerinin elde edilmesi oldukça zor olmaktadır (Gökçeoğlu ve Zorlu, 2004; Mishra ve Basu, 2012; Singh vd, 2012). Bu nedenle, UCS değerini tahmin etmek için nokta yükü dayanım indeksi ( $Is_{(50)}$ ) ve görünür porozite ( $n$ ) gibi dolaylı yöntemler; daha hızlı, daha basit ve daha ekonomik çözümler sunduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır (Cargill ve Shakoor, 1990; Kahraman, 2001; Sönmez vd, 2006; Baykasaoğlu vd, 2008).

$Is_{(50)}$ , hem laboratuvar hem de arazide uygulanabilirliği ve test kolaylığı açısından UCS tahmini için yaygın olarak kullanılan ve kabul gören bir deney yöntemidir. Birçok araştırmacı UCS ve  $Is_{(50)}$  arasında deneysel ilişki sağlamak için farklı kökenden (magmatik, metamorfik ve tortul) muhtelif kayaç örnekleri üzerinde çalışmalarda bulunmuş ve UCS tahmini için eşitlikler önermişlerdir (Broch ve Franklin, 1972; Kahraman, 2001; Tsiambaos ve Sabatakakis, 2004; Heidari vd, 2012; Singh vd, 2012). Bu eşitliklerin çoğu benzer sonuçlar vermesine rağmen, tüm kayaç tipleri için  $Is_{(50)}$ 'den UCS tahminine yönelik tek bir faktör yoktur (Brook, 1985; Chau ve Wong, 1996; Hawkins, 1998; Romana, 1999). Ayrıca birçok yazar (Palchik ve Hatzor, 2004; Fener vd, 2005; Akram ve Bakar, 2007; Kılıç ve Teymen, 2008),  $Is_{(50)}$ 'yi belirleme yöntemlerinden sadece çapsal yöntemi kullanmış olup, çok az sayıda yazar (Heidari vd, 2012) ise diğer yöntemlerle de (eksenel ve şekilsiz örnekler üzerinde) deney yaparak sonuçlarını UCS değerleriyle karşılaştırmıştır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında hem çapsal hem de

eksenel  $Is_{(50)}$  deneyler yapılarak sonuçları UCS değerleriyle karşılaştırılmıştır. Kayaçların  $n$  (%) değerleri, UCS (Palchik ve Hatzor, 2004; Moh'd, 2009) ve UCS/ $Is_{(50)}$  oranını (Palchik ve Hatzor, 2004) etkilediğinden, bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular irdelenmiş ve tartışılmıştır. UCS,  $Is_{(50)}$ , UCS/ $Is_{(50)}$  ve  $n$  değerlerinin arasında elde edilen eşitlikler ve bulguların bundan sonraki araştırmacılara pratik çözüm sağlayacağı düşünülmüştür.

## 2. ÖRNEKLEME VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 3'ü magmatik, 2'si metamorfik ve 4'ü tortul olmak üzere 9 farklı kayaç üzerinde çalışılmıştır. Magmatik kayaçlar ve tortul kayaçlar Trabzon, metamorfik kayaçlar ise Amasya (mermer-1) ve Muğla illerinden (mermer-2) temin edilmiştir. Standartlara uygun karot örneklerinin alınabilmesi için, arazide her blok örneğinin makroskopik incelemeleri yapılarak çatlak, kırık ve ayrışma gibi olumsuzluklar giderilmeye çalışılmıştır.

Laboratuvarda karot alma ve düzeltme makineleri deney örneklerinin hazırlanması için kullanılmıştır. UCS,  $Is_{(50)}$  ve  $n$  (%) deneyleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. Deneyler sağlam/taze karot örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (ayrışma durumları aynı). UCS ve eksenel- $Is_{(50)}$  deneyleri tabakalanma düzlemine dik yönde, çapsal- $Is_{(50)}$  deneyleri ise tabakalanma düzlemine paralel yönde yapılmıştır. Magmatik kayaçlar çoğunlukla tabakalanma düzlemi içermediğinden, deneyler UCS deneylerinde kullanılan örnekler üzerinde yapılmıştır. Zayıflık düzlemi veya içerdiği kırık zonlardan dolayı örnek yenildiğinde sonuçlar çıkarılarak ortalamaya dahil edilmemiştir. Deneylerde kullanılan kayaç isimleri, ortalama değerler ve standart sapma değerleri Çizelge 1'de yer almaktadır.

### 2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

UCS deneylerinde boy/çap (L/D) oranı en az 2.5 olan NX (54.7 mm) çaplı karot örnekleri kullanılmıştır. Deneyler, 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü makine ile yükleme hızı 0.5–1.0 MPa/s arasında olacak şekilde uygulanmıştır. Biyomikritik kireçtaşları için 10'ar adet diğer kayaçlar için 5'er adet olmak üzere toplam 65 karot örneği deneye tabi tutulmuştur (Şekil 1a, 1d).

Çizelge 1. Kayaçların Ortalama DeneY Sonuçları ve Standart Sapma Değerleri

Kayaç adı	UCS (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa, eksenel)	$I_{s(50)}$ (MPa, çapsal)	Görünür porozite (%)
Bazalt	86.9±9.2	3.10±0.18	3.56±0.08	1.3±0.04
Andezit	172.8±24.5	9.49±0.43	8.62±0.27	0.9±0.04
Dasit	111.2±7.5	4.04±0.95	4.19±0.80	0.87±0.06
Mermer-1	40.7±12.3	2.58±0.18	2.45±0.14	0.28±0.03
Mermer-2	53.2±5.7	2.66±0.15	2.62±0.12	0.17±0.01
Biyomikritik kireçtaşı (açık gri)	11.6±1.9	1.02± 0.12	0.74± 0.11	19.74±0.95
Biyomikritik kireçtaşı (koyu gri)	18.9±1.1	1.97±0.13	0.78±0.11	14.92±3.28
Biyomikritik kireçtaşı (kırmızı)	8. 5±0.9	1.54±0.12	0.55±0.22	18.06±1.14
Biyomikritik kireçtaşı (sarı)	7.7±1.2	0.92±0.24	0.67±0.21	23.76±1.32

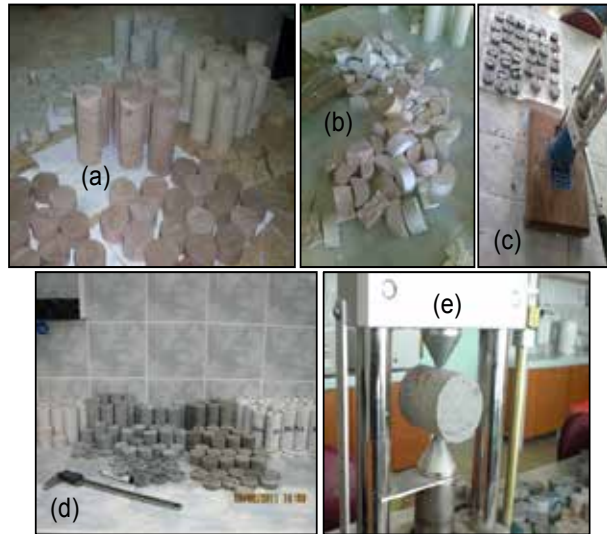
## 2.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi

İlk olarak ISRM (1985) tarafından standart haline getirilen  $I_{s(50)}$  için eksenel, çapsal ve şekilsiz olmak üzere üç farklı değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada, her kayaç türü için eksenel ve çapsal deneyler NX çaplı örnekler üzerinde yapılmıştır. Örnek boyutları çapsal deney için L/D oranı yaklaşık (1.1–1.2) iken, eksenel deney için L/D oranı (0.5–0.55) arasında olan karot örnekleri kullanılmıştır. Örnekler 10–60 saniye arasında kırılacak şekilde yüklemeye tabi tutulmuştur. Deneylerde dijital nokta yükü test aleti kullanılmış olup (Şekil 1c, 1e), ilk olarak düzeltilmemiş nokta yükü indeksi ( $I_s$ ) bulunmuştur. Düzeltilmemiş nokta yük dayanımı değeri referans çapa (D=50 mm) göre düzeltmek için ISRM (2007) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır. Her yöntem için 10'ar adet örnek olmak üzere toplam 180 adet karot örneği çapsal

ve eksenel deneylerde kullanılmıştır (Şekil 1b, c ve e). Her kaya türü ve deney yöntemi için en yüksek ve en düşük iki sonuç ortalamaya dahil edilmemiş olup, geriye kalan 6 değerin ortalaması kullanılmıştır.

## 2.3. Görünür porozite deneyleri

Her kayaç türü için en az 4–5 deney NX çaplı örnekler üzerinde yapılmıştır. Karot örneklerinin içerdiği boşluk hacimleri doygun ve kuru ağırlıkları (etüvde 24 saat 105°C'de) arasındaki fark ile bulunmuş olup, toplam hacim ise karotların boy ve çapının 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas ile ölçülmesiyle hesaplanmıştır. Örneklerin ağırlıkları 0.01 g hassasiyetli terazi ile ölçülmüştür. Görünür porozite değerleri her örnek için boşluk hacminin örnek hacmine oranının yüzdesi olarak bulunmuştur. Toplamda yaklaşık 40–45 karot örneği deneylerde kullanılmıştır.



Şekil 1. Biyomikritik kireçtaşları (a) ve eksenel deney sonrası örnekler (b ve c), diğer kayaç gruplarından bazıları (d) ve çapsal deneyin uygulaması (e)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Kayaçların Dayanım Özellikleri

Kayaçların UCS değerleri 7.7 ile 172.8 MPa, eksenel  $I_{s(50)}$  değerleri 0.92 ile 9.49 MPa, çapsal  $I_{s(50)}$  değerleri 0.55 ile 8.62 MPa ve  $n$  (%) değerleri 0.17 ile 23.76 (%) arasında değişmektedir. ISRM (1981) tarafından önerilen UCS dayanım sınıflamasına göre bu çalışmada kullanılan kayaçların dayanım sınıflaması değerlendirilmiştir (Çizelge 2). Çizelge 2'ye göre, bu çalışmada kaya sınıfı "düşük dayanımlı" olan tortul kayaçlar kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Metamorfik kayaçlar "orta dayanımlı" kaya sınıfında yer almaktadır. Magmatik kayaçların ise "yüksek dayanımlı" kaya sınıfına dahil olduğu görülmektedir. Bieniawski (1975) tarafından önerilen kayaçların nokta yükü dayanımına göre sınıflandırılması eksenel ve çapsal deney bulgularına göre değerlendirilmiştir (Çizelge 3).

Bütün kayaçlar dikkate alındığında, eksenel deney bulgularının bütün kaya sınıflarını temsil ettiği gözlenirken, çapsal deney bulgularının ise "düşük dirençli" haricinde diğer kaya sınıflarını içerdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca "çok düşük dirençli" tortul kayaçlarda (biyomikritik kireçtaşları) çapsal deney yöntemi ile elde edilen sonuçların eksenel deneye nazaran daha düşük sonuçlar verdiği ortaya çıkmaktadır. Diğer bir ifadeyle bu çalışmada kullanılan tortul kayaçlar için, eksenel yöntemin ( $I_{s(50)}$ ) çapsal yöntemine nazaran 1.37 ile 2.80 kat daha yüksek sonuçlar verdiği anlaşılmıştır (Çizelge 1). Çapsal deneyin kayacın tabakalanma düzlemine paralel yönde yapılmasının, kayacın daha düşük dayanımda yenilmesine neden olduğu düşünülmüştür. Bazı magmatik kayaçlarda (bazalt ve dasit) çapsal deney yöntemi ile elde edilen nokta yükü dayanımının eksenel deney yöntemine göre biraz yüksek sonuçlar verdiği (Çizelge 1), ancak dayanım sınıfı üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 2. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımına Göre Sınıflandırılması (ISRM, 1981)

Kaya sınıfı	UCS (MPa)	Magmatik	Metamorfik	Tortul
Çok düşük dayanımlı	<6	–	–	–
Düşük dayanımlı	6–20	–	–	4
Orta dayanımlı	20–60	–	2	–
Yüksek dayanımlı	60–200	3	–	–
Çok yüksek dayanımlı	>200	–	–	–

Çizelge 3. Kayaçların Nokta Yük Dayanımına Göre Sınıflandırılması (Bieniawski, 1975)

Kaya sınıfı	$I_{s(50)}$ (MPa)	Magmatik		Metamorfik		Tortul	
		Eks.	Çaps.	Eks.	Çaps.	Eks.	Çaps.
Çok düşük dirençli	< 1	–	–	–	–	1	4
Düşük dirençli	1 – 2	–	–	–	–	3	–
Orta dirençli	2 – 4	1	1	2	2	–	–
Yüksek dirençli	4 – 8	1	1	–	–	–	–
Çok yüksek dirençli	> 8	1	1	–	–	–	–

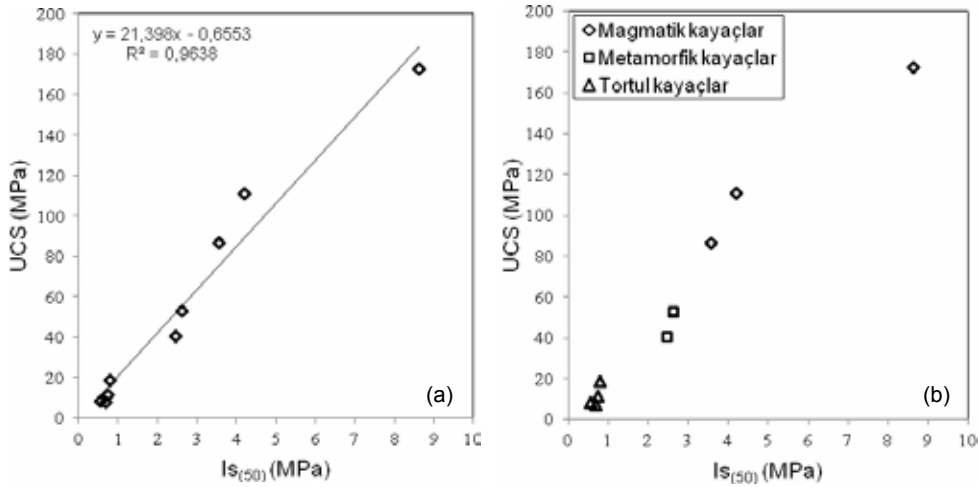
Eks.: Eksenel deney, Çaps.: Çapsal deney

### 3.2. Verilerin İstatistiksel Analizleri

Her bir bağımsız değişken için basit regresyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen ilişkiler arasında (üs, üstel, logaritmik, polinom ve lineer) deneysel sonuçları en iyi temsil eden ilişki belirlenmiştir. İlişkinin kuvveti  $R^2$  kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk olarak, kayaçların UCS değerleri ile çapsal- $Is_{(50)}$ , eksenel- $Is_{(50)}$  ve  $n$  (%) değerleri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Daha sonra UCS/ $Is_{(50)}$  oranı ile  $n$  (%) arasındaki ilişkiye bakılmıştır.

UCS ile çapsal- $Is_{(50)}$  arasında çok yüksek lineer ilişki gözlenmiştir (Şekil 2). UCS ile çapsal- $Is_{(50)}$  arasındaki ilişkinin kuvvetini ifade eden  $R^2 = 0.96$  olarak bulunmuştur. UCS ile eksenel- $Is_{(50)}$  arasında da lineer bir ilişki ( $R^2 = 0.89$ ) gözlenmiştir (Şekil 3). Şekillerden görüldüğü gibi UCS ile çapsal- $Is_{(50)}$  arasındaki ilişkiden elde edilen determinasyon katsayısının eksenel- $Is_{(50)}$  ile UCS arasındaki ilişkiye göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda UCS tahmini için çapsal- $Is_{(50)}$ 'nin eksenel- $Is_{(50)}$  yöntemine göre daha güvenilir olduğu

görülmüştür. Ancak, tortul kayaçlarda çapsal- $Is_{(50)}$  deneyleri tabakalanma düzlemine paralel yönde yapılmıştır. Bu nedenle elde edilen eşitliğin (Şekil 2) tüm deneyler, aynı yükleme durumu (tabakalanma düzlemine paralel veya dik yönde) sonuçlarına göre karşılaştırıldığında daha güvenilir olacaktır. Ayrıca, kayaçların kökenlerine (magmatik, metamorfik ve tortul) göre UCS ve  $Is_{(50)}$  arasındaki doğrunun eğiminin de farklı olabileceği şekillerden anlaşılmaktadır. Kılıç ve Teymen (2008) 19 farklı kayaç üzerinde yaptığı çalışmada, UCS ve  $Is_{(50)}$  arasındaki ilişkiyi en iyi temsil eden eğrinin logaritmik olduğunu ( $R^2$  0.98) ifade etmişlerdir. Kahraman vd (2005) ve Fener vd (2005) ise UCS ve  $Is_{(50)}$  arasındaki ilişkinin lineer olduğunu sırasıyla 38 farklı ( $R^2=0.61$ ) ve 11 farklı kayaç için ( $r=0.85$ ) belirtmişlerdir. Quane ve Russel (2003) UCS ve  $Is_{(50)}$  arasında dayanımı yüksek kayaçlarda lineer, dayanımı düşük kayaçlarda ise lineer olmayan bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Kahraman (2001) UCS ve  $Is_{(50)}$  arasında lineer bir ilişki bulmuş olup, kömür kökenli kayaçların diğer kayaçlara nazaran daha dik eğim çizgisine sahip olduğunu vurgulamıştır.



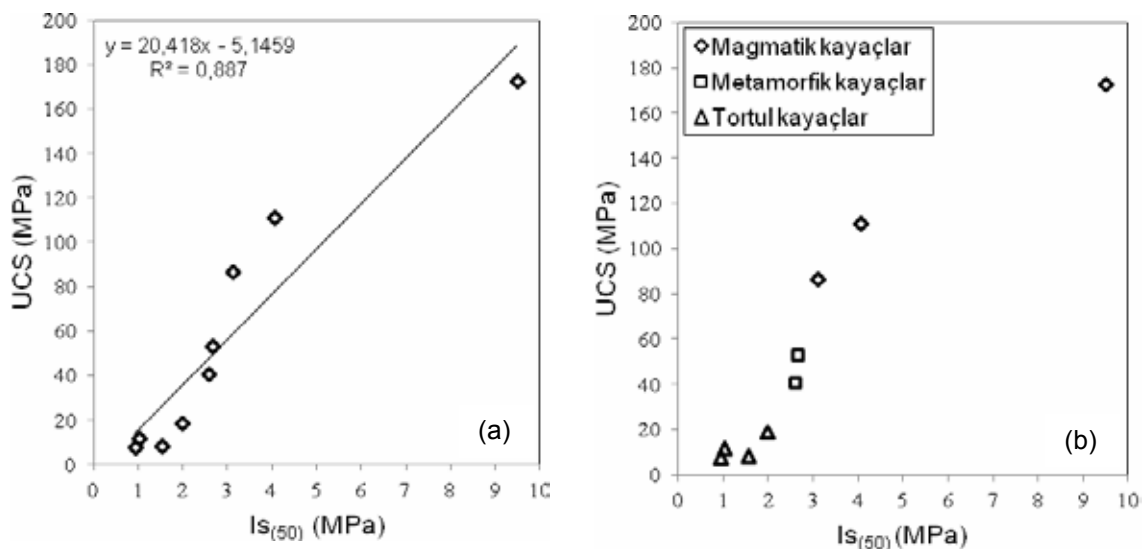
Şekil 2. UCS ve çapsal- $Is_{(50)}$  arasındaki ilişki (a) ve kayaçların jeolojik kökenine göre gösterimi (b)

UCS'nin pratik tahminine yönelik olarak UCS/ $Is_{(50)}$  oranı (k) üzerine literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar  $Is_{(50)}$ 'den UCS tahminini oldukça kolaylaştırmış olmasına rağmen tüm kayaç tipleri için tek bir "k" değeri mevcut değildir (Brook, 1985; Chau ve Wong, 1996; Hawkins, 1998; Romana, 1999). Genel olarak birçok yazar (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; ISRM, 1985), UCS/ $Is_{(50)}$

oranının (k) 20–25 arasında, farklı litoloji ve koşullar için 7–68 arasında (Hawkins, 1998), bununla beraber genel kümelenmenin 10–30 arasında değiştiğini ifade etmektedir (Al-Jassar ve Hawkins, 1979; Norbury, 1986; Topal, 2000). "k" değerinin dayanımı yüksek kayaçlarda büyük, düşük kayaçlarda ise küçük değer aldığı bilinmektedir. Palchik ve Hatzor (2004) tebeşir taşları için k değerinin 8–18 arasında değiştiğini,

Tsiambaos ve Sabatakakis (2004) ise zayıf tortul kayaçlar için  $k$  değerinin 13 ( $Is_{(50)} < 2$  MPa), dayanımı daha yüksek kayaçlar için 28 ( $Is_{(50)} > 5$  MPa) olduğunu işaret etmişlerdir. Karaman (2011) dayanımları 7–19 MPa arasında değişen dört farklı biyomikritik kireçtaşı için eksenel, çapsal ve şekilsiz deney yöntemlerine göre  $k=12$  değerinin UCS tahmininde kullanılabileceğini ifade etmiştir. Topal (2000) tüfler üzerinde yaptığı çalışmada  $k$  değerinin 20'nin altında genelde 13–14 olduğunu ve zayıf kayaçlar için,  $k=22-24$  değerinin kullanılmaması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmada hem eksenel hem de çapsal deney için  $k$  değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4). Eksenel deney sonuçları, tortul

kayaçlar için  $k=6-11$ , metamorfik kayaçlar için  $k=15-20$  ve magmatik kayaçlar için  $k=18-28$  değerlerini göstermiştir. Çapsal deney sonuçlarına göre; tortul kayaçlar için  $k$  değerleri 11–24 (genelde 11–15 arasında), metamorfik kayaçlar için 17–20 ve magmatik kayaçlar için 20–27 bulunmuştur. Genel olarak bu çalışmada, dayanımı yüksek kayaçlarda büyük, düşük kayaçlarda ise küçük  $k$  değeri bulunmuş ve literatürle paralel sonuçlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca “düşük dayanımlı” kaya sınıfına giren tortul kayaçların yukarıda ifade edildiği gibi çapsal- $Is_{(50)}$  değerlerinin daha düşük olması, “ $k$ ” değerini eksenel yöntemle göre artırdığı ortaya çıkmıştır.



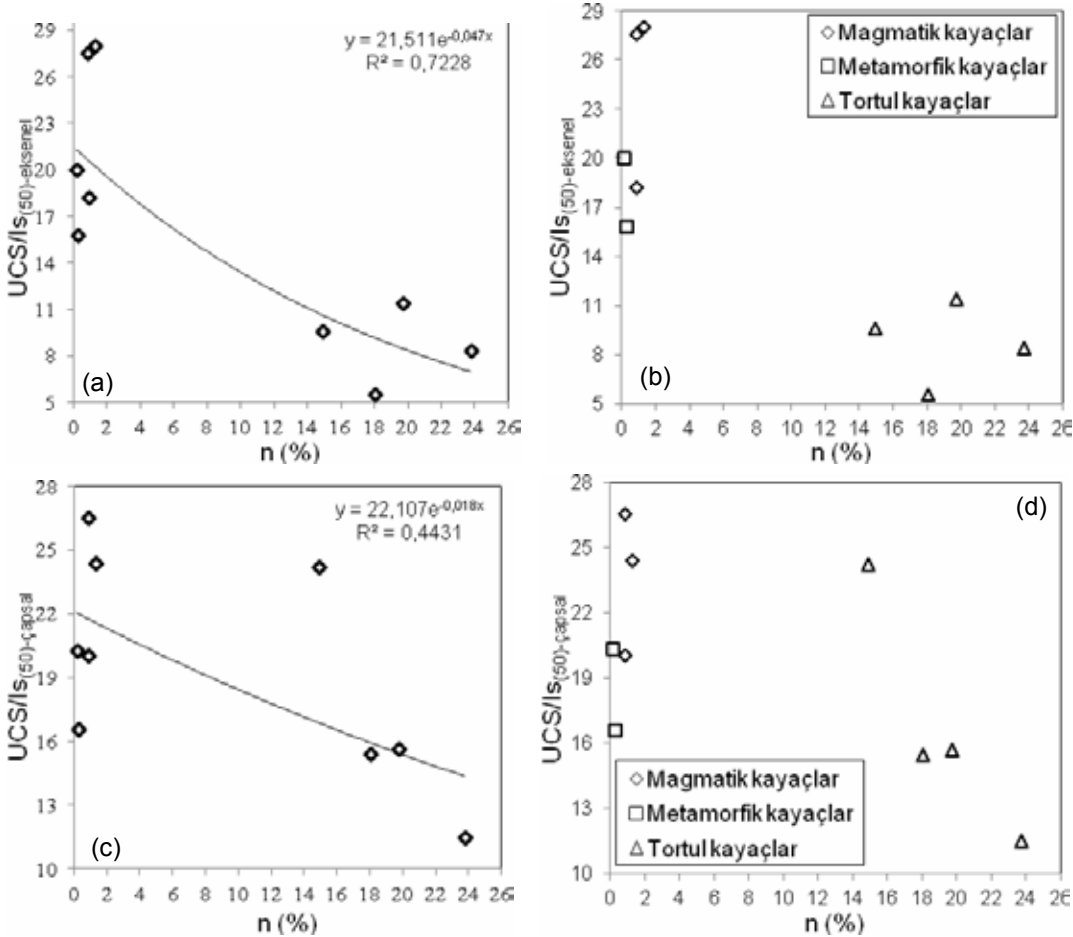
Şekil 3. UCS ve eksenel- $Is_{(50)}$  arasındaki ilişki (a) ve kayaçların jeolojik kökenine göre gösterimi (b)

Çizelge 4. Kayaçlar İçin Eksenel ve Çapsal Deney Yöntemlerine Göre Belirlenen  $k$ -Değerleri

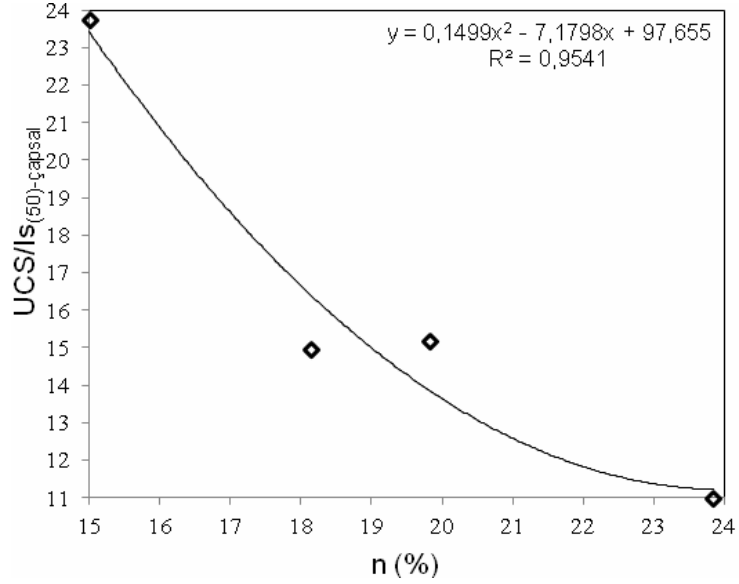
Kayaç adı	UCS (MPa)	$Is_{(50)}$ (MPa, eksenel)	$k$ -değeri	$Is_{(50)}$ (MPa, çapsal)	$k$ -değeri
Bazalt	86.9	3.10	28.03	3.56	24.41
Andezit	172.8	9.49	18.21	8.62	20.05
Dasit	111.2	4.04	27.52	4.19	26.54
Mermer-1	40.7	2.58	15.78	2.45	16.61
Mermer-2	53.2	2.66	20.00	2.62	20.31
Biyomikritik kireçtaşı (açık gri)	11.6	1.02	11.37	0.74	15.68
Biyomikritik kireçtaşı (koyu gri)	18.9	1.97	9.59	0.78	24.23
Biyomikritik kireçtaşı (kırmızı)	8.5	1.54	5.52	0.55	15.45
Biyomikritik kireçtaşı (sarı)	7.7	0.92	8.37	0.67	11.49

Palchik ve Hatzor (2004) porozitesi yüksek tebeşir taşları (%18–44) üzerinde yaptığı çalışmada,  $UCS/Is_{(50)}$  oranının  $n$  (%) değerlerinden etkilendiğini ifade etmişlerdir. Yazarlar,  $n$  değerlerinin %18 den %40'a çıkması durumunda  $UCS/Is_{(50)}$  oranının üssel olarak 18'den 8'e düştüğünü ortaya koymuşlardır. Kahraman vd (2005) tarafından çalışılan magmatik, metamorfik ve tortul köken içeren 38 farklı kayaca göre,  $UCS/Is_{(50)}$  oranı ile  $n$  (%) arasında bir ilişki bulunamamıştır. Bunun nedeni olarak yazarlar, Palchik ve Hatzor (2004)'ün sadece tebeşir taşı üzerinde çalışma yaptıklarını ve bundan dolayı  $UCS/Is_{(50)}$  oranı ile  $n$  (%) arasında bir ilişki bulduklarını belirtmişlerdir. Bu çalışmada,  $UCS/Is_{(50)}$  oranı ile  $n$  (%) değerleri arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır (Şekil 4a, 4c). Şekil 4a'da determinasyon katsayısı  $R^2=0.72$  olup,  $n$  (%) arttıkça  $UCS/Is_{(50)}$  -eksenel oranının azaldığı anlaşılmaktadır. Ancak  $n<\%1$  olduğu durumda  $UCS/Is_{(50)}$

oranının yaklaşık 28'den 15'e kadar düştüğü, yani  $n$  değerlerinin oran üzerinde etkili olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 4c'de ise  $n<\%1$  olduğu durum için benzer bir durum söz konusu iken, biyomikritik kireçtaşlarının ayrı bir yönelimde olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle,  $UCS/Is_{(50)}$  -çapsal oranı ile  $n$  (%) arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek için biyomikritik kireçtaşları çapsal  $Is_{(50)}$  için ayrıca değerlendirilmiştir (Şekil 5). Biyomikritik kireçtaşları için  $n$  değerleri yaklaşık %15'den %24'e çıktığında,  $UCS/Is_{(50)}$  oranı yaklaşık 24'ten 11'e düşmektedir. Kahraman vd (2005) tarafından işaret edildiği gibi  $UCS/Is_{(50)}$  oranı kayaç tek tip olduğunda daha iyi sonuç vermektedir. Bu çalışmada,  $UCS/Is_{(50)}$  -çapsal oranı ile  $n$  (%) arasında, yüksek  $n$  içeren kayaçlar için daha iyi bir ilişkinin elde edilebileceği anlaşılmıştır. Ancak Şekil 5'te kullanılan veri sayısının az olmasından dolayı  $UCS/Is_{(50)}$  -çapsal ve görünür porozite (%) arasındaki ilişkinin güvenilir olmadığı düşünülmüştür.



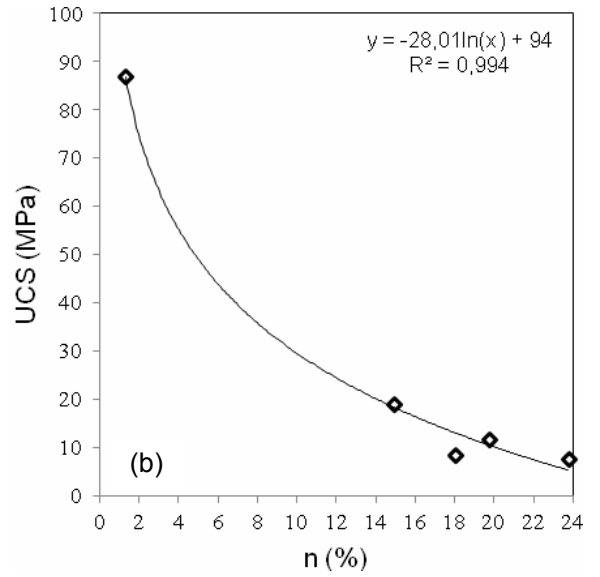
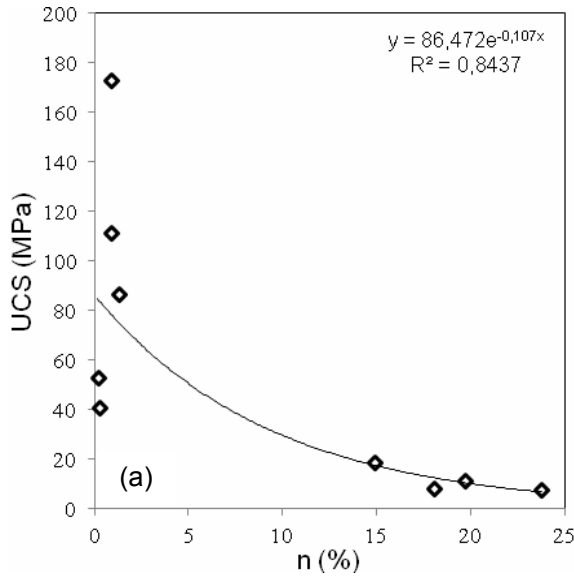
Şekil 4. Görünür porozitenin  $UCS/Is_{(50)}$  oranına etkisi; eksenel deney (a), kayaçların jeolojik kökenine göre gösterimi (b), çapsal deney (c) ve kayaçların jeolojik kökenine göre gösterimi (d)



Şekil 5. Biyomikritik kireçtaşlarında görünür porozitenin UCS/Is<sub>(50)</sub> oranına etkisi

UCS ile n (%) arasında negatif bir ilişki olduğu yaygın olarak bilinmekte olup, UCS arttıkça n (%) değeri aynı kayaçlar için düşmektedir. Sabatakakis vd (2002) ve Tuğrul (2004) UCS ve n (%) arasında üstel bir ilişki olduğunu, Tuğrul ve Zarif (1999) ise bu parametreler arasında lineer bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada tüm n (%) değerleri ile UCS değerleri (Şekil 6a)

ve n>%1 değerleri ile UCS değerleri (Şekil 6b) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Her iki şekilde de UCS değerleri azaldıkça n (%) değerlerinde bir artış söz konusu olmuştur. Ancak tüm n (%) değerleri ile UCS değerleri arasında belirlenen determinasyon katsayısı (R<sup>2</sup>=0.84), n>%1 ile UCS arasında elde edilen katsayıdan (R<sup>2</sup>=0.99) düşük çıkmıştır.



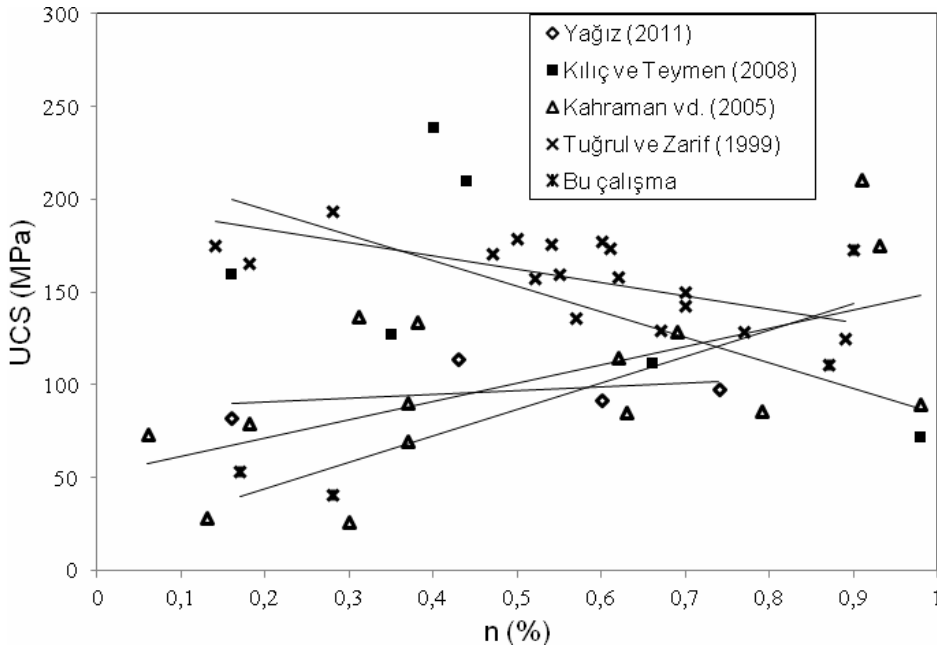
Şekil 6. Görünür porozite ile UCS arasındaki ilişki; tüm veriler (a) ve n > %1 için (b)



Şekil 6a'daki ilişkinin düşük çıkmasının nedeninin dört kayaca ait  $n$  değerinin %1'den küçük olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Veri sayısı artmasıyla veya  $n < \%1$  olan kayaç sayısının artmasıyla bu ilişkinin ( $R^2=0.84$ ) daha fazla düşebileceği anlaşılmaktadır. Birinci şekilde (Şekil 6a) en yüksek katsayı üstel fonksiyon ile elde edilirken, ikinci şekilde (Şekil 6b) logaritmik ilişki en yüksek determinasyon katsayısını vermiştir. Ancak, Şekil 6b'de veri sayısı az olduğundan (5 veri) elde edilen eşitliğin güvenilir olmadığı düşünülmüştür. UCS ile  $n > \%1$  değerleri arasındaki ilişki, farklı bölgelerden alınan ve farklı  $n$  içeriklerine ( $> \%1$ ) sahip daha fazla kayaç için kontrol edilmesi önerilmektedir.

Kahraman vd (2005) düşük  $n$  (%) içeren kayaçların daha yüksek dayanıma sahip olabileceğini ifade etmişlerdir. Aynı tür kayaç için Kahraman vd (2005) tarafından ifade edilen durumun söz konusu olabileceği düşünülmüştür. Ancak, bu çalışmada  $n$  değeri %1'den daha düşük olan kayaçların UCS değerleri 40.7 ile 172.8 MPa arasında değişmiştir. Çünkü farklı jeolojik kökene (magmatik ve metamorfik) ve mineralojik içeriğe sahip kayaçlar bir arada değerlendirilmiştir. Literatürden farklı olarak  $n < \%1$  değerleri ile UCS arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı ortaya çıkmış yani UCS arttıkça

$n$  (%) değerlerinin de arttığı gözlenmiştir (Şekil 7).  $n$  değeri %1'in altında olan kayaçların farklı UCS değerlerine sahip olabileceğini doğrulamak için, literatürden yararlanılmıştır (Tuğrul ve Zarif, 1999; Kahraman vd, 2005; Kılıç ve Teymen, 2008; Yağız, 2011). Bu çalışmadan ve literatürden  $n$  değeri %1'in altında olan 46 farklı kayaç verileri değerlendirilmiştir (Şekil 7). Şekilden görüleceği gibi  $n < \%1$  ile UCS arasında bir değişken artarken diğer değişken azalmakta veya artmakta olduğundan bir ilişki varlığından söz etmek mümkün değildir. Dolayısıyla sadece  $n < \%1$  değerleri ile UCS tahmininin güvenilir olmayacağı bu çalışmadan anlaşılmıştır. Diğer yandan UCS ve  $n$  arasında beklenen negatif ilişki Tuğrul ve Zarif (1999) ve Kılıç ve Teymen (2008) verilerine göre elde edilmiştir. Kılıç ve Teymen (2008) verilerine göre (6 veri) UCS ile  $n < \%1$  değerleri arasında orta derecede üstel bir ilişki olmasına rağmen  $R^2=0.54$ ,  $n < \%1$  için UCS değerleri 72 ile 239 MPa gibi geniş bir aralıkta değişmiştir. Tuğrul ve Zarif (1999) verilerine göre (17 veri) UCS ile  $n < \%1$  değerleri arasında orta derecede lineer ( $R^2=0.49$ ) ilişki gözlenmiş olup, UCS değerleri 125 ile 193 arasında değişmiştir. UCS değerleri arasındaki değişimin az olmasının nedeninin, yazarların benzer özellikteki kayaçlarda (granitik kayaçlar) çalışma yaptığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Porozitesi %1'in altında olan kayaçlar ile UCS değerlerinin karşılaştırılması

UCS değerleri ile çapsal ve eksenel  $I_{s(50)}$  ve  $n$  (%) değerleri arasında anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir (Çizelge 5). Çizelgeden görüleceği gibi, çapsal  $I_{s(50)}$  yönteminin eksenel yöntemle göre daha yüksek determinasyon katsayısına

sahip olması, UCS tahmininde daha güvenilir olabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, tüm  $n$  (%) değerleri ile UCS arasında anlamlı bir ilişki çıkmasına rağmen,  $n > \%1$  değerlerinin UCS tahmininde daha iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. UCS Tahmini İçin Regresyon Eşitlikleri ve Determinasyon Katsayıları

Şekil	Eşitlikler		R <sup>2</sup>
2a	UCS = 21.398 $I_{s(50)}$ - 0.6553	(çapsal)	0.96
3a	UCS = 20.418 $I_{s(50)}$ - 5.1459	(eksenel)	0.89
6a	UCS = 86.472e <sup>-0.107n</sup>	(tüm n değerleri)	0.84
6b	UCS = -28.01ln(n)+94	(n>%1)	0.99

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 3'ü magmatik, 2'si metamorfik ve 4'ü tortul olmak üzere 9 farklı kayaç için tek eksenli basınç dayanımı (UCS), eksenel ve çapsal nokta yükü dayanım indeksi ( $I_{s(50)}$ ) ve görünür porozite ( $n$ ) deneyleri yapılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımının tahminine yönelik basit regresyon analizleri yapılmıştır. Analizlere göre; çapsal nokta yükü dayanım indeksinin eksenel yöntemle göre tek eksenli dayanımın tahmininde daha güvenilir olduğu görülmüştür. Tüm  $n$  (%) değerleri ile tek eksenli basınç dayanım değerleri arasında anlamlı bir ilişki olmasına rağmen,  $n$  değeri %1'in üzerinde olan kayaçların tek eksenli basınç dayanım tahmininde daha güvenilir olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.  $n$  değeri %1'in altında olan kayaçların tek eksenli basınç dayanımı oldukça geniş bir aralık sunduğundan, tek eksenli basınç dayanımı tahmininde tek başına yeterli olmayacağı kanısına varılmıştır. Bu çalışmadan ve literatürden  $n$  değerleri %1'in altında olan toplam 46 farklı kayaç değerlendirilmiş,  $n$  (%) ve UCS arasındaki ilişki araştırılmıştır. Tek eksenli basınç dayanım değerlerinin artması durumunda aynı kayaçların %1'in altındaki  $n$  değerlerinde her zaman bir azalma olmayıp aksine arttığı görülmüştür. Aynı isme veya benzer mineralojik içeriğe sahip kayaçlarda tek eksenli basınç ve porozite değerleri arasında beklenen negatif ilişki gözlemlendiği gibi, porozitenin tek eksenli basınç dayanımı üzerindeki etkisinin tam anlamıyla anlaşılabilmesi için ilave çalışmalara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu çalışmada ayrıca, "düşük dayanımlı" tortul kayaçların görünür porozite değerleri yaklaşık %15'den %24'e çıktığında, UCS/çapsal- $I_{s(50)}$  oranının

yaklaşık 24'ten 11'e düştüğü anlaşılmıştır. Aynı kayaçlar için eksenel yöntemin ( $I_{s(50)}$ ) çapsal yöntemle nazaran 1.37 ile 2.80 kat daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun nedeni olarak, çapsal yöntemin tabaka düzlemine paralel yönde uygulanmasının özellikle "çok düşük dirençli" tortul kayaçlarda nokta yükü dayanımının düşmesine yol açtığı düşünülmüştür.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar, kayaçların laboratuvar ortamına getirilmesinde emeği geçen Maden Mühendisleri Muhammed KARA, Yunus AKYOL, Sinan OCAK ve Selahattin BAKKAL'a ve ayrıca değerli yorumlarından dolayı hakemlere teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR

- Akram, M. and Bakar, M.Z.A., 2007; "Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks", Pak. J. Engg. Appl. Sci. Vol. 1. p. 8.
- Al-Jassar, S.H. and Hawkins, A.B., 1979; "Geotechnical properties of the Carboniferous limestones of the Bristol area; the influence of petrography and chemistry", ISRM Proc. 4th Conf., Montreaux, pp. 3-13.
- ASTM, 1984; "Standart test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens. Soil and rock, building Stones", annual book of ASTM standards 4.08. ASTM, Philadelphia, Pennsylvania.

- Baykasoglu, A., Gullu, H., Canakci, H. and Ozbakir, L., 2008; "Prediction of compressive and tensile strength of limestone via genetic programming", *Expert Systems with Applications* 35, 111–123.
- Bieniawski, Z.T., 1975; "The point-load test in geotechnical practice", *Engineering Geology*, 9, M lpp.
- Broch, E. and Franklin, J.A., 1972; "The point-load strength test", *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 9(6), 669–676.
- Brook, N., 1985; "The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load testing", *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 22(2), 61–70.
- Cargill, J.S. and Shakoor, A., 1990; "Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock", *Int J Rock Mech Min Sci Geo Abstr* 27(6), 495-503.
- Chau, K.T. and Wong, R.H.C., 1996; "Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks", *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 33, 183–188.
- Ersoy, H. and Kanik, D., 2012; "Multicriteria decision-making analysis based methodology for predicting carbonate rocks' uniaxial compressive strength", *Earth Sci. Res. J.* 16(1), 65–74.
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A. and Gunaydin, O., 2005; "A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks", *Rock Mech. Rock Engng.* 38(4), 329–343.
- Gokceoglu, C. and Zorlu, K., 2004; "A fuzzy model to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity of a problematic rock", *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 17, 61-72.
- Hawkins, A.B., 1998; "Aspects of rock strength", *Bull. Eng. Geol. Environ.* 57, 17-30.
- Heidari, M., Khanlari, G.R., Kaveh, M.T. and Kargarian, S., 2012; "Predicting the uniaxial compressive and tensile strengths of gypsum rock by point load testing", *Rock Mech Rock Eng* 45, 265–273.
- ISRM, 1981; "Basic technical description of rock masses", *International Journal of Rock Mech. and Mining Sci. and Geomech. Abstr.* 18, 85–110.
- ISRM, 1985; "Point load test, suggested method for determining point load strength", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech Abstr.* 22, 55–60.
- ISRM, 2007; "The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods", *International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.* 628 pp.
- Kahraman, S., 2001; "Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 38, 981–994.
- Kahraman, S., Gunaydin, O. and Fener, M., 2005; "The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 42, 584-589.
- Kahraman, S. and Yeken, T., 2010; "Electrical resistivity measurement to predict uniaxial compressive and tensile strength of igneous rocks", *Bull. Mater. Sci.*, 33 (6), 731–735.
- Karaman, K., Erçikdi, B., K., Cihangir, F. ve Kesimal, A., 2011; "Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde Schmidt Çekici sertlik tayini değerlendirme yöntemlerinin incelenmesi", 22. Dünya Madencilik Kongresi, 11-13 Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı, 87-94.
- Karaman, K., 2011; "Taşönü (Trabzon–Araklı) kalker ocağındaki şevlerin duraylılık açısından incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 123 s.
- Kılıç, A. and Teymen, A., 2008; "Determination of mechanical properties of rocks using simple methods", *Bull. Eng. Geol. Environ* 67, 237-244.
- Mishra, D.A. and Basu, A., 2012; "Use of the block punch test to predict the compressive and tensile strengths of rocks", *Int J Rock Mech Min Sci* 51, 119–127.
- Moh'd, B.K., 2009; "Compressive strength of

vuggy oolitic limestones as a function of their porosity and sound propagation”, *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences* 2(1),18–25.

Norbury, D.R., 1986; “The point load test. In A.B. Hawkins (ed.), *Site Investigation Practice: Accessing BS 5930*”, Geological Society, London, 325-329pp.

Palchik, V. and Hatzor, Y.H., 2004; “The influence of porosity on tensile and compressive strength of porous chalks”, *Rock Mech Rock Eng* 37(4), 331–341.

Quane, S.L. and Russel, J.K., 2003; “Rock strength as a metric of welding intensity in pyroclastic deposits”, *Eur. J. Mineral* 15, 855-64.

Romana, M., 1999; “Correlation between uniaxial compressive and point-load (Franklin test) strengths for different rock classes”, 9th ISRM congress, vol 1. Balkema, Paris, 673-676.

Sabatakakis, N., Tsiambaos, G. and Gerochristodoulou, D., 2002; “Estimation of physical and mechanical parameters of rock material”, *Bull. of the Public Works Central Laboratory of Greece (KEDE)*, pp. 3–8. special edition.

Singh, T.N., Kainthola, A. and Venkatesh, A.,

2012; “Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types”, *Rock Mech Rock Eng* 45(2), 259–264.

Sonmez, H., Gokceoglu, C., Medley, E.W., Tuncay, E. and Nefesilioglu, H.A., 2006; “Estimating the uniaxial compressive strength of a volcanic bimrock”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 43 (4), 554-561.

Tsiambaos, G. and Sabatakakis, N., 2004; “Considerations on strength of intact sedimentary rocks”, *Eng Geol* 72, 261–273.

Topal, T., 2000; “Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamalarda karşılaşılan problemler”, *Jeoloji Mühendisliği* 24(1), 73-86.

Tugrul, A. and Zarif, I.H., 1999; “Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey”, *Engineering Geology* 51, 303–317.

Tugrul, A., 2004; “The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey”, *Eng. Geol.* 75, 215–227.

Yagız, S., 2011; “P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials”, *Bull. Mater. Sci.*, 34, 947–953.