

T.C.  
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAYAÇLARIN TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMININ DOLAYLI  
OLARAK BELİRLENMESİNDE TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMI İLE  
SCHMIDT GERİ SIÇRAMA DEĞERLERİ ARASINDAKİ ORANIN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Esmâ YABALAK  
DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. Levent SELÇUK

VAN-2014



T.C.  
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAYAÇLARIN TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMININ DOLAYLI  
OLARAK BELİRLENMESİNDE TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMI İLE  
SCHMIDT GERİ SIÇRAMA DEĞERLERİ ARASINDAKİ ORANIN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Esmâ YABALAK

VAN-2014



## KABUL VE ONAY SAYFASI

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. Levent SELÇUK danışmanlığında, Esmâ YABALAK tarafından sunulan “Kayaçların Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Dolaylı Olarak Belirlenmesinde Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı İle Schmidt Geri Sıçrama Değerleri Arasındaki Oranın Değerlendirilmesi” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 11/11/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:

İmza:

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZVAN

Üye:

İmza:

Yrd. Doç. Dr. Arif Emre DURSUN

Üye:

İmza:

Yrd. Doç. Dr. Levent SELÇUK

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Enstitü Müdürü



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Esmâ YABALAK





## ÖZET

### KAYAÇLARIN TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMININ DOLAYLI OLARAK BELİRLENMESİNDE TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMI İLE SCHMIDT GERİ SİÇRAMA DEĞERLERİ ARASINDAKİ ORANIN DEĞERLENDİRİLMESİ

YABALAK, Esmâ  
Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Levent SELÇUK  
Kasım 2014, 45 sayfa

Schmidt geri sıçrama değerleri (SHR) kayaçların dayanım değerlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan indeks bir parametredir. Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında yüksek bir korelasyon söz konusu iken, SHR kayaçların dayanım değerlerini kabaca belirlemektedir. SHR değerleri kayacın yüzey derinliği olan 30-50 mm derinliği yansıtmaktadır. Dolayısıyla SHR kayacın mekanik özelliklerini kontrol eden doku, doygunluk, boşluk oranı ve mikro çatlakları gibi içsel özelliklerine duyarlı değildir. Yüzey sertliği ile UCS değerleri arasında evrensel bir ilişkinin elde edilebilmesi için, önerilen indeks parametre kayaçların mekanik özelliklerini karakterize etmelidir. Tek eksenli sıkışma dayanımı kayaçların mekanik özelliklerini tanımlayan bir parametre olup UCS/SHR oran değeri güçlü bir şekilde UCS değerinden etkilenmektedir. Söz konusu UCS/SHR oranı, kayaçların artan UCS değerlerine bağlı olarak doğrusal bir şekilde artmaktadır.

Kayaçların UCS/SHR oranının değerlendirilmesinde elde edilen deneysel sonuçlardan yararlanılmıştır. Kayaçların dayanım değerleri ile UCS/SHR arasında doğrusal güçlü bir ilişki elde edilmiştir. Bu ilişkinin güvenilirliği, ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) değerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. UCS/SHR değeri ayrıca önceki çalışmalardan elde edilen veri seti içerisinde değerlendirilmiştir. Bu güçlü doğrusal ilişki, kayaçların dayanım değerlerinin gerekli olduğu mühendislik uygulamalarında kullanılması önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Schmidt çekici, tek eksenli sıkışma dayanım deneyi, kaya dayanımı



## ABSTRACT

### EVALUATION OF THE RATIO BETWEEN UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH AND SCHMIDT HAMMER REBOUND NUMBER TO DETERMINE THE UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF ROCKS

YABALAK, Esmâ

Msc. Thesis, Geological Engineering  
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Levent SELÇUK  
November 2014, 45 pages

Schmidt rebound hammer test (SHR) has been used worldwide as an index test for estimating the compressive strength and deformation characteristics of intact rocks. Although there is a high correlation between the surface hardness and the uniaxial compressive strength (UCS) of intact rocks, the SHR provides only a crude estimate for the UCS of rocks. SHR numbers reflect the outer surface of rock and a depth of 30 to 50 mm. It is not sensitive to the intrinsic properties of the rocks such as texture, saturation, porosity and micro-fractures controlling the mechanical behaviour of rocks. In order for an empirical equation relating the surface hardness to the UCS to be widely used, the index parameter should characterize the mechanical properties of intact rocks. The UCS of rocks defines the strength of the material and the ratio UCS/SHR is strongly affected by the level of the UCS. The ratio of UCS/SHR increases with increasing compressive strength at an increasing rate.

A large scale regression analysis was carried out using experimental data to evaluate the ratio of UCS/SHR for the rocks. The accuracy and reliability of the relationship was assessed by means of the root mean square error (RMSE). The reliability and accuracy of the relationship to assess the compressive strength indirectly seem to be higher than those of traditional relationships between the UCS and the SHR. The ratio of UCS/SHR was also verified by a large database collected from previous studies. This strong linear relationship is proposed for engineering projects that require the estimation of the compressive strength for intact rocks.

**Key words:** Schmidt rebound hammer, uniaxial compression test, rock strength



## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Levent SELÇUK'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım sırasında özellikle arazi çalışmasına katılan Yrd. Doç. Dr. Azad SAĞLAM SELÇUK ve laboratuarda yardımlarını esirgemeyen teknisyen Kemal GEZİCİ'ye teşekkürlerim sonsuzdur. Bu çalışmada ayrıca desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

2014

Esmâ YABALAK



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1 Materyal.....	11
3.2 Yöntem .....	13
3.2.1 Schmidt Çekici.....	13
3.2.2 Tek Eksenli Basınç Deneyi.....	18
4. SCHMİDT GERİ SIÇRAMA DEĞERLERİ İLE TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMI ARASINDAKİ DENEYSEL İLİŞKİLER .....	22
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	27
5.1 Deneysel Bulgular .....	27
5.2. Kayaçların Dayanım Değerinin Tahmin Edilmesinde Tek Eksenli Sıkışma Dayanım Değeri ile Schmidt Çekici Arasındaki Oranın (UCS/SHR) Değerlendirilmesi .....	31
5.3 Tartışma .....	36
6. SONUÇLAR.....	38
KAYNAKLAR.....	40
ÖZ GEÇMİŞ.....	45





## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Arazi çalışmasında örnekleme yapılan lokasyonlar .....	11
Çizelge 3.2. Schmidt çekici ile ilgili literatürde bulunan farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri .....	15
Çizelge 3.3. Deneyin yapıldığı örnek boyutları .....	18
Çizelge 4.1. Kayaçların Schmidt geri sıçrama ve tek eksenli sıkışma dayanım değerleri arasındaki korelasyonlar .....	22
Çizelge 4.2. Önerilen bazı denklemler için hesaplanan RMSE ve korelasyon katsayısı değerleri .....	25
Çizelge 5.1. Arazide ve laboratuvar ortamında yapılan deneylere ait sonuçlar.....	28
Çizelge 5.2. UCS/SHR oranının güvenilirliğini denetlemek için farklı çalışmalardan elde edilen veri seti.....	32
Çizelge 5.3. Bazı araştırmacılara ait verilerin UCS/SHR oranı içerisinde değerlendirilmesi .....	34



## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Arazi çalışmasında alınan örneklerin lokasyonları .....	12
Şekil 3.2. Schmidt çekicinin kısımları.....	14
Şekil 3.3. Schmidt çekicinin çalışma prensibi.....	15
Şekil 3.4. Schmidt Çekicinin kaya bloklar üzerinde uygulanması .....	17
Şekil 3.5. Karot örneklerin elde edilmesi .....	19
Şekil 3.6. Karot örneklerinin alt ve üst yüzeylerinin düzeltilmesi .....	20
Şekil 3.7. Bilgisayar kontrollü test presinde kayaların sıkışma dayanımının belirlenmesi. ....	21
Şekil 4.1. Schmidt setliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki .....	24
Şekil 4.2. Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında bazı araştırmacılar tarafından önerilen deneysel ilişkiler .....	26
Şekil 5.1. Elde edilen deneysel ilişkiler a) Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanım değerleri arasındaki deneysel ilişki b) Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanım değerleri arasındaki oran değerinin, kayaçların dayanım değerleri ile olan deneysel ilişkisi. ....	29
Şekil 5.2. Kayaçların ölçülen dayanım değerleri ile deneysel ilişkiden hesaplanan dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	31
Şekil 5.3. Kayaçların ölçülen dayanım değerleri ile araştırmacıların önerdiği önceki ilişkiden hesaplanan dayanım değerlerinin karşılaştırılması .....	33
Şekil 5.4. Farklı araştırmaların çalışmalarından elde edilen veri setinin değerlendirilmesi a) lineer ve eğrisel ilişkiler içerisinde UCS ile Schmidt çekici geri sıçrama değerleri arasındaki ilişki, b) UCS/SHR ile kaya dayanımı arasında elde edilen güçlü doğrusal ilişki. ....	35



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>r</b>	Korelasyon Katsayısı
<b>R<sup>2</sup></b>	Regresyon Katsayısı
<b>w<sub>c</sub></b>	Ayrışma Katsayısı
<b>L/D</b>	Boy Çap Oran Değeri
<b>w</b>	Ağırlık
<b>E<sub>t</sub></b>	Young Modülü
<b>σ<sub>t</sub></b>	Çekme Dayanımı
<b>γ</b>	Yoğunluk
<b>N</b>	Schmidt Çekici Geri Sıçrama Değeri

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>m-RMR</b>	Modifiye Edilmiş Kaya Kütle Sınıflaması
<b>RMSE</b>	Ortalama Karesel Hatanın Karekökü
<b>SHR</b>	Schmidt Çekici Geri Sıçrama Değerleri
<b>UCS</b>	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı



## 1. GİRİŞ

Schmidt çekici orijinal olarak betonların yüzey sertliğini ölçmek için geliştirilmiştir. Ancak daha yaygın olarak beton ve kayaçların dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yöntemin kolay, ekonomik, taşınabilir olması ve yöntemden çabuk sonuç alınması en önemli avantajıdır. Schmidt çekici ilk olarak 1948 yılında beton sertliğini belirlemek amacıyla geliştirilmiş ve daha sonra beton ve kaya dayanımının değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Schmidt, 1951; Goudie, 2006). Literatür incelendiği zaman Schmidt geri sıçrama değerleri ile kaya dayanımı arasında çok sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir (Deere ve Miller, 1966; Aufmuth, 1973; Xu ve ark., 1990; Gökçeoğlu, 1996; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Gökten ve Güneş, 2005; Aydın ve Basu, 2005; Kahraman, 2001).

Kayaçların dayanım değerlerinin değerlendirilmesi dışında, kayaçların bozunma derecesinin belirlenmesinde (Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000), süreksizliklerin incelenmesinde (Greco ve Sarriso-Volvo, 2005), kayaçların aşınma ve kazılabilirliğinde (Janach ve Merminod, 1982; Karpuz, 1990), sondaj penetrasyon oranının belirlenmesi ve ayrıca oda topuk yöntemi gibi madencilik çalışmalarında (Bieniawski ve ark., 1975; Yoshinaka ve ark., 2008) Schmidt çekici yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmalara ek olarak Schmidt çekici jeomorfolojik uygulamalarda da kullanılmıştır (Thornton ve Stephenson, 2006).

Schmidt çekicinin sunmuş olduğu bu avantajlar, ne yazık ki dezavantajlarla sınırlıdır. Dolaylı olarak kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesine yönelik çalışmalar incelendiğinde, tek eksenli sıkışma dayanımı ile Schmidt geri sıçrama değerlerinin genellikle doğrusal (lineer) ve eğrisel (non-lineer) istatistiksel yaklaşımlar içerisinde değerlendirildiği görülmektedir (Çizelge 4.1). Ayrıca, söz konusu ilişkilerin bir kısmı tek bir litolojik birim için geliştirilirken (kömür, jips ve granit), bir kısım çalışmalar orta ve sağlam kayaçları içeren farklı litolojik birimler için geliştirilmiştir. Bu nedenle, Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanımının değerlendirilmesinde tek bir veya evrensel olabilecek bir ilişkinin olmadığı görülmektedir. Literatürde tanımlı bu ilişkiler kullanılarak hesaplanan basınç dayanımı değerleri, kayaçların doğrudan ölçülen dayanım değerlerini yansıtmamaktadır. Bu

durum oluşturulan ilişkilerde istatistiksel olarak yeterli verinin kullanılmamasından kaynaklanabileceği gibi, kayaçların içsel özelliklerinin göz ardı edilmesinden de kaynaklanmaktadır. Yöntemin güvenilirliğini etkileyen bu faktörlerin dışında, kayaçtaki süreksizlikler, yüzey nem durumu, bozunma durumu, vuruşlar arasındaki mesafe, çekicinin yönü, kullanılan çekiç tipi ve örnek boyutu yöntemin güvenilirliğini etkileyen diğer faktörlerdir (Büyüksağış ve Gökten, 2007; Sumner ve Nel, 2002; Poole ve Farmer, 1980). Williams ve Robinson (1983) kayaçlardaki bozunma derecesinin, önemli ölçüde geri sıçrama değerlerini azalttığını belirtmişlerdir. Orta ve yüksek bozunmuş kayaçlarda Schmidt çekicinin uygulanması durumunda kayaç yüzeyinde kırılma ve kopmalar meydana gelmektedir (Mohamed ve ark. 2007). Bu nedenlerle; Schmidt geri sıçrama deneyi, yüksek ve aşırı derecede bozunmuş kayaçlarda kullanımı sağlıklı olmayan bir yöntem olarak bilinmektedir. Ayrıca, Li ve ark. (2000) ve ISRM (2007)'de zayıf kayaçlarda ( $UCS < 10MPa$ ) Schmidt çekici ile güvenli sonuçlar alınamayacağı belirtilmektedir. Benzer olarak, Del Porto ve Hürlimann (2009)'a göre de zayıf kayaçlarda ( $UCS < 20MPa$ ) Schmidt çekiçi güvenilir sonuçlar sunmamaktadır. Bunların dışında Yılmaz ve Sendir (2002) Schmidt çekicinin breş ve konglomera gibi homojen olmayan kayaçlarda uygulanmaması gerektiğini belirtmiştir. Yukarıda bahsedilen sınırlamalara rağmen elde edilen sonuçlar mühendislik deneyimine dayalı yorumlamalarla birleştiği zaman, kayaçların dayanım değerlerinin pratik bir şekilde belirlenmesinde sağlıklı veriler sunabilir.

Bu çalışma, kayaların sıkışma dayanımının bir fonksiyonu olarak tek eksenli sıkışma dayanımı ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasındaki oranın ( $UCS/SHR$ ) değerlendirilmesini içermektedir. Kayaç dayanımının dolaylı olarak belirlenmesinde, Schmidt geri sıçrama verileri dikkate alındığında, söz konusu bu oranın çok daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar sunduğu görülmektedir. Bunun nedeni, söz konusu oranın ( $UCS/SHR$ ), güçlü bir şekilde kayaçların dayanım değerlerinden etkilenmesidir. Tek eksenli sıkışma basıncı değerlerinin artmasıyla birlikte söz konusu bu oran değeri de doğrusal olarak artmaktadır. Bu durum, Schmidt geri sıçrama değerlerindeki artışın kayaların sıkışma dayanım değerlerine göre çok daha düşük oranlarda olması ile açıklanabilir. Söz konusu bu oran ile zayıf ve kısmen sağlam kayaçların dayanım değerleri arasında ( $1.0 < UCS < 118.0 MPa$ ) güçlü bir doğrusal ilişki belirlenmiştir. Elde edilen ilişkinin güvenilirliği, önceki çalışmalardan elde edilen bir veri seti ile



değerlendirilmiştir. Bu kapsamda söz konusu yaklaşımın, doğruluğunun ve güvenilirliğinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Kayaların dayanım değerlerinin Schmidt geri sıçrama verileri ile tahmin edilmesinde, önerilen bu yöntem geleneksel yöntemlere oranla çok daha sağlıklı ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Daha önce ifade edildiği gibi Schmidt çekici betonların yüzey sertliğini belirlemek için geliştirilmiş olmasına rağmen, kaya mekaniği alanında kayaç dayanımının değerlendirilmesi üzerine yaygın olarak günümüze kadar kullanılmıştır. Bu çalışmanın konusu gereği aşağıda kaya mekaniği alanında yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir.

Hucka (1965), kayaların gerçek dayanımlarının belirlenmesinin zor olduğunu ifade etmiştir. Örneklerin arazide toplanması, karot örneklerinin hazırlanması zaman alıcı ve yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu yüzden kayaların dayanımının belirlenmesinde daha hızlı ve doğru sonuçlar veren Schmidt çekici gibi yerinde kullanılabilen indeks deney yöntemlerinin kullanılmasını önermiştir. Araştırmacı önerdiği yöntemde; 3 farklı noktanın her birinden 10'ar atış yapıp bu noktalarda okunan en yüksek 3 değerini ortalamasını alıp, ortalama Schmidt geri sıçrama değeri ile kayaçların dayanımları arasında yüksek bir korelasyon elde etmiştir.

Deere ve Miller (1966), 27 lokasyondan elde ettikleri NX boyutlu sağlam kaya üzerinde; laboratuvar testleri yapmış, elde edilen Schmidt geri sıçrama değerlerini kayaların birim hacim ağırlıkları ile değerlendirmiş ve iki ayrı veri içerisinde korelasyon katsayısını artırmayı hedeflemiştir. Araştırmacılar Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanımı arasında güçlü bir doğrusal ilişkinin olduğunu belirtmişlerdir.

Aufmuth (1973), yaptığı çalışmaya göre Schmidt geri sıçrama değerleri ile kaya dayanımı arasında logaritmik bir ilişkinin olduğunu belirlemiştir. Araştırmacı ayrıca Deere ve Miller (1966) çalışmasında olduğu gibi kayaçların yoğunlukları ile çok daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.

Bieniawski ve Van Heerden (1975), çalışmalarında Schmidt çekicinin yerinde deneylerde sağladığı avantajlardan ve madencilik çalışmalarında kullanılabilirliğinden bahsetmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar üzerine boyut düzeltmesi uygulayarak ayrıntılı bir araştırma gerçekleştirmişlerdir.

Kidybinski (1980), madenlerde karşılaşılabilecek doğal tehlikelere ve tavan çökmelerine karşı alınacak tedbirler ile yüksek basınç koşulları altında kayalarda oluşacak deformasyonlar üzerine çalışmıştır. Kömür madenlerinde yapılmış olan

çalışmada, tavan sınıflandırılması ve tavadaki malzemenin yerçekimine karşı direnci belirlenmiştir. Elde edilen verilerle, maden sahalarında kabul edilir gerekli basınç aralıkları belirlenmiştir.

Poole ve Farmer (1980), kireçtaşı ve kumtaşı gibi sedimanter kayalarla birlikte metamorfik kayalar üzerinde toplamış oldukları Schmidt verilerine bağlı olarak, söz konusu verilerin değişkenliğinden bahsetmişlerdir. Özellikle Schmidt geri sıçrama değerlerinin aynı noktada 3-4 ayrı uygulama sonrasında, söz konusu okuma değerlerinin artma eğilimi içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer olarak yöntemin tekrarlanabilir olması için, tek bir noktada en az 5 atışın yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Janach ve Merminod (1982), Schmidt çekicinin kayaların aşınma derecelerinin belirlenmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Aşınma derecesi belirli bir uygulama enerjisi içerisinde kütle kaybı olarak değerlendirilmiştir. Tipik okumalar granit için 20 vuruştan sonra yaklaşık olarak 15 mg kütle kaybı veya sağlam kumtaşı için 40 vuruştan sonra 7 mg'lık kütle kaybı şeklindedir. Aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlar ile Schmidt çekicinden elde edilen veriler arasında güvenli bir ilişkinin olduğu belirlenmektedir.

Williams ve Robinson (1983), tarafından yapılan çalışmada Schmidt çekici, kaya yüzey sertliğini belirlemek için kullanılmıştır. Elde ettikleri yüzey sertlik değerlerinin aynı zamanda kayaç pürüzlülüğünden de etkilendiğini, düzgün ve pürüzsüz yüzeylerden elde edilen geri sıçrama değerlerinin; pürüzlü ve düzensiz yüzeylerden elde edilen sıçrama değerlerinden yüksek olduğunu belirtilmektedir.

Matthews ve Shakesby (1984), çalışmalarında Schmidt çekicini likenometri ile birlikte kullanılarak Güney Norveç'te yer alan Jotunheimen buzul dağlarının göreceli yaşını incelemek için kullanılmıştır. Likenometri, kayalar üzerindeki tallus gelişimini gözleyerek kayaç yaşını belirlemeye çalışan bir tekniktir. R tipi Schmidt çekici ile numune üzerinde 15 ölçüm yapıp en yüksek 5 değer atılmış ve kalan 10 değerinin ortalaması alınmıştır.

Ghose ve Chakraborti (1986), kömür damarlarından elde ettikleri 13 kömür numunesi üzerinde, Schmidt geri sıçrama değerleri ile tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve deformasyon özelliklerinin dolaylı yoldan tahmin

edilebilirliği üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda, önerilen ilişkiler yüksek korelasyon katsayıları sunmuştur.

Tuğrul ve Zarif (1999), bu çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden elde edilen granitik kayaçların petrografik ve mühendislik özellikleri belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiler irdelenmiştir. Toplanan granitik kayaçlar üzerinde önce petrografik çalışmalar gerçekleştirilmiş ve daha sonra aynı numuneler üzerinde özgül ağırlık, kuru ve doymun birim ağırlık, su emme, toplam porozite, ultrasonik hız, Schmidt sertliği, nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Basit regrasyon analizleri ile petrografik ve mühendislik değerleri arasındaki ilişki irdelenmiş ve elde edilen veriler ile kayaçların mineralojik özelliklerinin (dokuları, mineral şekilleri vb.) kayaçların mühendislik özelliklerini etkilediği belirtilmektedir.

Karpuz (1990), tarafından kaya kütlelerinin kazılabilirliği konusunda gerçekleştirilen çalışmada, kaya kütle ve malzeme özelliklerini kullanarak, kazılabilirlik ve sökülebilirlik ile ilgili bir sınıflama önerilmektedir. Kazı derecelendirme sisteminde; tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt çekici ve sismik dalga hızı deneyleri kullanılarak, süreksizlik aralıkları, ayrışma dereceleri ve kaya sertliği değerlerini belirlemiştir.

Xu ve ark. (1990), mika-şist, parazinit, serpantinit, gabro ve çamurtaş gibi zayıf kayalarda, kayaç özelliklerini de dikkate alarak tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında doğrusal bir ilişki ( $r = 0.88$ ) olduğunu belirtmişlerdir.

Ayday ve Goktan (1992), tarafından yapılan çalışma N ve L tipi Schmidt çekiçlerini birlikte kullanılmış ve elde ettikleri geri sıçrama değerleri arasındaki ilişkinin yüksek bir korelasyon katsayısı ile temsil edildiği belirtilmektedir.

Gökçeoğlu (1996), Yatağan - Eskişehir Açık İşletmesinde marnlar üzerinde Schmidt sertlik çekici ve tek eksenli sıkışma dayanımı testleri gerçekleştirmiştir. Çok zayıf kayaç sınıfında yer alan marnların, Schmidt sertlik çekici sonuçlarını kullanarak, önceki araştırmacılar tarafından önerilen ilişkiler ile dolaylı yoldan tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerini belirtilmektedir. Dolaylı yoldan elde edilen tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ile doğrudan tayin edilen tek eksenli sıkışma dayanım değerleri arasında çok yakın istatistiksel ilişkilerin olduğunu ifade etmiştir. Bu nedenle, çalışmada, Schmidt çekici ile dolaylı yoldan tayin edilen tek eksenli sıkışma dayanımı

değerlerinin, ancak çalışılan kayaçlar için geliştirilmiş ilişkilerle belirlenmesinin daha gerçekçi olabileceği sonucuna varılmıştır.

Gökçeoğlu ve Aksoy (2000), kaya kütle sınıflamalarında killi malzemenin sınıflandırılmasında karşılaşılan eksiklikleri gidermek amacıyla değiştirilmiş kaya kütle sınıflamasına (M-RMR) katkıda bulunarak dezavantajları ortadan kaldırmayı hedeflemiştir. Bu amaçla Türkiye’de toplanan yoğun eklemli ve zayıf kaya kütlelerinden oluşan 13 ayrı kilit üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada süreksizlik dereceleri değerlendirilmiştir. Sağlam kaya blokları üzerinde tek eksenli basınç dayanım testi ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeks testi yapılmıştır. Ayrıca Schmidt çekici verileri kullanılarak ayrışma katsayısı ( $W_c$ ) değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, arazi ve laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen istatistiksel veriler değerlendirilerek (M-RMR) kaya kütle sınıflaması içerisinde Schmidt geri sıçrama değerlerinin alternatif bir parametre olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Katz ve ark. (2000), laboratuvarında 7 ayrı kaya üzerinde elde ettikleri Schmidt geri sıçrama değerleri ile elastisite young modülü, tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ve kuru birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. En yüksek regresyon katsayısının young modülü ( $R^2=0.99$ ) ile Schmidt verileri arasında elde edildiği belirtilmektedir.

Li ve ark. (2000), plastisitesi yüksek zayıf kayaçlarda (UCS <10 MPa) çok düşük enerjili atışlarda bile kayaçlarda oluşan deformasyonlardan dolayı, Schmidt çekici ile güvenilir sonuçlar alınmadığını ifade edilmektedir.

Kahraman (2001), çalışmacı 48 farklı kaya üzerinde yaptığı tek eksenli basınç testi (UCS), nokta yük deneyi, Schmidt çekici, darbe dayanım testi ve ses hızı test sonuçlarını kendi aralarında değerlendirmiştir. Her test için farklı varyasyon katsayısı (standart sapma ile ortalama arasındaki oran) elde eden çalışmacı, Schmidt çekici ile UCS değerleri arasında doğrusal olmayan bir korelasyon ileri sürülmektedir.

Sumner ve Nel (2002), Schmidt çekici uygulamalarında nem etkisine değinmiştir. Araştırmacı kaya yüzey şartları içerisinde, su içeriğinin artışıyla Schmidt geri sıçrama değerlerinin azaldığını ifade etmiştir. Araştırma için kullandığı bazalt, kumtaşı ve dolomitin geri sıçrama değerleri belirlenmiş, daha sonra fırında kurutulan kayalar üzerinde tekrar geri sıçrama değerleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda bulunan geri sıçrama değerlerin 2 ile 10 arasında değiştiği belirtilmektedir.

Yılmaz ve Sendir (2002), Schmidt geri sıçrama değerlerini kullanılarak young modülü değerlerinin dolaylı olarak belirlenebileceğini ifade etmektedir. Tek tip kayalar üzerinde yürüttükleri çalışmada önerilen denklem ile korelasyon katsayısını  $r=0.91$  olarak elde edildiği belirtilmektedir.

Yaşar ve Erdoğan (2004), inşaat sektöründe kullanılacak kayaların sınıflandırılmasında, sertliğin önemli bir yer tuttuğunu belirtilmektedir. Bu yüzden kaya özelliklerinin belirlenmesinde kayaların sertliği en önemli parametrelerden biridir. Bu çalışmada, Çukurova bölgesinden alınan numuneler üzerinde fiziko-mekanik özellikleri belirleyecek laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu yöntemlerden kolay ve ucuz olan Schmidt çekici ile sertlik yöntemi kullanılarak fiziko-mekanik özellikler ortaya konmuştur.

Aydın ve Basu (2005), Schmidt çekici ile kaya malzemelerinin mekanik özelliklerinin hızlı ve ucuz bir şekilde ölçülebileceğini ifade edilmektedir. Ancak çekiç tipi, numune boyutları, yüzey pürüzlülüğü, hava nem içeriği gibi etkenler Schmidt çekici sonuçlarının güvenilirliğini olumsuz yönde etkilediğini belirtilmektedir. L ve N çekiç tipleri ile granitler üzerinde yapılan çalışmada L tipi Schmidt çekici ile elde edilen değerlerin gerçek tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerine yakın değerler sunduğu belirtilmektedir.

Greco ve Sorriso-Volvo (2005), çalışmacılar görünür ayrışma derecesinin süreksizlik hattından olan uzaklığa bağlı olarak ve bu mesafe içinde kaya kütlesi mekanik özelliklerinin değişkenliğini araştırmışlardır. Görünür ayrışma derecesini belirlemek amacıyla; süreksizlik hattına olan mesafe ve Schmidt geri sıçrama değerleri kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen korelasyon katsayısı değerlerinin yapılan istatistiksel ilişkiler içerisinde 0.74 ile 0.84 arasında değiştiğini belirtilmektedir.

Göktan ve Güneş (2005), 36 kaya örneğinin her biri üzerinde literatürde önerilen iki farklı test yöntemi uygulamıştır (Poole ve Farmer, 1980; Hucka, 1965). Aynı kayalar üzerinde kendi çalışmalarında önerdikleri test yöntemini uygulayarak 3 farklı test yönteminden hangisinin daha güvenilir sonuçlar sunduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar önerdiği yöntemde, en az 20 vuruş değeri elde edildikten sonra ortalamadan sapan en büyük veya en küçük değerleri atıp kalan değerlerin (Chauvenet

kriteri) tekrar ortalamasını almışlardır. Elde ettikleri sonuçları, önceki çalışmacıların önerdikleri geri sıçrama değerleri ile karşılaştırmışlardır.

Thornton ve Stephenson (2006), çalışmacılar güneydoğu Avustralya'da Otway kıyısından alınan farklı yüksekliklerdeki 14 kaya bloğunun dayanımlarını, L-tipi Schmidt çekici ile belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda yükseklik ile kaya dayanımı arasında doğru ilişkinin olduğu yorumunu çıkarmışlardır.

Büyüksağış ve Gökten (2007), farklı taş ocaklarından elde edilen 27 farklı kayaç grupları üzerinde, L ve N tipi Schmidt sertlik çekici ile geri tepme değerleri elde edilmiştir. UCS değerleri ile kurulan ilişkide; 20-290MPa dayanım aralığındaki kayaçlarda, N tipi çekicinin kullanımının daha uygun olduğunu belirtilmektedir.

Shalabi ve ark. (2007), tünel ve baraj gibi mühendislik çalışmalarında kayanın dayanımının, elastisite modülü ve poisson oranı gibi mühendislik özelliklerinin belirlenmesi çok zaman alıcı ve pahalı olduğundan, daha ucuz ve değerlendirilmesi kolay olan indeks yöntemler ile mühendislik özelliklerinin belirlenmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu kapsamda, dolomit, dolomitik kireçtaşı ve şeyller kullanılarak tek eksenli sıkışma dayanımı ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasındaki istatistiksel analizler yapılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar, farklı kaya örnekleri üzerinde diğer araştırmacıların yaptığı ilişkiler ile de karşılaştırılmıştır. Farklı istatistiksel yaklaşımlar ile korelasyon katsayılarının düşük ve yüksek değerler arasında değiştiğini belirtilmektedir.

Kılıç ve Teymen (2008), kayaçların mekanik özelliklerini tespit etmek için tahribatsız deney yöntemleri uygulanmıştır. 19 farklı kayaç üzerinde yapılan nokta yükü, ultrasonik ses hızı, Schmidt sertliği, çekme dayanımı, aşınma direnci ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında ilişkiler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda; tek eksenli sıkışma dayanımının tahribatsız deney yöntemleri ile dolaylı olarak belirlenebileceğini, doğrusal olmayan denklemler ile iyi bir korelasyon katsayısı elde edilebileceğini ifade edilmektedir.

Del Porto ve Hurlimann (2009), N tipi Schmidt çekici ile zayıf kayaçların (UCS<20MPa) tek eksenli dayanım değerlerinin daha altında sonuçlar elde edilebileceği ve L tipi Schmidt çekici ile ise elde edilen sonuçların zayıf kayalarda daha tutarlı değerler verdiği ifade edilmektedir.

Karaman (2011), çalışmacı farklı bölgelerden elde ettiği 5 farklı kayacın tek eksenli basınç dayanımını, L tipi Schmidt çekici kullanarak dolaylı yoldan belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada, literatürde bulunan 7 farklı ilişki kullanılmış ve en uygun sonuçların ASTM (2001) ve Summer ve Nel (2002) tarafından önerilen ilişkilerle sağlandığını belirtilmektedir. Ayrıca ayrışması kolay olan yumuşak kayalarda, Schmidt çekici uygulamalarının sağlıklı sonuçlar vermediğini, sadece tek eksenli basınç dayanımına ilişkin bir yaklaşım sunabileceği vurgulanmaktadır.

Mishra ve Basu (2013), farklı indeks testleri ve analiz teknikleri uygulayarak tek eksenli basınç dayanımın değerlerinin tahmin edilmesi için yaptığı çalışmada; granit, şist ve kumtaşı üzerinde nokta yükü, Schmidt sertlik çekici, ultrasonik P dalga hızı ve fiziksel özellikleri değerlendirmiş ve tek eksenli basınç dayanımı tahmin etmiştir. Kumtaşları üzerinde yapılan çalışmada Schmidt geri sıçrama değerlerinin daha tutarlı sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

Yukarıda verilen çalışmalarda olduğu gibi Schmidt çekici ile kayaların dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi üzerine oldukça fazla sayıda çalışma mevcuttur. Elde edilen ilişkilerin gerek farklı kayaç grupları gerekse de tek tip kayaları kapsamaması ve ayrıca bu yaklaşımların doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler içerisinde değerlendirilmesi, geliştirilen ilişkilerin birbiri ile tutarlılık sağlamadığını ve elde edilen verilerin kayaların dolaylı olarak mekanik özelliklerinin belirlenmesinde oldukça kaba sonuçlar sunduğunu göstermektedir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

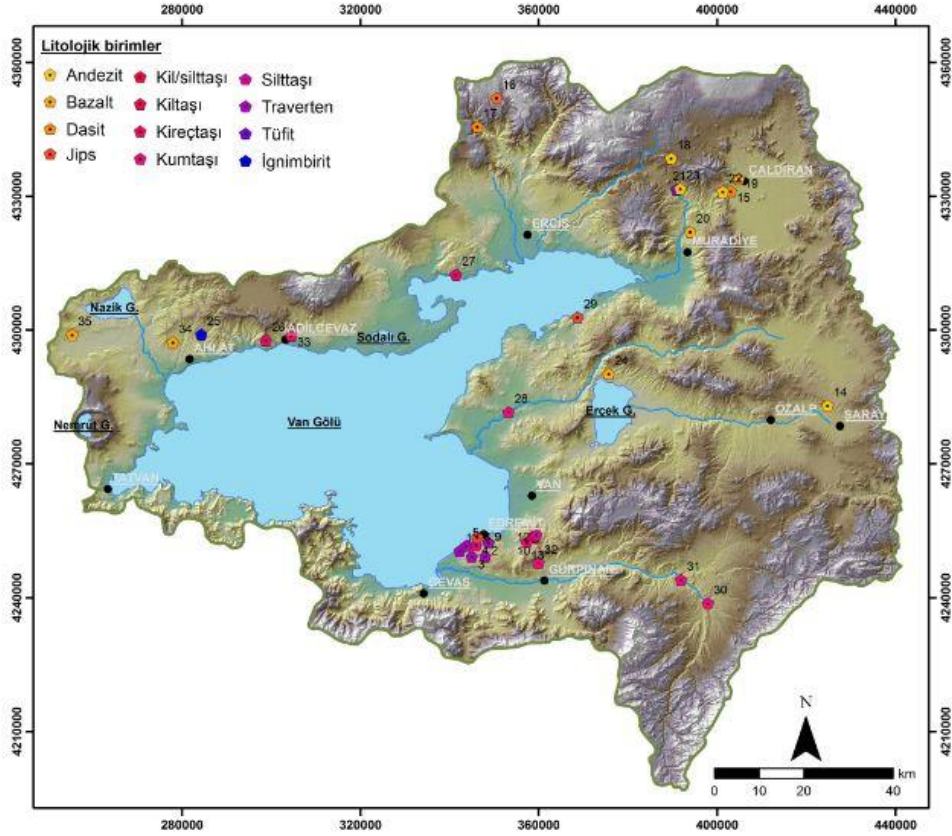
Bu çalışmada kullanılan başlıca materyal Van Gölü Kapalı Havzası'nda toplanan kaya bloklarıdır. Van ve Bitlis illeri ile yakın çevrelerinden toplanan kaya örnekleri; jips, ignimbirit, tuf, traverten, kil-silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı, dasit, andezit ve bazalttan oluşmaktadır. Bu kapsamda; çok sayıda lokasyon ziyaret edilerek, farklı kaya blokları üzerinde Schmidt çekici uygulamaları gerçekleştirilmiş ve Schmidt geri sıçrama değerleri elde edilmiştir. Bölge genelinde çalışma yapılan lokasyonlar Çizelge 3.1'de verilmiş ve Şekil 3.1'de ziyaret edilen lokasyonların haritası verilmiştir. Bu çalışma kapsamında ziyaret edilen lokasyonlarda Schmidt geri sıçrama deneyi yapılarak, farklı geri sıçrama değerleri sunan toplam 60 adet kaya bloğu laboratuvar ortamına getirilmiştir.

Çizelge 3.1. Arazi çalışmasında örnekleme yapılan lokasyonlar

No	X	Y	Lokasyon Bilgisi	Kaya Tanımı
1	342667	4251830	Edremit- Çiçekli, Van	Traverten
2	343561	4252566	Karayolları tesis alanı, Edremit-Van	Traverten
3	343068	4252224	Edremit-Van	Traverten
4	344523	4252611	Edremit- Van	Kumtaşı
5	343739	4252168	Edremit- Çiçekli, Van	Traverten
8	346249	4253568	Van çimento fabrikası doğusu- Van	Jips
9	347142	4253813	Gürpınar, Edremit-Van	Traverten
10	358953	4253453	Kurubaş- Van	Kil/silttaşı
11	358835	4253733	Kurubaş civarı- Van	Kiltaşı
12	359497	4254131	Van-Gürpınar yolu	Silttaşı
13	357296	4252435	Doğanlar	Kumtaşı
14	424760	4283083	Özalp yolu	Andezit
15	403045	4331115	Çaldıran	Dasit
16	306738	4385972	Tutak	Dasit
17	308325	4362166	Tutak-Dorukdibi	Dasit
18	389680	4338556	Çaldıran-Çiçekli	Andezit
19	404837	4333895	Çaldıran-Erginler	Bazalt
20	393975	4322048	Muradiye-Bendihami deresi	Bazalt
21	390882	4331573	Van-Çaldıran	Tuf

Çizelge 3.1. Arazi çalışmasında örnekleme yapılan lokasyonlar (devam)

No	X	Y	Lokasyon Bilgisi	Kaya Tanımı
22	401275	4331068	Çaldıran-Ayrancılar	Andezit
23	391736	4331684	Çaldıran-Devetaş	Andezit
24	375709	4290129	Van-Aşağıgölalan	Bazalt
25	286410	4293052	Bitlis-Ahlat	İgnimbirit
26	299069	4295607	Bitlis-Adilcevaz	Kireçtaşı
27	341451	4312427	Erciş-Van	Kireçtaşı
28	353196	4281613	Van-Erciş karayolu	Kumtaşı
29	368723	4302916	Van-Erciş karayolu	Jips
30	397892	4238807	Hoşap, Hakkari karayolu	Kumtaşı
31	391901	4244023	Hoşap, Hakkari karayolu	Kumtaşı
32	359916	4247814	Hoşap, Hakkari karayolu	Kumtaşı
33	304545	4298721	Bitlis - Adilcevaz	Kireçtaşı



Şekil 3.1. Arazi çalışmasında alınan örneklerin lokasyonları.

Arazi çalışması kapsamında kaya örneklerin toplanmasında dikkat edilen en önemli husus, örneklerin makro ve mikro düzeyde süreksizlik içermemeleri gerekliliğidir. Laboratuvar ortamına getirilen kaya blokları üzerinde, tek eksenli sıkışma

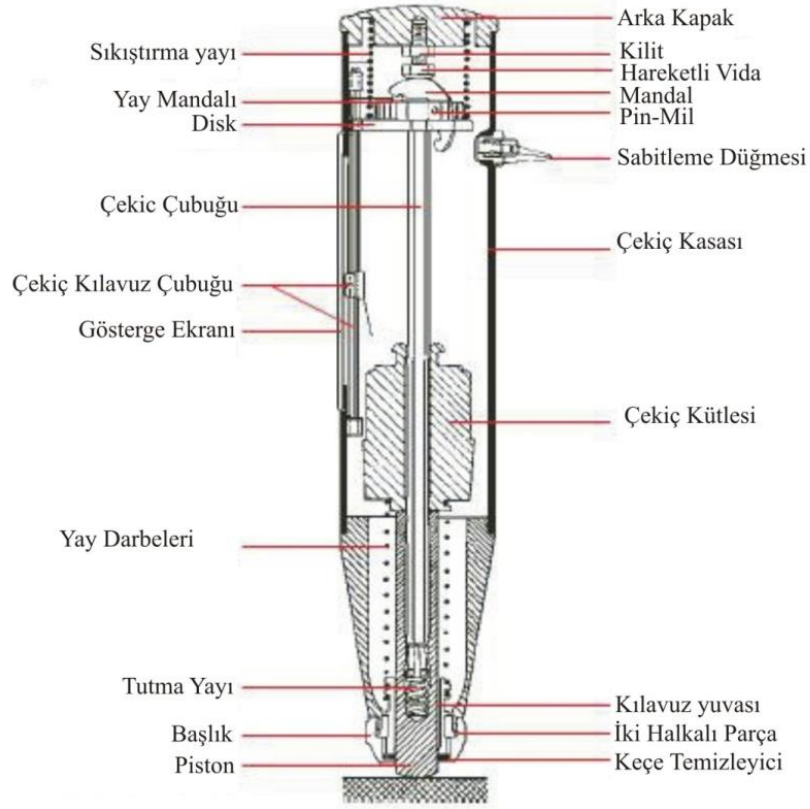
dayanım değerlerinin belirlenmesi için yeterli sayıda karot örneklerin hazırlanması gerekmektedir. Söz konusu bu yöntemler ve arazide yapılan Schmidt çekici uygulamaları aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

### **3.2 Yöntem**

Arazide yapılan Schmidt çekici uygulamaları sonucunda birbirinden farklı geri sıçrama değerleri sunan örneklerin laboratuvar ortamına getirilmiştir. Böylelikle her bir lokasyondan toplanan kayaçların geri sıçrama değerleri, önceki lokasyonlardan toplanan kayaçların geri sıçrama değerleri ile karşılaştırılarak farklı dayanım özelliklerine sahip olabilecek örneklerin elde edilmesi sağlanmıştır. Laboratuvar ortamına getirilen örnekler üzerinde geri sıçrama değerlerini kontrol etmek amacıyla Schmidt çekici uygulamaları ve kayaların dayanım değerlerini belirlemek için tek eksenli sıkışma dayanım deneyleri Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, gerek arazide gerekse de laboratuvar ortamında uygulanan deneyler hakkında bilgiler ve her bir deneyde uygulanan standart yöntemler aşağıda alt başlıklar altında sunulmuştur.

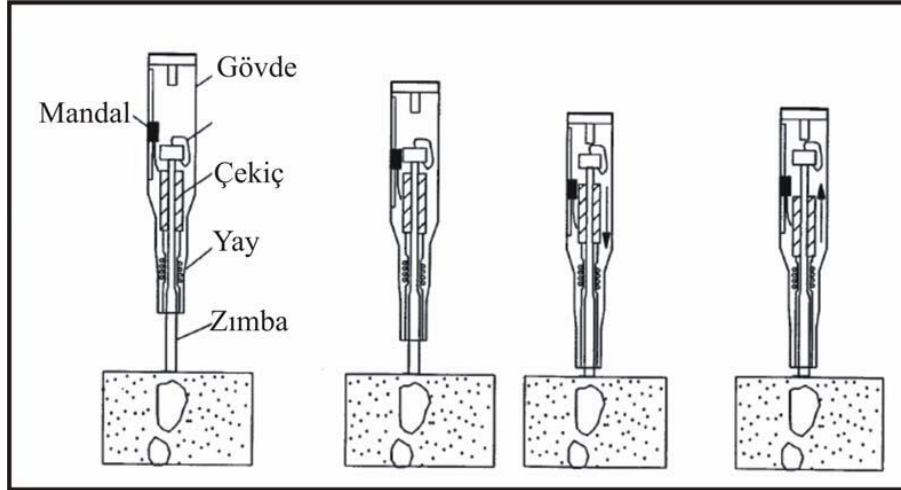
#### **3.2.1 Schmidt Çekici**

Bu deney hem kayaçlar hem de beton örnekleri için kullanılmaktadır. Schmidt çekici, gövde, zımba, yay, çekiç ve mandal olmak üzere 5 temel parçadan oluşmaktadır. Ayrıca; çekiç kütlesini pistonla kilitleyen bir kilit mekanizması ve çekiç kütlesinin geri tepmesini ölçen bir mekanizmada bulunmaktadır (Şekil 3.1). Schmidt çekici, test edilecek olan kayaç örnekleri üzerine bastırılmakta ve zımbanın en dip kısmında, yayın sıkışmasından dolayı zımba kuvvetle örnekler üzerine çarpmaktadır (Şekil 3.2). Bu çarpmayla ekrandaki gösterge geri sıçramakta ve kadran üzerinden vuruş değeri okunmaktadır. Kayanın basınç dayanımı ile Schmidt çekicinin içerisindeki yayın geri sıçraması ile elde edilen sayılar arasında bir korelasyon söz konusudur.



Şekil 3.2. Schmidt çekicinin kısımları (Vellone ve Merguerian 2007).

Schmidt çekici çarpma enerjileri sırasıyla 0.735 Nm ve 2.207 Nm olan L ve N tipi çekicilerde yaygın olarak kullanılırken, 29.43 Nm çarpma enerjisine sahip modifiye edilmiş M tipi çekicte kullanılmaktadır (Atkinson, 1993). Schmidt çekici uygulamalarında ISRM (2007) ve ASTM (2001) olmak üzere iki ayrı standart yaygın olarak kullanılmaktadır. ASTM (2001) standartları içerisinde çekici tipi hakkında kesin bir bilgi verilmemekle birlikte, ISRM (2007) standartları içerisinde L-tipi Schmidt çekicinin kullanılması önerilmektedir. ASTM standartlarında kaya bloğu üzerinde 10 atış yapılarak ortalaması alınmaktadır. Ortalama değerden  $\pm 7$  birime sahip okumalar çıkartılarak geri kalan değerlerin tekrar ortalaması alınmaktadır. ISRM (2007) standartlarında ise 10 ayrı atışın en yüksek %50 si alınarak ortalama geri sıçrama değerleri elde edilmektedir.



Şekil 3.3 Schmidt çekicinin çalışma prensibi (Küçük 2006).

Bu standartların dışında, literatürde birbirinden oldukça farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır (Çizelge 3.2). Yöntemin araştırmacılar tarafından farklı boyutlarda ele alınması, şüphesiz ki elde edilen sonuçları da etkilemektedir. Bu yöntemlerle, çok sağlam kayalarda elde edilen ortalama geri sıçrama değerleri hariç, diğer tüm kayalar için ortalama değerler birbirinden farklı sonuçlara neden olmaktadır. Karaman ve ark. (2011) çalışmasına göre, yalnızca ASTM (2001) standartları ve Sumner ve Nel (2002) tarafından önerilen yöntem ile bulunan Schmidt sertlik değerlerinden elde edilen tek eksenli basınç dayanım değerleri, gerçek tek eksenli basınç dayanım değerlerini yansıttığını ifade etmiştir.

Çizelge 3.2. Schmidt çekici ile ilgili literatürde bulunan farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri

Çalışmacılar / Standartlar	Test Yöntemi
Deere ve Miller (1966)	Her 45° dönüş için NX boyutlu örnekten 3'er vuruş yapılır. Elde edilen 24 değerlerin ortalaması alınır.
Young ve Fowell (1978)	Kaya kütlesi eşit bölümlere ayrılır ve her bölmede 1'er atış yapıp elde edilen değerlerin ortalaması alınır.
ISRM (2007)	Elde edilen en az 20 vuruş değerinin en yüksek 10 değeri alınarak bu değerlerin ortalaması kabul edilmektedir.
ASTM (2001)	UCS değeri 1-100 MPa arasında olan kayalarda en az 10 sıçrama değerinin ortalaması alındıktan sonra ortalama ile arasında $\pm 7$ olan vuruş sayıları atılarak tekrar ortalama alınmaktadır.
Göktan ve Ayday (1993)	En az 20 vuruş değerinin okuması alınır. Şüpheli değerler (Chauvenet kriterine göre) atılıp kalan değerlerin ortalaması alınır.

Çizelge 3.2. Çizelge 3.2. Schmidt çekici ile ilgili literatürde bulunan farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri (devam)

Soiltest (1976)	15 farklı noktaya yapılan tek atıştan en büyük 10 tanesinin ortalaması alınmıştır.
Matthews ve Shakesby (1984)	Numune üzerinde 15 ölçüm yapıp en yüksek 5 değer atılır kalan 10 değerlerin ortalaması alınır.
Kazi ve Al-Mansour (1980)	En az 35 vuruş değerinin en düşük 10 değeri atılıp kalan 25 değerlerin ortalaması alınmıştır.
Katz ve ark. (2000)	323-40 arsında ayrı ayrı okumalar alınıp, okumaların %50 si alınır.
Poole ve Farmer (1980)	3 farklı noktanın her birine 5 vuruş yapıp bu 3 noktadaki en yüksek değerlerin ortalaması alınmıştır.
Hucka (1965)	3 farklı noktanın her birine 10 vuruş yapıp en yüksek 3 değerlerin ortalaması alınmıştır.
GBG (2004)	Örnek üzerinde 12 vuruş yapıp en yüksek ve en düşük değerler atılıp geri kalan 10 değerlerin ortalaması alınmıştır.
USBR (1998)	10 değişik noktadan elde edilen Schmidt geri sıçrama değerlerinin en büyük 5 değerlerin ortalaması alınmıştır.
Sumner ve Nel (2002)	15 farklı noktadan elde edilen vuruş değerlerinden en büyük 5 değer çıkartılıp geri kalan 10 değerlerin ortalaması alınmıştır.

Diğer taraftan, bazı araştırmacılar N tipi Schmidt çekicinin tek eksenli dayanım değerlerinin daha altında sonuçlar sunduğunu, buna karşılık L tipi Schmidt çekiciyle elde edilen sonuçların zayıf kayalarda daha tutarlı değerler verdiğini rapor etmişlerdir (Del Porto ve Hurlimann, 2009; Shorey ve ark., 1984). Benzer olarak, Büyüksağs ve Göktan (2007)'a göre, UCS>20MPa dayanıma sahip kayalarda N tipi çekicinin kullanımının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Aynı gözlem Shorey ve ark. (1984) tarafından da belirtilmiştir. Aydın ve Basu (2005) literatürde tanımlı çalışmalardan farklı tipteki kayaların dayanımının belirlenmesi için her iki çekiç tipine de değinerek geliştirilen ilişkilere yer vermiştir. Ayrıntılı olarak önceki çalışmalar incelendiğinde her iki çekiç tipinde kullanılabileceği görülmektedir. Ayday ve Göktan (1992) L ve N tipi Schmidt geri sıçrama değerleri arasında yüksek bir korelasyon katsayısı elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, yukarıda önerildiği gibi ASTM (2001) standartları dikkate alınmıştır. Çalışmada, N-Tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce örs yardımıyla, Schmidt çekicinin kalibrasyonu yapılmıştır. Deney blok örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Gerek arazide örnek seçiminde, gerekse de laboratuvar ortamında, araziden elde edilen değerlerin kontrol edilmesi amacı ile yapılan

uygulamada çekicinin oryantasyonundan kaynaklı olabilecek hataların azaltılması amacıyla, Schmidt çekici her zaman düşey düzlemde uygulanmıştır (Şekil 3.4). Atışların yapılacağı blok yüzeyleri temizlenerek/tıraşlanarak pürüzsüz bir yüzey oluşturulmuştur. Ayrıca mikro ve makro düzeyde süreksizlik içermeyen noktalardan okuma alınmıştır.

Çekicinin ucu, blok örnek yüzeyine dik konumda olacak şekilde bastırılıp, çekicinin içindeki yaydan geri sıçrama sesi geldiğinde gösterge sabitleme tuşuna bakılarak geri sıçrama değeri okunmuştur. Ayrıca, arazide yapılan ölçümlerde kayalarındaki süreksizlik düzlemlerine her zaman dik konumda ölçüm alınmaya dikkat edilmiştir.

Her kayaç örneği üzerinde, 10 farklı noktadan okuma alınmıştır. Okuma alınan noktaların birbirinden uzaklıkları en az çekicinin uç çapına eşit olacak şekildedir. Elde edilen geri sıçrama değerleri kaydedilip, ortalama Schmidt geri sıçrama değeri belirlenmiştir. Daha önce değinildiği gibi ortalaması ile arasında  $\pm 7$  fark olan değerler çıkartılıp kalan değerlerin tekrar ortalaması alınıp deney sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 3.4. Schmidt Çekicinin kaya bloklar üzerinde uygulanması.

### 3.2.2 Tek Eksenli Basınç Deneyi

Tek eksenli sıkışma dayanımı, kaya mekaniğinde yaygın olarak kullanılan en önemli parametrelerden bir tanesidir. Kaya örneklerinin yenilmeden dayanabileceği maksimum gerilme olarak tanımlanan parametre, tek eksenli ve düşey olarak uygulanan yükler altında malzemenin dayanım sınırını tanımlamaktadır (Karpuz ve ark. 1986). Tek eksenli sıkışma dayanımı silindirik karot örnekleri üzerinde uygulanmaktadır. Bu nedenle arzu edilen durum yüksek kalitede karot örneklerinin hazırlanmasıdır. Tek eksenli basınç deneyi oldukça basit olmasına rağmen söz konusu örneklerin hazırlanması oldukça zaman alıcı ve pahalıdır. Bununla birlikte, sık eklemli kaya kütlelerinden ve/veya zayıf kayalardan yüksek kaliteli karot örneklerinin hazırlanması oldukça güç bir işlemdir.

Deney boy/çap oranı 2.0-2.5 arasında olacak şekilde hazırlanmış alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yüzeyleri pürüzsüz ve herhangi bir kırık çatlak içermeyen örnekler üzerinde yapılmaktadır. Deney için kabul edilebilir örnek boyutları Çizelge 3.3'de verilmiştir. Tek eksenli basınç deneyi sırasında önceden hazırlanmış silindirik örnekler üzerine yükleme hızının ayarlanabildiği hidrolik pres yardımı ile sabit bir hızla eksenel yükleme yapılmaktadır. Örneklerin, 5 ile 15 dakika içerisinde yenilebilmesi için yükleme presi kapasitesi ile kayacın dayanımı arasında doğrusal bir ilişki bulunur. Dayanımı düşük olan örnekler üzerinde daha küçük yükleme yapabilecek düşük kapasiteli presler kullanılır.

Çizelge 3.3 Deneyin yapıldığı örnek boyutları (Ulusay ve ark., 2001)

Karot tipi (çapı, mm)	En kısa boy (mm)	En uzun boy (mm)
AX (30.0)	75.0	90.0
BQ (36.5)	91.3	109.5
BX (42.0)	105.0	126.0
NQ (47.6)	119.0	142.8
NX (54.7)	136.8	164.1

Bu çalışmada araziden toplanan kaya bloklarının tek eksenli sıkışma dayanımlarını belirlemek için her bir kaya örneğinden en az 3 silindirik karot örneğinin elde edilmesi sağlanmıştır. Bunun için, kaya blokları karot alma makinesine yerleştirilip, sabitlenmiştir (Şekil 3.5). Yapılan bu çalışmada, matkap çapı NX olan



karotiyerler kullanılmıştır. Matkabın soğutulması ve kırıntılarının atılması için su yardımıyla karotlar alınmaya çalışılmıştır.

Karot alma işleminde, yaklaşık ilk 10 mm'lik ilerlemede yavaş bir hız uygulanarak karot alma işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen karotların boy/çap (L/D) oranı 2.0 - 2.5 arasında olacak şekilde elde edilmiştir. Karot düzetme işlemiyle, karotların alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel ve pürüzsüz olması sağlanmıştır (Şekil 3.6).

Alınan silindirik karot örneklerin doğal birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi için her kaya bloğundan elde edilen karot örneklerinin boyu (L) ve çapı (D) kumpasla (0.01 mm duyarlılıkta) ölçülerek hacimsel değerleri belirlenmiştir. Örneklerin ağırlıkları (w) hassas terazide tartılmış ve ağırlıkların hacim değerine oranı dikkate alınarak kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

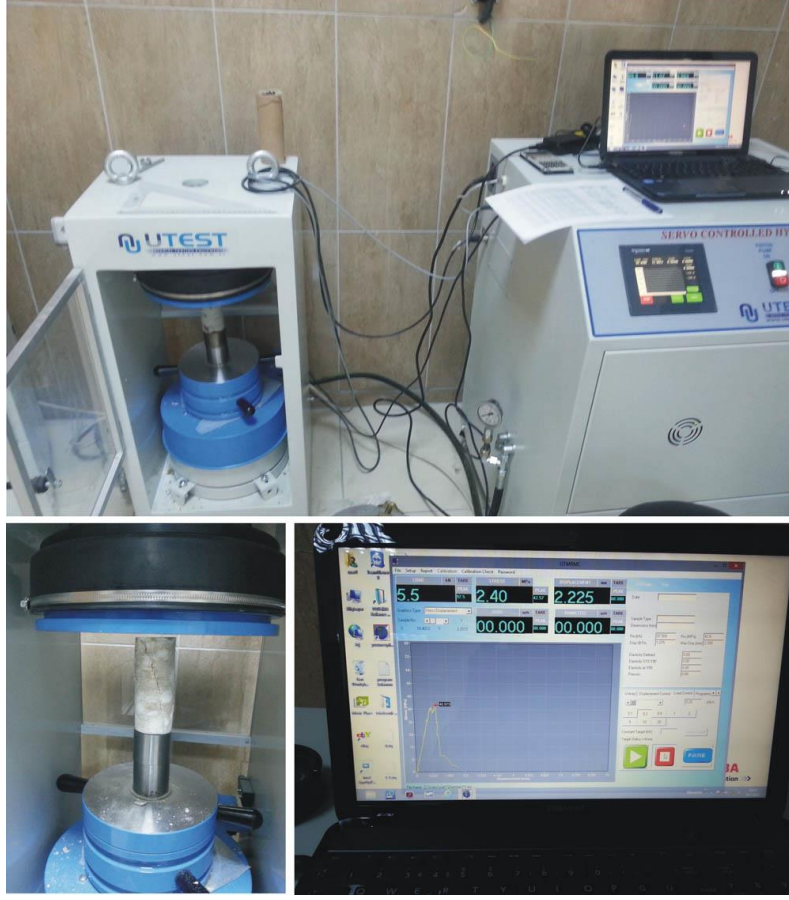


Şekil 3.5 Karot örneklerin elde edilmesi.



Şekil 3.6 Karot örneklerinin alt ve üst yüzeylerinin düzeltilmesi.

Paralellikleri ve pürüzlülüğü test edilen karotlar presin ortasındaki yükseltme plakasının üzerine merkezlenerek yerleştirilmiştir. Blok örnek ile presin üst bloğu arasındaki boşluk kapatılarak, yükleme yapılmaya başlanmıştır. Karotlar 5 ile 15 dakika arasında yenilecek şekilde presin hızı bilgisayar ve yük kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). Karot yenildiği anda yenilme yükü bilgisayar tarafından kaydedilmektedir. Bu veri kaydedildikten sonra, örnek presen çıkarılmış ve örneğin yenilme şekli kaydedilmiştir.



Şekil 3.7 Bilgisayar kontrollü test presinde kayaların sıkışma dayanımının belirlenmesi.

#### 4. SCHMİDT GERİ SİÇRAMA DEĞERLERİ İLE TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMI ARASINDAKİ DENEYSSEL İLİŞKİLER

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanım değerleri (UCS) ile Schmidt çekici geri sıçrama sayıları (N) arasındaki ilişki, kayaçların dayanım ve fiziksel özellikleri açısından farklı araştırmacılar için çalışma konusu olmuştur. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi, araştırmacılar değişik litolojik birimleri dikkate alarak farklı deneysel ilişkiler öne sürmüşlerdir. Elde edilen bu deneysel yaklaşımlar kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı ile Schmidt çekici geri sıçrama değerleri arasında istatistiksel olarak doğrusal ve/veya doğrusal olmayan bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1. Kayaçların Schmidt geri sıçrama ve tek eksenli sıkışma dayanım değerleri arasındaki korelasyonlar

Referans	Denklemler	r	Kaya Tipi - Litoloji
Deere ve Miller (1966)	$UCS = 10^{(0.00014\gamma N + 3.16)}$	0.94	28 farklı kaya
Aufmuth (1973)	$UCS = 6.9 * 10^{[1.348\log(\gamma N) - 1.325]}$	-	25 farklı kaya
Beverly ve ark. (1979)	$UCS = 12.74 \exp(0.185\gamma N)$	-	20 farklı kaya
Kidybinski (1980)	$UCS = 0.447 \exp[0.045(N + 3.5) + \gamma]$	-	Farklı kaya türleri ve kömür
Singh ve ark. (1983)	$UCS = 2N$	0.72	30 sedimanter kaya
Shorey ve ark. (1984)	$UCS = 0.4N - 3.6$	0.94	20 farklı kömür bloğu
Haramy ve DeMarco (1985)	$UCS = 0.994N - 0.383$	0.70	Kömür blokları
Ghose ve Chakraborti (1986)	$UCS = 0.88N - 12.11$	0.87	Kömür
O'Rourke (1989)	$UCS = 702N - 1104$	0.77	Kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı, anhidrit
Sachpazis (1990)	$N = 0.239 UCS + 15.7244$	0.96	Karbonatlı kaya
Xu ve ark. (1990)	$UCS = \exp(aN + b)$ a ve b kayaç tipine bağlı katsayılar	0.88	Mika-şist, parazinit, serpantin, gabro, çamurtaşı
Gokceoglu (1996)	$UCS = 0.0001N^{3.2658}$	0.84	Marn

Çizelge 4.1. Kayaçların Schmidt geri sıçrama ve tek eksenli sıkışma dayanım değerleri arasındaki korelasyonlar (devam)

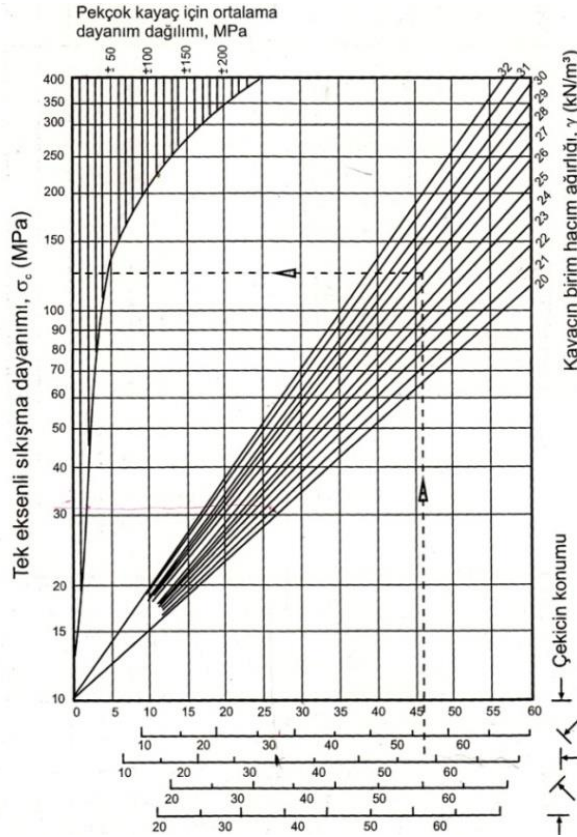
Referans	Denklemler	r	Kaya Tipi - Litoloji
Kahraman (1996)	$UCS = 4.5 * 10^{-4}(N * \gamma)^{2.46}$	0.93	10 litolojik birim
Tugrul ve Zarif (1999)	$UCS = 8.36N - 416$	0.87	Granit
Katz ve ark. (2000)	$UCS = 2.208e^{0.067N}$	0.98	7 litolojik birim
Kahraman (2001)	$UCS = 6.97e^{0.014\gamma N}$	0.78	9 litolojik birim
Yılmaz ve Sendir (2002)	$UCS = \exp(0.818 + 0.059N)$	0.98	Jips
Yasar ve Erdogan (2004)	$UCS = 4 \times 10^{-6} (N)^{4.2917}$	0.89	Kireçtaşı, mermer, basalt, kumtaşı
Shalabi ve ark. (2007)	$UCS = 3.201N - 46.59$	0.76	Dolomit, kireçtaşı ve şeyl
Kılıç ve Teymen (2008)	$UCS = 0.0137N^{2.2721}$	0.96	19 farklı kaya
Mishra ve Basu (2013)	$UCS = 2.38e^{0.065N}$	0.93	Granit, şist ve kumtaşı

Bu ilişkilerde görüldüğü gibi geri sıçrama değerlerinin artmasıyla kayaçların dayanım değerleri de artmaktadır. Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen ilişkide olduğu gibi, bazı deneysel ilişkilerde kayaçların yoğunluk değerleri de dikkate alınmaktadır. Söz konusu bu parametre ile elde edilen dayanım değerlerinin daha güvenilir olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1’de verilen abak yardımı ile Schmidt çekicinin uygulama yönüne bağlı olarak elde edilen geri sıçrama değerleri, laboratuarda kayaçların yoğunluğu ile ilişkilendirilerek, tahmini tek eksenli sıkışma dayanım değerleri elde edilmektedir. Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen bu abak yaygın olarak kullanılmaktadır.

Daha öncede ifade edildiği gibi kayaçların dayanım değerlerinin dolaylı olarak belirlenmesinde, Schmidt geri sıçrama değerlerinin kullanılmasına yönelik çok sayıda deneysel ilişki önerilmiştir. Çizelge 4.1’de verilen bu ilişkiler incelendiğinde tek eksenli sıkışma dayanımı ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında, çok farklı istatistiksel (doğrusal ve doğrusal olmayan) yaklaşımların elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, söz konusu ilişkilerin bir kısmı kömür, granit ve jips gibi tek bir litoloji için geliştirilirken, bir kısım çalışmalar orta ve sağlam kayaçları içeren farklı litolojiler için geliştirilmiştir. Bu nedenlerden dolayı, Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanım değerleri

arasında geliştirilen ilişkilerde, istatistiksel değerlendirme olarak bir standart olmadığı gibi bu iki parametre arasında tek ve/veya evrensel olabilecek bir ilişkinin de olmadığı görülmektedir.

Diğer taraftan, Çizelge 4.1’de verilen ilişkilerde elde edilen korelasyon katsayısı (r) değerleri 0.70 ile 0.98 arasında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı iki bağımsız değişken arasındaki ilişkinin gücünü tanımlaması anlamında oldukça önemlidir. Söz konusu katsayının 1’e yaklaşması değişkenler arasındaki ilişkinin güçlü olduğu anlamına gelmektedir. Bu anlamda söz konusu ilişkiler değerlendirildiğinde, Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları arasında güçlü bir ilişki söz konusudur. Ancak bu ilişkiler için hata paylarının mühendislik projelerinde göz ardı edilecek kadar düşük olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere ve Miller 1966).

Şekil 4.2’de Schmidt geri sıçrama değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında son dönemlerde önerilen bazı istatistiksel ilişkiler verilmiştir. Bu ilişkilerde görüldüğü gibi elde edilen korelasyon katsayılarının yüksek olmasına karşın, saçılım

güçlü ilişkiyi desteklememektedir. Ancak söz konusu ilişkilerde elde edilen hata değerleri mühendislik projelerinde kullanılamayacak kadar yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2’de önerilen bazı ilişkilerin güvenilirliği ortalama karesel hatanın karekökü değerine (RMSE) bağlı olarak değerlendirilmiştir. Burada RMSE, standart sapma değerine benzemektedir ve istatistikte oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Makridakis ve Hibon, 1995). RMSE değerinin sıfıra yaklaşması, tahmin edilen değerlerin ölçülen değerlere yakın olduğunu göstermektedir. RMSE değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

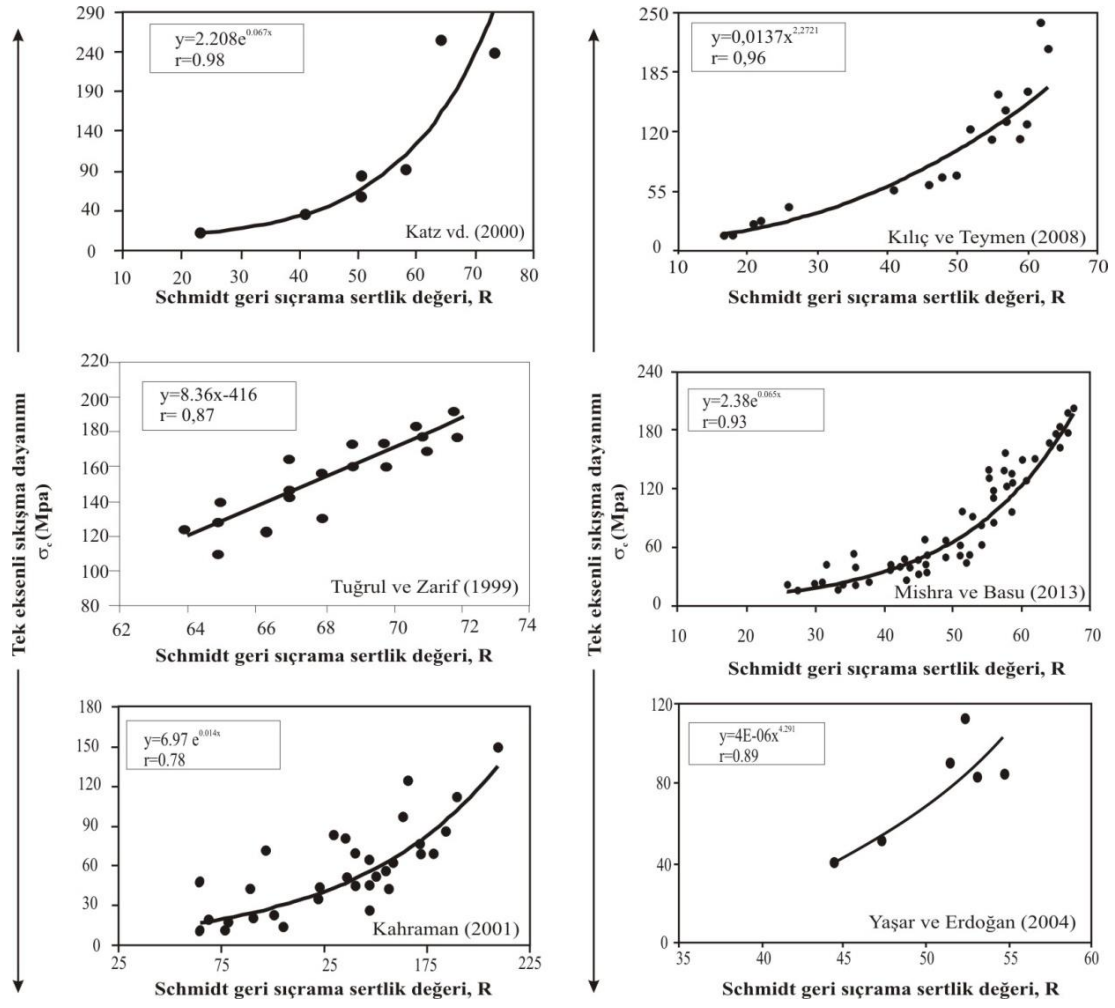
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Q_i - P_i)^2}{n}} \quad (4.1)$$

Burada;  $Q_i$  ölçülen değer,  $P_i$  ise önerilen eşitlikten tahmin edilen değer,  $n$  deneysel veri sayısıdır.

Çizelge 4.1’de verilen bazı eşitliklerin çözümü sonucunda hesaplanan hata değerleri 11.1 MPa - 40.4 MPa arasında değişmektedir (Çizelge 4.2). Söz konusu ilişkilerin yüksek derecede hata değeri sunması nedeniyle, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında önerilen deneysel ilişkilerin güvenilirliği ve doğruluğu oldukça düşüktür.

Çizelge 4.2. Önerilen bazı denklemler için hesaplanan RMSE ve korelasyon katsayısı değerleri

Referanslar	Denklemler	n	r	RMSE(MPa)
Tugrul ve Zarif (1999)	$UCS = 8.36N - 416$	19	0.87	11.1
Katz ve ark. (2000)	$UCS = 2.208e^{0.067N}$	7	0.98	40.4
Kahraman (2001)	$UCS = 6.97e^{0.0147N}$	48	0.78	19.7
Yasar ve Erdogan (2004)	$UCS = 4 \times 10^{-6} (N)^{4.2917}$	6	0.89	17.4
Kılıç ve Teymen (2008)	$UCS = 0.0137N^{2.2721}$	19	0.96	25.9
Mishra ve Basu (2013)	$UCS = 2.38e^{0.065N}$	60	0.93	19.0



Şekil 4.2. Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında bazı araştırmacılar tarafından önerilen deneysel ilişkiler.



## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular ve yöntemin güvenilirliğine yönelik yapılan değerlendirmeler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

### 5.1 Deneysel Bulgular

Arazi çalışmaları sonucunda laboratuvar ortamına getirilen kayaçlar üzerinde yeterli miktarda karot örneği alınarak, kayaçların yoğunluk ve tek eksenli sıkışma dayanım değerleri elde edilmiştir. Çizelge 5.1’de bu kapsamda elde edilen deneysel sonuçlar verilmiştir.

Schmidt çekici geri sıçrama değerleri ile kayaçların tek eksenli sıkışma dayanım değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik olarak, söz konusu deneysel veriler birbirleri ile regresyon ilişkileri içerisinde değerlendirilmiştir. Şekil 5.1a’da görüldüğü gibi elde edilen deneysel ilişkiler önceki çalışmalarda olduğu gibi doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon ilişkileri içerisinde değerlendirilmiştir. Söz konusu bu modeller kullanıldığı zaman, Schmidt geri sıçrama değeri ile UCS değerleri arasındaki korelasyon katsayıları ( $r$ ) sırasıyla 0.84 ve 0.92 olarak bulunmuştur. Bu değerler, Şekil 4.2’de verilen farklı araştırmacıların öne sürdükleri doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon ilişkileri içerisinde değerlendirildiği zaman, yüksek korelasyon değeri sunmakta ve önceki çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanım değerleri arasındaki korelasyon katsayıları yüksek değerler sunmasına karşın, daha öncede ifade edildiği gibi (Bknz; Bölüm 4), Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların tek eksenli sıkışma dayanım değerlerinin tahmin edilmesinde, gerçek değerlere oranla 11.1 – 40.4 MPa hata değerlerinin söz konusu olduğu belirlenmiştir (Bknz; Çizelge 4.2). Bu çalışmada, kayaçların dayanım değerleri ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasındaki deneysel ilişkinin ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) değeri, doğrusal ilişki içerisinde 11.4 MPa ve doğrusal olmayan ilişki içerisinde ise 12.2 MPa olarak belirlenmiştir. Bu hata değerleri, önceki ilişkilerden elde edilen hata değerleri içerisinde en düşük sınırı oluşturmaktadır.

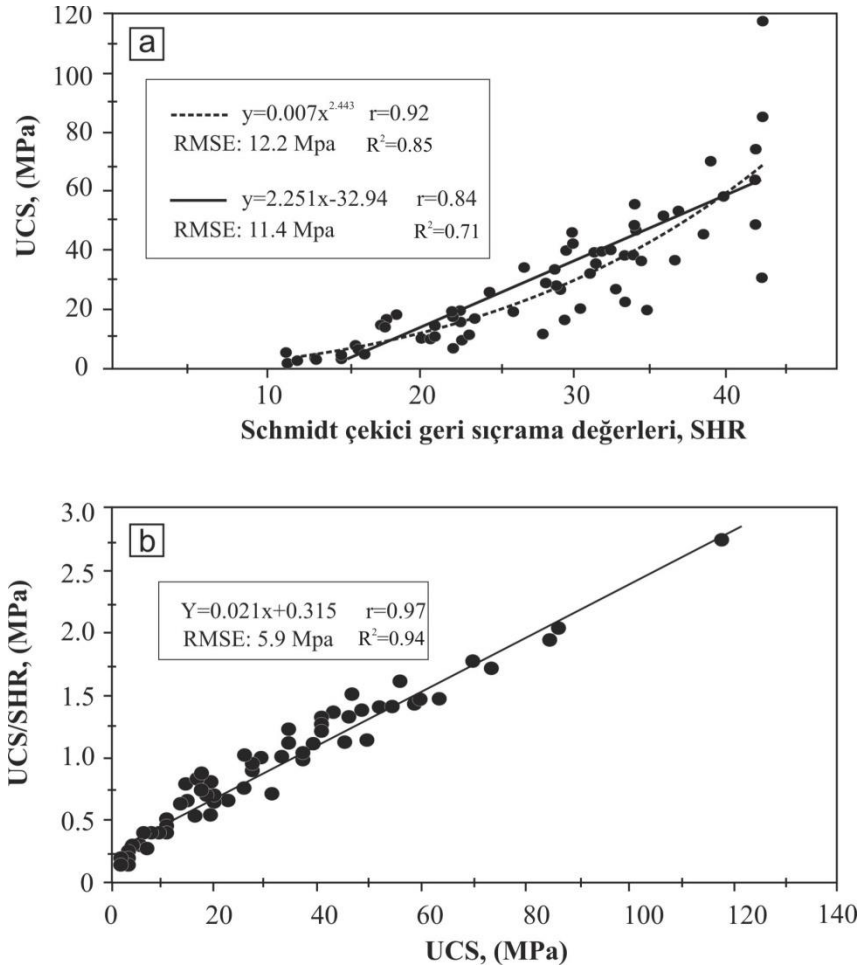
Çizelge 5.1. Arazide ve laboratuvar ortamında yapılan deneylere ait sonuçlar

No	Kayaç Tipi	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)			Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Schmidt Geri Sıçrama Değerleri			UCS/SHR (MPa) *
		Min	Ort	Max		Min	Ort	Max	
1	Traverten	18.4	22.7	27.6	2.4	30.0	33.6	38.0	0.67
2	Traverten	15.3	16.6	16.8	2.3	20.0	23.6	28.0	0.70
3	Traverten	12.3	15.4	17.4	2.3	19.0	22.7	24.0	0.68
4	Kumtaşı	45.6	53.1	60.7	2.6	36.0	37.0	38.0	1.43
5	Traverten	6.9	13.2	24.9	2.0	17.0	21.1	26.0	0.62
6	Traverten	10.2	10.8	12.4	2.0	15.0	20.3	25.0	0.53
7	Traverten	4.2	5.1	5.9	1.7	11.0	11.4	14.0	0.44
8	Jips	14.0	14.4	14.7	2.3	16.0	17.8	19.0	0.80
9	Jips	16.7	18.3	19.8	2.3	21.0	22.3	24.0	0.83
10	Traverten	1.4	2.2	3.2	1.6	10.0	12.3	14.0	0.18
11	Silttaşı	42.6	45.3	48.0	2.5	36.0	38.7	43.0	1.17
12	Kiltaşı	4.5	7.0	9.5	2.4	20.0	22.4	26.0	0.31
13	Kumtaşı	34.1	40.7	55.9	2.5	30.0	32.7	37.0	1.24
14	Silttaşı	36.0	39.6	43.7	2.5	28.0	31.7	36.0	1.24
15	Silttaşı	34.5	36.7	39.9	2.5	34.0	34.6	36.0	1.06
16	Silttaşı	44.6	52.0	60.6	2.5	33.0	36.0	38.0	1.44
17	Silttaşı	39.7	47.5	56.4	2.5	30.0	34.1	38.0	1.39
18	Kumtaşı	25.3	27.6	29.9	2.4	26.0	28.9	30.0	0.95
19	Kumtaşı	21.5	25.7	29.1	2.4	22.0	24.6	28.0	1.04
20	Andezit	17.6	19.7	21.5	2.4	33.0	34.9	38.0	0.56
21	Dasit	32.6	32.7	42.5	2.3	30.0	31.3	34.0	1.04
22	Dasit	28.3	31.3	34.6	2.1	41.0	42.3	43.0	0.73
23	Dasit	4.7	5.2	5.6	1.8	14.0	16.5	20.0	0.74
24	Andezit	36.6	38.9	41.7	2.2	32.0	34.0	36.0	1.14
25	Dasit	15.0	17.4	18.7	1.9	20.0	22.8	26.0	0.76
26	Andezit	29.4	35.5	40.0	2.2	30.0	31.7	34.0	1.12
27	Bazalt	80.9	85.8	88.5	2.5	38.0	42.3	48.0	2.02
28	Bazalt	90.4	118	138.9	2.7	39.0	42.4	45.0	2.78
29	Bazalt	79.8	84.4	91.5	2.7	40.0	42.6	47.0	1.99
30	Tüf	1.3	1.5	1.8	1.3	11.0	11.5	13.0	0.13
31	Andezit	32.5	33.7	35.3	2.2	26.0	28.9	30.0	1.16
32	Dasit	16.9	19.3	23.7	2.2	24.0	26.2	28.0	0.73
33	Andezit	35.6	38.3	42.4	2.3	30.0	33.6	38.0	1.14
34	Andezit	33.7	34.4	35.3	2.3	26.0	26.8	28.0	1.28
35	İgnimbrit	8.8	10.8	12.3	1.6	20.0	23.2	28.0	0.47
36	İgnimbrit	19.6	20.5	21.3	1.6	28.0	30.7	34.0	0.66
37	İgnimbrit	5.4	6.4	7.2	1.5	14.0	16.0	18.0	0.43
38	İgnimbrit	2.9	3.2	3.4	1.3	12.0	13.3	15.0	0.24
39	İgnimbrit	10.4	10.7	11.3	1.3	19.0	21.0	23.0	0.51
40	İgnimbrit	2.2	2.9	3.7	1.1	14.0	15.1	16.0	0.19
41	İgnimbrit	8.2	9.4	10.5	1.7	22.0	22.9	24.0	0.41
42	İgnimbrit	9.9	11.8	12.8	1.8	25.0	28.1	29.0	0.42
43	İgnimbrit	9.7	13.4	15.2	1.8	18.0	21.1	23.0	0.63
44	Kıraçtaşı	28.9	36.6	42.6	2.3	34.0	36.6	42.0	1.00
45	Kıraçtaşı	23.9	25.8	28.2	2.2	32.0	32.9	34.0	0.78
46	Kıraçtaşı	25.1	26.6	32.3	2.3	27.0	29.1	32.0	0.91
47	Kumtaşı	24.4	28.9	31.6	2.3	27.0	28.3	30.0	1.02
48	Kumtaşı	16.0	16.8	17.4	2.2	28.0	29.6	31.0	0.57
49	Kumtaşı	42.2	46.4	53.9	2.5	30.0	34.2	37.0	1.36
50	Jips	15.3	16.0	16.5	2.3	16.0	17.9	20.0	0.89

Çizelge 5.1. Arazide ve laboratuvar ortamında yapılan deneylere ait sonuçlar (devam)

No	Kayaç Tipi	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)			Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Schmidt Geri Sıçrama Değerleri			UCS/SHR (MPa) *
		Min	Ort	Max		Min	Ort	Max	
51	Jips	16.4	18.2	21.6	2.4	17.0	18.6	20.0	0.98
52	Jips	14.6	16.8	19.1	2.3	20.0	22.1	24.0	0.76
53	Jips	15.8	16.7	17.5	2.3	21.0	22.6	24.0	0.74
54	Jips	17.6	19.1	20.9	2.3	21.0	22.6	24.0	0.84
55	Kumtaşı	57.9	59.3	61.7	2.5	38.0	40.0	43.0	1.48
56	Kumtaşı	45.3	48.7	51.2	2.5	39.0	42.0	45.0	1.16
57	Kumtaşı	40.8	46.1	53.4	2.5	28.0	30.0	31.0	1.53
58	Kumtaşı	41.5	41.9	42.3	2.3	29.0	30.0	31.0	1.40
59	Kıraçtaşı	38.6	40.3	41.3	2.4	27.0	29.7	31.0	1.36
60	Bazalt	58.9	63.5	69.7	2.5	40.0	42.0	46.0	1.51

\*UCS: kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı, SHR, Schmidt geri sıçrama değerleri



Şekil 5.1. Elde edilen deneysel ilişkiler a) Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanım değerleri arasındaki deneysel ilişki b) Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanım değerleri arasındaki oran değerinin, kayaçların dayanım değerleri ile olan deneysel ilişkisi.

Ancak yinede söz konusu deneysel ilişkinin mühendislik projelerinde özellikle yerinde kayaçların dayanım değerlerinin belirlenmesinde yeterince düşük hata değerleri sağlamadığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, kayaçların dayanım değerleri ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasındaki en uygun ilişkinin belirlenmesi için istatistiksel olarak farklı ilişkiler içerisinde regresyon eğrileri elde edilmeye çalışılmıştır. Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların dayanım değerlerinin birebir karşılaştırıldığı geleneksel ilişkilerin aksine, kayaçların dayanım değerleri ile Schmidt çekici geri sıçrama değerleri arasındaki oran değerinin (UCS/SHR), kayaçların dayanım değerleri ile olan ilişkisi incelendiğinde çok daha yüksek korelasyon katsayısı değerlerinin elde edildiği anlaşılmıştır.

Bu kapsamda Çizelge 5.1’de verilen deneysel bulgular kayaların tek eksenli sıkışma dayanım değerlerinin bir fonksiyonu olarak, UCS/SHR oranı içerisinde değerlendirilmiştir. Kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı ile UCS/SHR oranı kullanılarak elde edilen deneysel ilişki Şekil 5.1b’de verilmiştir. Elde edilen ilişkide y-ekseni kayaçların dayanım değerinin Schmidt geri sıçrama değerine olan oranı (UCS/SHR), x eksenine ise kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımını (UCS) göstermektedir. Aşağıda verilen bu ilişki kullanılarak kayaçların tek eksenli dayanım değerleri dolaylı olarak elde edilmektedir.

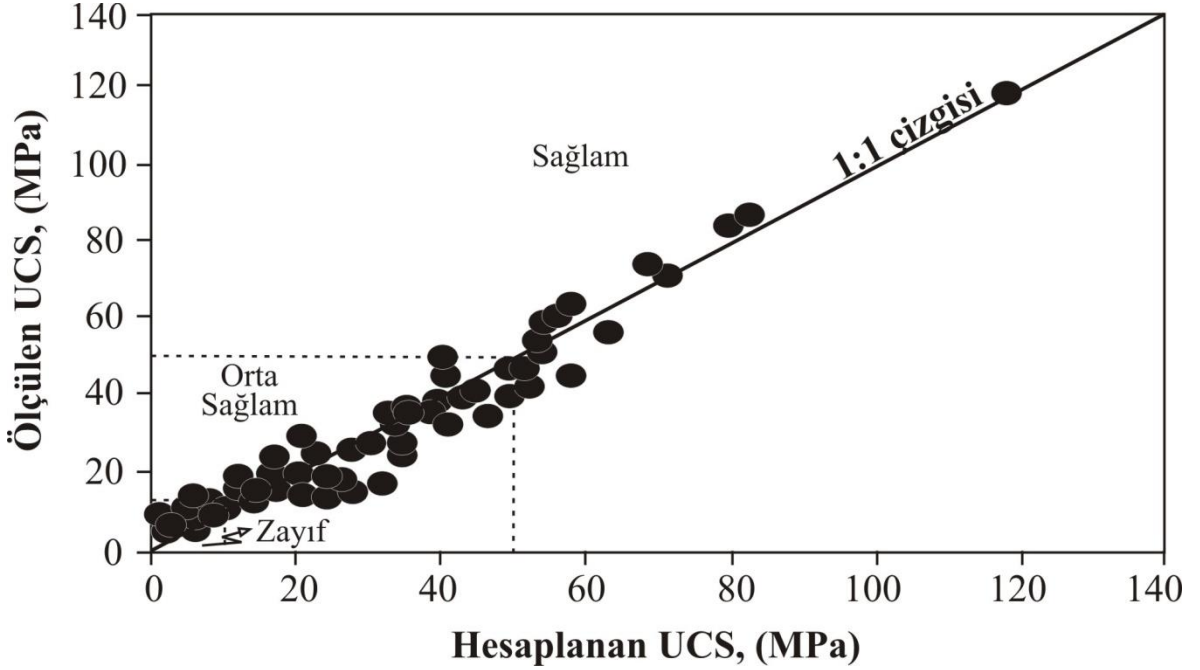
$$\frac{UCS}{SHR} = 0.021UCS + 0.32 \text{ veya } UCS = 0.32SHR / (1 - 0.021SHR) \quad (5.1)$$

Burada görüldüğü gibi, bu ilişki ile önceki geleneksel birebir korelasyonlar karşılaştırıldığında, korelasyon katsayısının çok daha yüksek ( $r = 0.97$ ) değerler sunduğu görülmektedir. Bu ise söz konusu oran değerinin, kayaçların dayanım değerlerinin dolaylı olarak tahmin edilmesinde çok daha anlamlı olduğunu göstermektedir.

Yukarıda verilen denklem 5.1’in güvenilirliği ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) değeri içerisinde değerlendirilmiştir. Ölçülen tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ile yukarıda önerilen eşitlik 5.1’den elde edilen tahmini dayanım değerleri arasındaki ortalama hata değeri 5.9 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 5.1b).

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi ölçülen dayanım değerleri ile deneysel ilişkiden hesaplanan dayanım değerleri karşılaştırıldığı zaman, söz konusu değerlerin 1:1 hattına

çok yakın olduğu görülmektedir. Bu ise söz konusu oran değerinin, kayaçların dayanım değerlerinin dolaylı olarak tahmin edilmesinde, diğer geleneksel birebir karşılaştırmalara oranla çok daha iyi bir indikatör olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.2. Kayaçların ölçülen dayanım değerleri ile deneysel ilişkidenden hesaplanan dayanım değerlerinin karşılaştırılması.

## 5.2. Kayaçların Dayanım Değerinin Tahmin Edilmesinde Tek Eksenli Sıkışma Dayanım Değeri ile Schmidt Çekici Arasındaki Oranın (UCS/SHR) Değerlendirilmesi

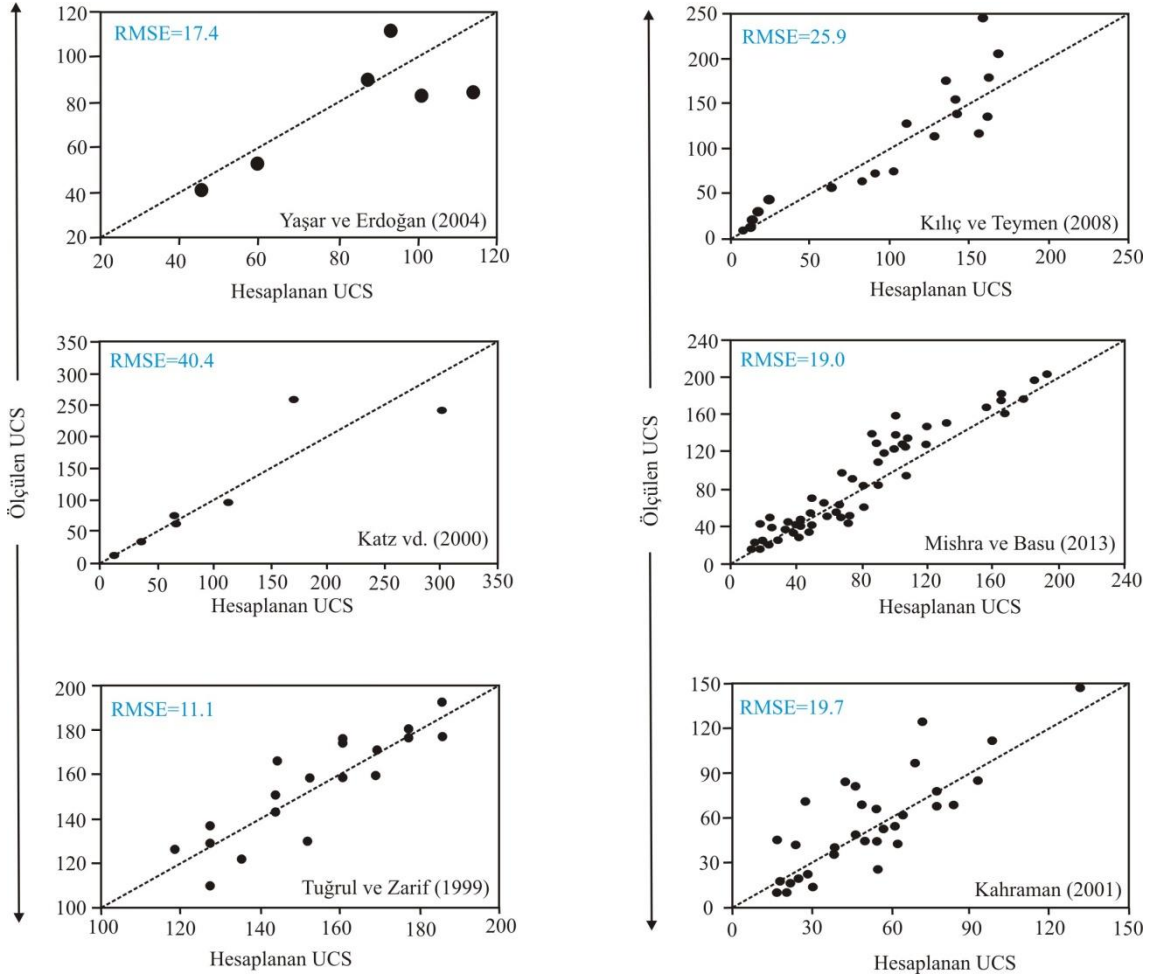
Yukarıda görüldüğü gibi kayaçların dayanım değerleri (UCS) ile Schmidt geri sıçrama değerleri (SHR) arasındaki oran değeri (UCS/SHR), kayaçların dayanım değerinin dolaylı olarak değerlendirilmesinde çok daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Söz konusu oran değerinin (UCS/SHR) güvenilirliği, bu bölüm içerisinde önceki çalışmalardan elde edilen veriler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla literatürde tek eksenli sıkışma dayanımı ile Schmidt verilerinin birlikte değerlendirildiği çalışmalardan yararlanılmıştır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. UCS/SHR oranının güvenilirliğini denetlemek için farklı çalışmalardan elde edilen veri seti

<b>Kaynak</b>	<b>Veri sayısı</b>	<b>Açıklama</b>
Tuğrul ve Zarif (1999)	19	granit
Katz et al. (2000)	7	5 ayrı kayaç
Kahraman (2001)	48	10 ayrı kayaç
Yasar ve Erdoğan (2004)	6	3 ayrı kayaç
Kılıç ve Teymen (2008)	19	11 ayrı kayaç
Mishra ve Basu (2013)	60	3 ayrı kayaç
<b>Toplam</b>	<b>159</b>	<b>33 ayrı kayaç</b>

Çizelge 5.2 de görüldüğü gibi, son yıllarda yapılan çalışmalar dikkate alınarak, farklı dayanımlara sahip kayaçlar üzerinde elde edilen tek eksenli sıkışma dayanım ve Schmidt geri sıçrama değerlerini içeren toplam 159 adet veri dikkate alınmıştır. Söz konusu araştırmacılar kayaçların dayanım değerleri ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında deneysel ilişkiler yakalamışlardır. Şekil 4.2 de görüldüğü gibi araştırmacıların istatistiksel olarak önermiş oldukları doğrusal ve üssel yaklaşımlar dikkate alındığı zaman korelasyon ( $r$ ) katsayılarının 0.78 ile 0.98 arasında olduğu belirlenmiştir. Araştırmacıların elde ettiği korelasyon katsayıları yüksek olmasına rağmen, önerilen denklemlerden hesaplanan tek eksenli sıkışma dayanım değerleri, gerçek dayanım değerleri ile karşılaştırıldığı zaman, bu denklemlerden elde edilen hata paylarının mühendislik projelerinde göz ardı edilecek kadar düşük olmadığı görülmektedir.

Denklemlerin güvenilirliğini ve doğruluğunu göstermek için araştırmacıların önerdikleri ilişkiler kullanılarak, ölçülen ve hesaplanan UCS değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi elde edilen değerlerin 1:1 çizgisine yakın olmadığı, büyük saçılım göstermesi; özellikle yüksek dayanım değerlerinde, araştırmacıların önerdikleri denklemler kullanılması durumunda daha düşük tahmin değerlerinin elde edildiği anlaşılmaktadır. Söz konusu bu denklemlerden elde edilen hata değerleri daha önce ifade edildiği gibi 11.1 MPa ile 40.4 MPa arasındadır (Bknz Çizelge 4.2). Dolayısıyla kayaçların dayanım değerlerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulduğu mühendislik projeleri için Schmidt çekici geri sıçrama değerleri gibi indeks parametrelerin kullanılması çoğu zaman güvenilir sonuçlar sunmamaktadır. Ancak bu veriler farklı mühendislik bakışı içerisinde değerlendirildiği zaman mühendislik projesinin uygunluğu açısından önemli veriler sağlayabilirler.



Şekil 5.3. Kayaçların ölçülen dayanım değerleri ile araştırmacıların önerdiği önceki ilişkilerden hesaplanan dayanım değerlerinin karşılaştırılması.

Her ne kadar aynı deney koşulları içerisinde, tek eksenli sıkışma dayanımı ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında tek bir ilişkinin elde edilemeyeceği ifade edilse bile (Yılmaz ve Sendir 2002), bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kaya dayanımını daha iyi temsil eden, evrensel bir ilişkinin olabileceğini göstermiştir. Bu kapsamda, önceki çalışmalardan elde edilen veriler, kaya dayanımının bir fonksiyonu olarak UCS/SHR oranı içerisinde değerlendirilmiştir. Buna göre Çizelge 5.3'te araştırmacıların verileri kullanılarak UCS/SHR oranı ile kayaların tek eksenli dayanım değerleri arasında yeni deneysel ilişkiler/denklemler elde edilmiştir.

Araştırmacıların önerdikleri denklemlerden hesaplanan hata değerleri 11.1 MPa ile 40.4 MPa arasında olduğu görülürken (Çizelge 5.3), UCS/SHR oranının kayaçların dayanım değeri ile olan ilişkileri dikkate alındığında elde edilen hata değerlerinin aynı veri seti içerisinde 3.5 MPa ile 11.9 MPa arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

Elde edilen bu standart hata değerleri kayaların UCS/SHR oranı ve UCS değerleri arasında kabul edilebilir, gerçeğe daha yakın dayanım değerlerinin tahmin edilebileceğini göstermektedir. Benzer olarak bu karşılaştırmalarda elde edilen korelasyon katsayısı değerlerinin aynı veriler içerisinde çok daha yüksek değerler sunduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.3). Bu karşılaştırmalar UCS / SHR oranı ile elde edilen ilişkinin, UCS ve SHR arasındaki diğer geleneksel eşitliklere oranla, kayaçların dayanım değerlerinin belirlenmesinde evrensel bir denklemin elde edilebileceğini göstermektedir.

Çizelge 5.3. Bazı araştırmacılara ait verilerin UCS/SHR oranı içerisinde değerlendirilmesi

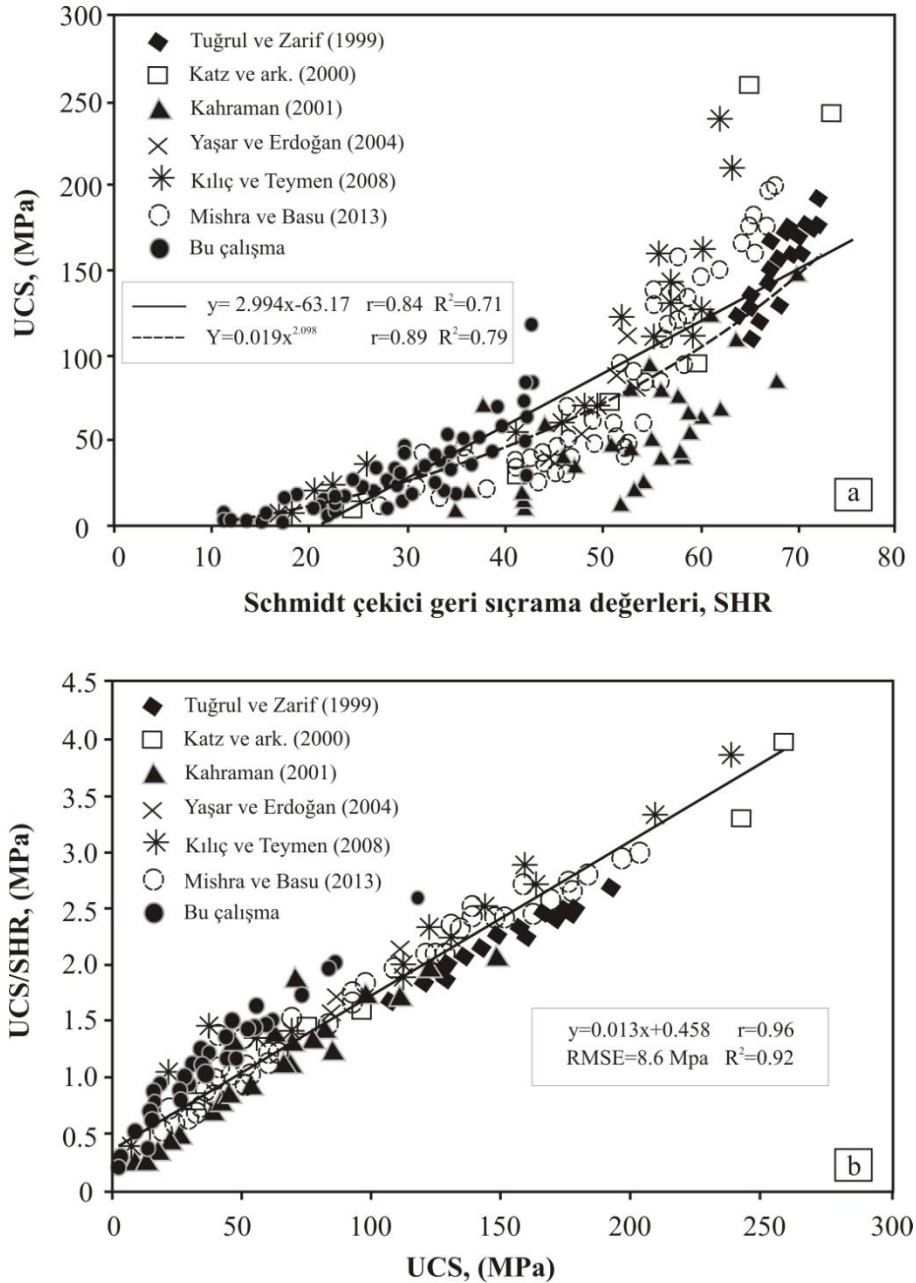
Referanslar	Denklemler	n	r (I)	RMSE, MPa (I)	r (II)	RMSE, MPa(II)
Tugrul ve Zarif (1999)	$UCS = 8.36N-416$	19	0.87	11.1	0.98	3.5
Katz ve ark. (2000)	$UCS=2.208e^{0.067N}$	7	0.98	40.4	0.99	10.2
Kahraman (2001)	$UCS = 6.97e^{0.0147N}$	48	0.78	19.7	0.94	11.9
Yasar ve Erdogan (2004)	$UCS=4 \times 10^{-6} (N)^{4.2917}$	6	0.89	17.4	0.99	4.9
Kılıç ve Teymen (2008)	$UCS = 0.0137N^{2.2721}$	19	0.96	25.9	0.99	11.0
Mishra ve Basu (2013)	$UCS = 2.38e^{0.065N}$	60	0.93	19.0	0.99	11.5

RMSE ve korelasyon katsayıları: (I) Çizelge 4.2’de verilen bazı regresyon ilişkileri için her data verisinde hesaplanan, (II) UCS/SHR oranının güvenilirliğini belirlemek için her data verisinin kontrol amaçlı kullanımı.

Diğer taraftan bu çalışmadan elde edilen veriler ile birlikte, farklı araştırmacıların elde ettiği veriler tek bir grafik içerisinde değerlendirilmiştir (Şekil 5.4a). Geleneksel karşılaştırmalarda olduğu gibi, ilişkiler güvenilir sonuçlar sunmamaktadır. Ayrıca araştırmacıların verileri birlikte değerlendirildiğinde korelasyon katsayısının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir ( $r= 0.84-0.88$ ). Oysaki aynı veri seti UCS/SHR oranı içerisinde değerlendirildiği zaman kayaçların dayanım değerleri ile çok daha uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 5.4b’de görüldüğü gibi UCS/SHR ile kayaçların dayanım değerleri arasında doğrusal ve yüksek korelasyon değerinde güçlü bir ilişki söz konusudur. Bu denklemden elde edilen hata değeri ise oldukça düşüktür (RMSE:8.6 MPa).



Tüm bu sonuçlar tüm kaya tipleri için kayaların dayanım değerleri ile Schmidt geri sıçrama değerleri arasında evrensel bir ilişkinin mümkün olabileceğini göstermiştir. Bu kapsamda UCS/SHR oranının kayaçların dayanım değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılması önerilmekte ve daha güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için geniş bir veri aralığı içerisinde söz konusu ilişkinin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.4. Farklı araştırmaların çalışmalarından elde edilen veri setinin değerlendirilmesi a) doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler içerisinde UCS ile Schmidt çekici geri sıçrama değerleri arasındaki ilişki, b) UCS/SHR ile kaya dayanımı arasında elde edilen güçlü doğrusal ilişki.

### 5.3 Tartışma

Daha önce belirtildiği gibi, kayaçların Schmidt geri sıçrama değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımları arasında güçlü bir korelasyon söz konusudur. Ancak Schmidt çekici geri sıçrama değerleri, kayaçların dayanım değerlerini dolaylı olarak belirlenmede oldukça kaba tahminler sunmaktadır. Burada yöntemin güvenilirliğini ve doğruluğunu kontrol eden en önemli faktör test edilen kaya örneklerinin içsel özelliklerinin göz ardı edilmesidir. Schmidt çekici geri sıçrama değerleri test edilen kaya örneğinin 30-50 mm derinliğindeki yüzey şartlarını yansıtmaktadır. Dolayısıyla kayanın mekanik özelliklerini kontrol eden mikro kırıklara, gözenekliliğe, doygunluk derecesine ve kayanın dokusu gibi içsel özelliklere hassas değildir.

Yüzey sertliği ile kayanın dayanımı arasında yaygın kullanıma yönelik deneysel bir ilişki elde edilebilmesi için, kullanılacak olan indeks parametre kayanın mekanik özelliğini karakterize etmelidir. Kaya dayanımının bir fonksiyonu olarak UCS/SHR oranı kayanın mekanik özellikleri ile çok daha uyumludur. Çünkü bu oran değeri içinde UCS, kayanın dayanımını tanımlar ve söz konusu bu oran güçlü bir şekilde UCS tarafından etkilenir. Kayanın artan sıkışma dayanımı içerisinde Schmidt geri sıçrama değerlerinin artışı çok daha düşüktür. Dolayısıyla artan dayanım değerleri içerisinde söz konusu bu oran değeri de yüksek oranda artmaktadır.

Bu tez çalışmasında önerilen UCS/SHR oranı sadece kayaçların dayanım değerlerinin tahmin edilmesinde önerilmiştir. Söz konusu bu oran değeri ile çok daha güvenilir sonuçların elde edilebileceği açıktır. Diğer taraftan bilindiği gibi Schmidt geri sıçrama değerleri ile young modülü ( $E_t$ ) gibi kayaçların deformasyon özellikleri ve ayrıca kayaçların çekme dayanımları ( $\sigma_t$ ) arasında bilinen deneysel ilişkiler söz konusudur. Her ne kadar söz konusu ilişkiler bu çalışmanın konusu olmasa da,  $\sigma_t$ /SHR ve  $E_t$ /SHR oran değerlerinin kullanılması ile kayaçların deformasyon ve çekme dayanımlarına yönelik çok daha güvenilir eşitliklerin elde edilmesi mümkündür. Hatta bu oran değerleri ile daha önce bahsedildiği gibi tünel açma makineleri performansı veya maden ocağı yapısal kontrolleri (basamak, şev duraysızlıkları vb.) gibi çok daha spesifik uygulamalar yapılabilir. Bunların dışında söz konusu oran değeri ile kaya kütlesi içerisinde Hoek Brown veya Johnston yenilme kriterlerinde tanımlı olan malzeme sabitlerinin değerlendirilmesi söz konusu olabilir. Çünkü önceki çalışmalardan

bilindiği gibi Schmidt geri sıçrama değerleri hem kayaçların çekme dayanımı hem de sıkışma dayanım değerleri ile yüksek bir korelasyon sağlamaktadır. Dolayısıyla yenilme kriterlerinden yararlanılarak, herhangi bir üç eksenli sıkışma dayanım deneyi yapmaya gerek kalmadan, UCS/SHR oranını dikkate alınarak tahmini tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ile UCS/ $\sigma_1$  oranı yaklaşık olarak hesaplanabilir.

## 6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Schmidt geri sıçrama değerleri ile kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımlarının literatürdeki önceki çalışmalara oranla daha güvenilir olarak elde edilebileceği, basit ve doğrusal bir ilişki önerilmiştir ( $UCS=0.32SHR/(1-0.021SHR)$ ). Çalışmadaki indeks parametre tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ile Schmidt geri sıçrama değerleri (SHR) arasındaki orandır. UCS/SHR oran, kayaçların mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde, Schmidt geri sıçrama değerlerine (SHR) oranla çok daha iyi bir indikatördür. Çünkü kayaçların tek eksenli sıkışma dayanım değeri kayaçların mekanik özelliklerini tanımlamakta ve kayaçların tek eksenli sıkışma dayanım değerleri, UCS/SHR oranını güçlü bir derecede etkilenmektedir. Kayaçların UCS değerleri arttıkça söz konusu UCS/SHR değeri de doğrusal olarak artmaktadır.

UCS/SHR oranı ile kayaçların dayanım değerleri (UCS) arasındaki ilişkinin doğruluğu ve güvenilirliği, UCS ile SHR arasında yapılan birebir karşılaştırmalardan elde edilen deneysel ilişkilere oranla oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen ilişkinin hata değeri ortalama karesel hatanın karekökü analizlerine göre oldukça (ortalama 5.9 MPa) düşüktür. Orta ve sağlam kayaç aralığı içerisinde, söz konusu ilişki kayaçların yerinde dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Günümüze kadar birçok araştırmacı kayaların tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ile Schmidt çekici geri sıçrama değerleri arasında deneysel ilişkiler önermişlerdir. UCS ve SHR arasındaki deneysel ilişkiler çoğunlukla doğrusal ve eğrisel olarak farklı istatistiksel modeller içerisinde elde edilmiştir. Ayrıca bu ilişkilerin elde edilmesinde hem farklı kayaç grupları, hem de tek tip kayaç içeren değerlendirmeler yapılmıştır. Dolayısıyla farklı kayaç gruplarını veya tek tip kayaç grubu için tanımlayıcı olabilecek çok sayıda deneysel ilişki önerilmiştir. Bu çalışma kapsamında da görüldüğü gibi söz konusu bu eşitlikler için elde edilen hata değerleri oldukça yüksektir. Belki de bu çalışmanın en dikkat çekici yanlarından bir tanesi, tüm kayaç grupları için doğrusal bir model içerisinde, yerinde sıkışma dayanım değerlerini yüksek güvenilirlik ile sağlayan deneysel bir ilişkinin elde edilmiş olmasıdır. Bu çalışmadan elde edilen deneysel veriler önceki araştırmalardan elde edilen verilerle birlikte ayrıca değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre söz konusu yaklaşım bu

kapsamda tüm kayaç grupları için evrensel bir ilişkinin elde edilebileceğini göstermektedir.

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımlarının belirlenmesine gereksinim duyulan, birçok yaygın uygulamada söz konusu yaklaşımın kullanılması çok daha yararlı olacaktır. Bu alanlar kaya kütle değerlendirilmesi, özellikle ayrışma (bozunma) derecesinin belirlenmesi, dayanım içerisinde yeraltı açıklıklarının değerlendirilmesi, maden tavan kontrolü, oda topuk yöntemi tasarımı ve kaya kütlelerinde dayanım azalmasına yönelik uygulamalar olabilir. Bu yaklaşımla Schmidt çekici uygulaması hatta kayaçların deformasyon özelliklerinin ve çekme dayanımının değerlendirilmesinde ileriki dönemlerde daha güvenilir sonuçlar sunabilir.

Bu çalışmada kayaçların sıkışma dayanımının bir fonksiyonu olarak önerilen UCS/SHR oran değeri kayaçların geniş bir sıkışma dayanım aralığını tanımlamaktadır. Zayıf ve orta sağlam kayaçların dayanım değerleri için önerilen eşitlik yüksek derecede güvenilirlik sağlarken, bu kapsamda yapılacak olan ileriki çalışmalarda aynı deneysel koşullar içerisinde dayanımı yüksek sağlam kayaçların geniş bir veri seti içerisinde değerlendirilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- ASTM, 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. *ASTM Stand.* 04.09 (D 5873-00).
- Atkinson, R.H., 1993. In: Hudson, J.A. (Ed.), *Hardness Tests for Rock Characterization*. A Chapter in *Comprehensive Rock Engineering*, Vol. 3. *Pergamon Press*, pp. 107.
- Aufmuth, R.E., 1973. A systematic determination of engineering criteria for rocks. *Bull. Assoc. Eng. Geol.* 11, 235–245.
- Ayday, C., Gökten, R.M., 1992. Correlations between L and N-type Schmidt hammer rebound values obtained during field testing. *Proceedings of the international symposium on rock characterization*, EUROCK'92, Chester, UK: 47–50.
- Aydın, A., Basu, A., 2005. *The Schmidt hammer in rock material characterization*, *Engineering Geology*, 81, pp.1–14.
- Beverly, B.E., Schoenwolf, D.A., Brierly, G.S., 1979. *Correlations of rock index values with engineering properties and the classification of intact rock*.
- Bieniawski, Z.T., Van Heerden, W.L., 1975. The significance of in situ tests on large rock specimens. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech* Abstr;12.101–13.
- Büyüksağış, I.S., Gökten, R.M., 2007. The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock, *International Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44, pp 299-307.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties of intact rock, Tech. Report No. AFWL-TR 65-116, *University of Illinois*.
- Del Porto, R., Hurlimann, M., 2009. A comparison of different indirect techniques to evaluate volcanic intact rock strength. *Rock Mech Rock Eng*; in press, doi:10.1007/s00603-008-0001-5.
- GBG Structural Services, 2004. Material testing and structural investigations- Rebound Hammer Testing. <http://www.gbg.co.uk/index.php?page=strrebound>. Cambridge, UK. Erişim tarihi: 18.03.2014.
- Ghose, A.K., Chakraborti, S., 1986. Empirical strength indices of Indian coals—an investigation. *Proc. 27th US Symp. on Rock Mech.* Balkema, Rotterdam, pp. 59–61.

- Gokceoglu, C., Aksoy, H., 2000. New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses. *Eng Geol*;58:1–23.
- Goktan, R.M., Ayday, C., 1993. A suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*; 30:321–2.
- Goudie, A.S., 2006. The Schmidt Hammer in geomorphological research, *Progress in Physical Geography*, 30, 6, pp. 703–718.
- Gökçeoğlu, C., 1996. Schmidt sertlik çekici kullanılarak tahmin edilen tek eksenli basınç dayanımı verilerinin güvenilirliği üzerine bir değerlendirme, *Jeol. Mühendisliği* Mayıs, 48, s.78 – 81.
- Göktaş, R.M., Güneş, N., 2005. A comparative study of Schmidt hammer testing procedures with reference to rock cutting machine performance prediction, *Int J Rock Mech Min Sci*, pp. 466–72.
- Greco, R., Sarriso-Volvo, M., 2005. Relationships between joint apparent separation, Schmidt hammer rebound value, and distance to faults, in rock outcrops, Calabria, Southern Italy. *Eng Geol*;78:309–20.
- Haramy, K.Y., DeMarco, M.J., 1985. Use of Schmidt hammer for rock and coal testing. Proc. *26th US Symp. on Rock Mech.* 26–28 June, Rapid City. Balkema, Rotterdam, pp. 549– 555.
- Hucka, V., 1965. A rapid method for determining the strength of rocks in situ. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*; 2:127–34.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay, R., J.A. Hudson, *Kozan Offset Press*, Ankara, pp. 153-154.
- Janach, W., Merminod, A., 1982. Rock abrasivity test with a modified Schmidt hammer. *Int J Rock Mech Min Sci*. 19:43–5.
- Kahraman, S., 1996. Basınç direnci tahmininde Schmidt ve nokta yük indeksi kullanmanın güvenilirliği. In: Korkmaz, S., ve Akçay, M. (Eds.), *K.T.U. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, vol. 30. Yıl Sempozyumu. Bildiriler Kitabı*, Trabzon, pp. 362– 369.

- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech* Abstr 38:981–994
- Karaman, K., Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., 2011. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde Schmidt çekici yöntemlerinin incelenmesi. *Türkiye 22. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Sergisi* 11-13 Mayıs 2011 Ankara 87-94.
- Karpuz, C., 1990. A classification system for excavation of surface coal measures. *Min Sci Technol.* 11:157–63.
- Karpuz, C., Özenoğlu, A., Tutluoğlu, L., Ünal, E., (1986), “Kaya Mekaniği İlkeleri” O.D.T.Ü. *Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilimdalı, Seminer* No: 6-7, 50-56s.
- Katz, O., Reches, Z., Roegiers, J.C., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer. *Int J Rock Mech Min Sci*; 37:723–8.
- Kazi, A., Al-Mansour, Z.R., 1980. Empirical relationship between Los Angeles Abrasion and Schmidt hammer strength tests with application to aggregates around Jeddah. *Q J Eng Geol* London; 13:45–52.
- Kılıç, A., Teymen, A., 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bull Eng Geol Environ.* 67:237-244
- Kidybinski, A., 1980. Method of investigation, estimation and classification of roofs in the USA for the selection of suitable mechanized support for long walls. *Project No. 14-01-0001- 1450. Central Mining Institute*, Katowice, Poland. 25 pp.
- Küçük, Ö.F., 2006, Ultrasonik yüzey dalgaları- Schmidt yöntemi yardımıyla beton dayanımının bulunması, *Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa
- Li, X., Rupert, G., Summers, D.A., Santi, P., Liu D, 2000. Analysis of impact hammer rebound to estimate rock drillability. *Rock Mech Rock Eng.* 33:1–13.
- Makridakis, S., and Hibon, M., (1995). Evaluating Accuracy (or Error) Measures, Working Paper. *INSEAD*, Fontainebleau, France.
- Matthews, J.A., Shakesby, R.A., 1984. The status of the Little Ice Age in southern Norway: relative-age dating of Neoglacial moraines with Schmidt hammer and lichenometry. *Boreas*; 13:333–46.



- Mishra, D., A., Basu, A., 2013. Estimation of uniaxial compressive strength of rock materials by index tests using regression analysis and fuzzy inference system. *Eng Geol.* 160:54-68
- Mohamed, Z., Rafek, A.G., Komoo, I., 2007. Characterization and classification of the physical deterioration of tropically weathered Kenny Hill Rock for civil works. *Electron J. Geotech Eng.* 0703.
- O' Rourke, J.E., 1989. Rock index properties for geoengineering in underground development. *Min. Eng.*, 106– 110.
- Poole, R.W., Farmer, I.W., 1980. Consistency and repeatability of Schmidt hammer rebound data during field testing (Technical Note). *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech.* Abstr. 17, 167– 171.
- Sachpazis, C.I., 1990. Correlating Schmidt hardness with compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 42, 75– 83.
- Schmidt, E., 1951. A non-destructive concrete tester. *Concrete* 59 (8), 34–35.
- Shalabi, F.I., Cording, E.J., Al-Hattamleh, O.H., 2007. Estimation of rock engineering properties using hardness test. *Eng Geol.* 90:138-147
- Shorey, P.R., Barat, D., Das, M.N., Mukherjee, K.P., Singh, B., 1984. Schmidt hammer rebound data for estimation of large scale in-situ coal strength. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech* Abstr; 21:39–42.
- Singh, R.N., Hassani, F.P., Elkington, P.A. S., 1983. The application of strength and deformation index testing to the stability assessment of coal measures excavations. *Proc. 24th US Symp. On Rock Mech. Texas A and M Univ. AEG, Balkema*, Rotterdam, pp. 599–609.
- Soiltest, Inc., 1976. Operating instructions- concrete test hammer. *Evanston, IL.* 1976.
- Sumner, P, Nel, W, 2002. The effect of moisture on Schmidt hammer rebound: Tests on rock samples from Marion Island and South africa. *Earth Surf Proc Landforms*, 27, pp.1137-1142.
- Thornton, L.E., Stephenson WJ, 2006. Rock strength—a control of shore platform evaluation. *J Coastal Res*; 22 (1): 224–31.
- Tugrul, A., Zarif, I.H., 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Eng. Geol.* 51, 303–317.

- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal, A., 2001. *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No:58, Ankara, 167.
- USBR, 1998. Engineering geology field manual. *Field index tests*. vol. 1. pp. 111–2.
- Vellone, D. A., Merguerian, C., 2007. Measuring engineering properties of nyc rocks using a Schmidt rebound hammer-preliminary results. *in* Hanson, G. N., *chm.*, Fourteenth Annual Conference on Geology of Long Island and Metropolitan New York, 14 April 2007, State University of New York at Stony Brook, NY, *Long Island Geologists Program* with Abstracts, 3 p.
- Williams, R.B.G., Robinson D.A., 1983. The effect of surface texture on the determination of the surface hardness of rock using the Schmidt hammer. *Earth Surf Proc Landforms*; 8:289–92.
- Xu, S., Grasso, P., and Mahtab, A., 1990, Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock. *6th Int. IA. EG Congress*, Balkema, Rotterdam 511. - 519.
- Yasar, E., Erdoğan, Y., 2004. Estimation of rock physicochemical properties using hardness methods. *Eng. Geol.* 71, 281–288.
- Yılmaz, I., Sendir, H., 2002. Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey). *Eng Geol.* 66:211–9.
- Yoshinaka, R., Osada, M., Park, H., Sasaki, T., Sasaki, K., 2008. Practical determination of mechanical design parameters of intact rock considering scale effect. *Eng Geol.* 96.173–186.
- Young, R.P., Fowell, R.J., 1978. Assessing rock discontinuities. *Tunnels Tunnelling*. June; 45–8.

## **ÖZ GEÇMİŞ**

Ocak 1990 yılında Van'da doğdu. İlk ve ortaöğretimi tamamladıktan sonra 2008 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2012 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı.