

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARBONAT KAYAÇLARIN TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMLARININ BASİT
İNDEKS DENEYLER KULLANILARAK TAHMİNİ**

Jeo. Müh. Derya KANIK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Jeoloji Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.08.2010
Tezin Savunma Tarihi : 22.09.2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hakan KARSLI**



Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasına bilgi, eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan Sayın Yrd. Doç. Arzu FIRAT ERSOY'a, Yrd. Doç. Dr. Bülent YALÇINALP'a, Uzman Dr. İrfan TEMİZEL'e ve Arş. Gör Ali BABACAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen bölümümüz teknik elemanlarından Murat KAYIKÇI ve Erdoğan TİMURKAYNAK'a teşekkür ederim.

Bununla birlikte çalışmanın birçok aşamasında yardımlarını esirgemeyen Güvencem Mermer ve Madencilik Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına ve özellikle Trabzon Fabrika yöneticisi Nazmiye YAZICI'ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında göstermiş olduğu maddi, manevi her türlü fedakarlığı için desteklerini benden esirgemeyen eşime, anneme, babama ve kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Derya KANIK
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
TABLolar DİZİNİ	VII
SEMBOLLER DİZİNİ	VIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın Alanının Genel Özellikleri	3
1.4. Bölgesel Jeoloji	4
1.5. Literatür Özeti	8
1.5.1. Bölgesel Çalışmalar	8
1.5.2. Kaya Mekaniği Çalışmaları	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	14
2.1. Kaya Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları	14
2.1.1. Su İçeriği	14
2.1.2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme	15
2.1.3. Görünür Porozite	15
2.1.4. Birim Hacim Ağırlık	16
2.1.5. Tek Eksenli Basınç Direnci	17
2.1.6. Ultrasonik Ölçümler	17
2.1.7. İstatistiksel Çalışmalar	18
3. BULGULAR	19
3.1. Çalışma Alanının ve Çevresinin Jeolojisi	19
3.2. Karbonat Kayaçların İndeks ve Dayanım Özellikleri	22
3.2.1. Su İçeriği, Su Emme ve Görünür Porozite	23
3.2.2. Birim Hacim Ağırlık ve Ultrasonik Hız	24

3.2.3.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	25
3.3.	Deney Verilerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi	31
3.3.1.	Basit Tek Değişkenli Regresyon Analizi.....	32
3.3.2.	Tek Değişkenli Regresyon Analizlerinin Yorumlanması.....	37
3.3.3.	Çoklu Regresyon Analizi.....	40
3.3.4.	Çoklu Regresyon Analizlerinin Yorumlanması	44
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
5.	KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Kayaçların mühendislik özellikleriyle ilgili laboratuvar verilerinin çokluğu jeoteknik mühendisliği uygulamalarında önemli bir yer teşkil eder. Kaya mekaniği ve mühendislik jeolojisi uygulamalarının çoğunda, tek eksenli basınç dayanımı (uniaxial compressive strength-UCS) yaygın olarak kullanılan parametrelerden birisidir. Fakat bazı durumlarda bu deney için numune hazırlanması ve deneyin yapılması pahalı ve zaman alıcıdır. Bir alternatif olarak, kayaçların önemli mühendislik özelliklerinin tahmininde çeşitli mekanik ve fiziksel özellikler arasındaki analitik ve deneysel ilişkiler kullanılabilir. Bu nedenle porozite ve ultrasonik hız gibi basit deney yöntemlerinin tek eksenli basınç dayanımını kestirmek amacıyla kullanımı oldukça yaygındır. Bu basit deney yöntemleri hızlı, kolay, portatif ve ucuzdur. Ayrıca numune hazırlama işlemi de gerektirmeyebilirler.

Bu çalışmanın amacı kayaçlar üzerinde basit deney yöntemlerini ve tek eksenli basınç dayanım deneylerini uygulayarak, kayanın tek eksenli basınç dayanımı sonuçları ile basit deney sonuçları arasında istatistiksel ilişkiler kurmaktır. Çalışmada UCS'nin tahminine yönelik basit ve çoklu regresyon analizleri uygulanmış ve sonuç olarak, ultrasonik hız ve porozite verilerinden yararlanarak karbonat kayaçların (traverten, oniks ve kireçtaşı) tek eksenli basınç dirençlerinin tahminine yönelik 16 farklı eşitlik özetlenmiştir. Elde edilen ilişkilerle diğer araştırmacılar tarafından önerilen ilişkiler karşılaştırılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar sonucunda elde edilen eşitliklere ait regresyon katsayılarının diğer araştırmalarda elde edilenlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna göre analizlerin doğruluk oranının da yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İndeks özellikler, Tek eksenli basınç direnci, İstatistiksel ilişki

SUMMARY

PREDICTING OF UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF CARBONATE ROCKS USING SIMPLE TEST METHODS

A strong laboratory database of engineering properties of rocks is very useful for geotechnical engineering applications. In the most of engineering geological and rock engineering applications, uniaxial compressive strength (UCS) of rocks is the most widely used design test. However, in some cases it can be quite difficult, time consuming and expensive to prepare specimens and to conduct this test. As an alternative, it can be used empirical or analytical relationships among various physical and mechanical strength properties of materials to estimate the required engineering properties of rocks. For these reasons, simple test methods such as porosity and ultrasonic sonic velocity test are used widely. These simple tests have been world widely used to estimate the UCS of rocks, because of their rapidity, simplicity, portability, low cost, non-destructiveness and easiness in both specimen preparation and test conduction.

The aim of this study is to establish some statistical correlations between these simple test methods and UCS. Simple and multiple regression modeling were conducted to obtain equations, required for predicting UCS of rocks and 16 empirical equations are summarized that relate unconfined compressive strength of carbonate rocks (travertine, onix and limestone) to physical properties such as ultrasonic velocity and porosity. UCS values obtained from regression analysis and UCS tests are compared and the results are discussed.

Key Words: Index properties, Uniaxial compressive strength, Statistical relation

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.2. Gümüşhane ili yıllık ortalama sıcaklık yağış grafikleri.....	4
Şekil 1.3. Doğu Karadeniz Bölümü'nün jeoloji haritası.....	6
Şekil 3.1. Berdiga kireçtaşlarının çalışma alanındaki yayılımı ve çalışma konusu karbonat kayaçlar.....	20
Şekil 3.2. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde farklı tip traverten ve onikslerin oluşum modeli	21
Şekil 3.3. Bloklardan yönlü örnek alımı	22
Şekil 3.4. Karbonat kayaçların tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri.....	32
Şekil 3.5. Onikslerin tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri.....	33
Şekil 3.6. Travertenlerin tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri.....	34
Şekil 3.7. Kırmızı kireçtaşlarının tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri.....	35
Şekil 3.8. Bej kireçtaşlarının tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri.....	36
Şekil 3.9. Deney verilerine ait gözlenen UCS-Hesaplanan UCS grafikleri.....	38
Şekil 3.10. Ölçülen değer hesaplanan değer farklarının yüzde dağılım frekans histogramları	39
Şekil 3.11. Onikslerin tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı/görünür porozite grafikleri	42
Şekil 3.12. Travertenlerin tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı/görünür porozite grafikleri	42
Şekil 3.13. Kırmızı kireçtaşlarının tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı/görünür porozite grafikleri.....	43
Şekil 3.14. Bej kireçtaşlarının tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı/görünür porozite grafikleri.....	43
Şekil 3.15. Deney verilerine ait gözlenen UCS-Hesaplanan UCS grafikleri	45
Şekil 3.16. Onikslere ait tek eksenli basınç direnci tahmin diyagramı	47
Şekil 3.17. Travertenlere ait tek eksenli basınç direnci tahmin diyagramı	47
Şekil 3.18. Kırmızı kireçtaşlarına ait tek eksenli basınç direnci tahmin diyagramı...	48
Şekil 3.19. Bej kireçtaşlarına ait tek eksenli basınç direnci tahmin diyagramı.....	48

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Gümüşhane İli'ne ait meteorolojik veriler.....	4
Tablo 3.1. Su akış yönüne paralel ve dik örneklerin nokta yük dayanım değerleri.....	23
Tablo 3.2. Karbonat kayaçların bazı indeks özelliklerine ait değerlerin istatistiksel olarak gösterimi.....	24
Tablo 3.3. Karbonat kayaçların birim hacim ağırlık ve boyuna dalga hızı değerlerinin istatistiksel olarak gösterimi.....	25
Tablo 3.4. Tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin istatistiksel olarak gösterimi.....	25
Tablo 3.5. Onikslere (Yaylapınar-1) ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	26
Tablo 3.6. Onikslere (Yaylapınar-2) ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	27
Tablo 3.7. Kırmızı kireçtaşlarına ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	28
Tablo 3.8. Bej kireçtaşlarına ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	29
Tablo 3.9. Travertenlere ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	30
Tablo 3.10. Tek değişkenli regresyon analizleri sonucunda elde edilen eşitlikler	37
Tablo 3.11. Onikslere ait verilerin çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen tablolar.....	40
Tablo 3.12. Travertenlere ait verilerin çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen tablolar.....	40
Tablo 3.13. Kırmızı kireçtaşlarına ait verilerin çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen tablolar.....,,	41
Tablo 3.14. Bej kireçtaşlarına ait verilerin çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen tablolar.....,,	41
Tablo 3.15. Çoklu regresyon analizleri sonucunda elde edilen eşitlikler	41
Tablo 3.16. Çoklu regresyon analizleri (UCS-Vp/n) sonucunda elde edilen eşitlikler	44
Tablo 3.17. Tek değişkenli ve çoklu regresyon analizleri sonucunda tek eksenli basınç dayanımının tahminine yönelik üretilen formüller.....	46
Tablo 3.18. Tek eksenli basınç direncinin tahminine yönelik çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen eşitlikler.....	49

SEMBOLLER DİZİNİ

A_w	: ağırlıkça su emme
D	: örnek çapı
D_e	: çapsal deneylerde karotun çapı
e	: boşluk oranı
g	: yoğunluk
H_w	: hacimce su emme
h	: kalınlık
I_s	: düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi
n	: porozite
P	: yenilme yükü
V	: hacim
V_p	: boyuna dalga hızı
w	: su içeriği
W	: ağırlık
W_d	: kuru örnek ağırlığı
W_s	: katı tane ağırlığı
W_w	: gözeneklerdeki su ağırlığı
γ	: birim hacim ağırlık
σ_c	: tek eksenli basınç direnci
σ_{cd}	: d çapında bir örneğin sıkışma dayanımı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Mühendislik çalışmalarında kullanılan kaya sınıflama sistemlerinde kayaçların kökenlerinden ziyade, dayanıklılıkları ve dokusal özellikleri önem kazandığı için bu sınıflamalar jeolojik sınıflamalardan oldukça önemli farklılıklar gösterir. Bu nedenle jeolojik açıdan farklı sınıflarda yer alan kayaçlar, bazen mühendislik sınıflamalarında aynı sınıf içinde yer alabilmektedir.

Kayaçların mühendislik amacıyla sınıflandırılması ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, kaya mekaniği biliminin ve bununla ilgili tasarım uygulamalarının ayrılmaz ve önemli bir parçasıdır. Kayaç malzemesini mühendislik sınıflaması açısından tanımlamaya yönelik özellikler, indeks özellikler olup, bunların arasında yüksek ilişki elde edilmesi mümkündür. Doğru indeks deneylerinin seçilmesi koşuluyla, kökenine bakılmaksızın, birbirine yakın indeks değerine yakın kayaçların benzer mühendislik davranış göstermeleri beklenir (Ulusay ve Sönmez, 2002; Meng ve diğerleri, 2006; Schöpfer ve diğerleri, 2008; Moradian ve Behnia, 2009). Bununla birlikte, bu tür indeks deneylerin elde edilen veriler, mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılmaktadır.

Kayaçların tek eksenli ve üç eksenli sıkışma koşulları, çekilme ve makaslama kuvvetleri altındaki davranışları ve bunlarla ilgili parametreler ise mühendislik tasarımlarında dikkate alınan girdi parametreleri olup, bunların tasarım deneyleri olarak gruplandırılan deneylerle tayin edilmesi gerekmektedir.

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerleri gerek yer üstü gerekse de yeraltı mühendislik yapılarının tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Tünel ve baraj gibi mühendislik projelerinde, kaya şev stabilitesi uygulamalarında, çeşitli madencilik projelerinde, kaya ortamının taşıma gücünün belirlenmesinde ve doğal yapı taşlarının ekonomik anlamda değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda kaya malzemesinin tek eksenli basınç direncinin belirlenmesi en önemli kaya mekaniği uygulamalarından biridir (Bieniawski, 1974). Bununla birlikte, tek eksenli sıkışma dayanımı hem kaya mekaniği hem de mühendislik jeolojisi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan parametrelerden birisidir. Fakat bazı durumlarda bu deney için numune hazırlanması ve deneyin yapılması

pahalı ve zaman harcıyıcıdır. Bu nedenle nokta yükleme dayanım indeksi, Schmidt sertlik çekici ve sonik hız gibi basit deney yöntemlerinin tek eksenli basma dayanımını kestirmek amacıyla kullanımı oldukça yaygındır (Gaviglio, 1989; Chau ve Wong, 1996; Katz, 1999; Başarır ve diğerleri, 2004; Kılıç ve Teymen, 2007). Bu basit deney yöntemleri hızlı, kolay, portatif ve ucuzdurlar. Bununla birlikte numune hazırlama işlemi de gerektirmeyebilirler.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin uygulanmasındaki standart prosedür Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM, 1984) ve Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu (ISRM, 1981) tarafından belirtilmiştir. Deneyin uygulanabilmesi için gelişmiş bir kaya mekaniği laboratuvarına ihtiyaç duyulur. Söz edilen basit deneyler için gerekli aletler daha ucuzdur ve uygulanması gereken kurallar açısından daha kolaydırlar. Basit indeks deney yöntemleri sayesinde çabuk ve ucuz bir şekilde tek eksenli basınç dayanımı tahmini mümkündür.

1.2. Çalışmanın Amacı

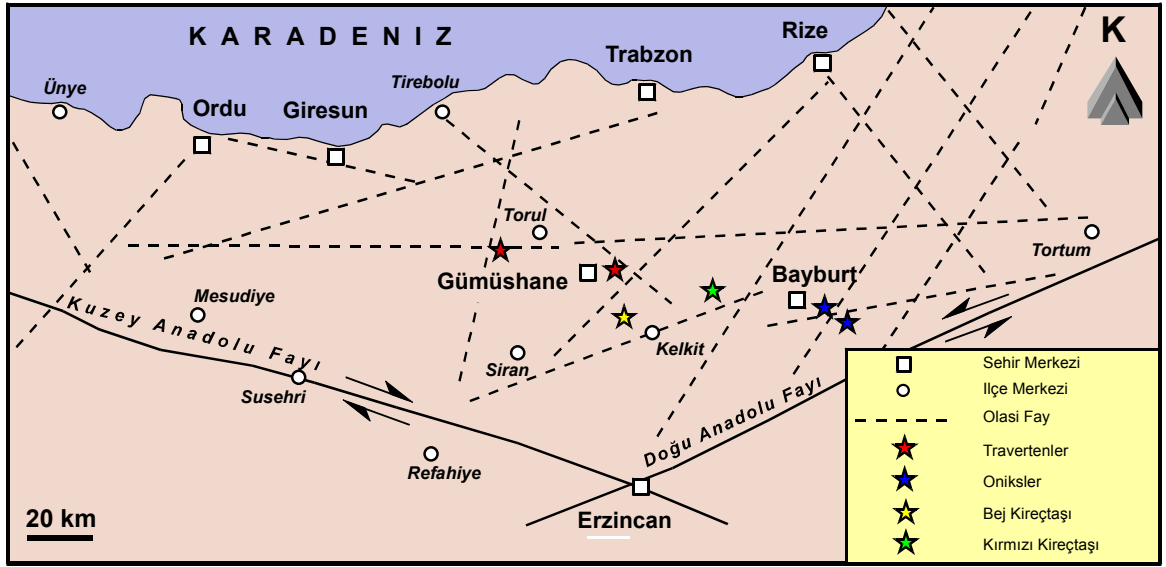
Uygulaması kolay ve düşük maliyetli kaya mekaniği deneylerinden elde edilen veriler yardımıyla, zaman alıcı ve maliyeti yüksek olan deneylerin tahmin edilmesi birçok araştırmacı tarafından uygulanmaktadır.

Bununla birlikte bu çalışmanın amacı da, Doğu Karadeniz Bölümü'nde bulunan farklı karbonat kayaçları örnekleri üzerinde basit deney yöntemlerini ve tek eksenli basınç dayanım deneylerini uygulayarak, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ile basit deney yöntemleri arasında istatistiksel ilişkiler kurmaktır.

Kayaç örnekleri üzerinde porozite, su içeriği, su emme ve sonik hız deneyleri ve tek eksenli basma dayanım deneyleri ISRM (1981) yöntemlerine göre yapılmıştır. Bu sonuçlar kullanılarak basit doğrusal regresyon, üstel regresyon ve çoklu regresyon gibi istatistiksel analizler ile tek eksenli basınç dayanım değeri tahmininde kullanılabilecek eşitlikler elde edilmiştir. Elde edilen ilişkilerle diğer araştırmacılar tarafından önerilen ilişkiler karşılaştırılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

İnceleme alanı Doğu Karadeniz Bölümü, Gümüşhane ve Bayburt İlleri arasında kalmakta ve 1/100000 ölçekli H42 ve H43 paftalarının içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Zigana ve Giresun Dağları arasında kalan inceleme alanının kuzeyinde Torul, güneyinde Şiran ve Kelkit, doğusunda Bayburt bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

İnceleme alanında ulaşım, Trabzon-Bayburt devlet karayolundan, araştırma konusu kayaçların bulunduğu bölgelere ise ulaşım toprak yollardan sağlanmaktadır.

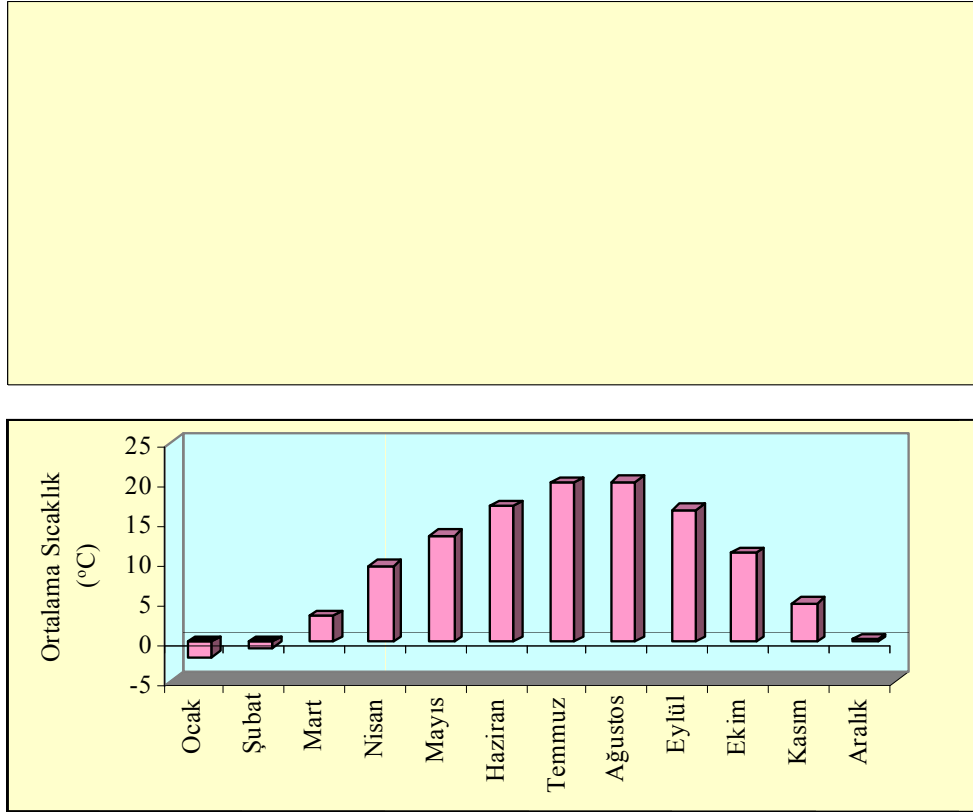
Bölgenin başlıca engebelerini, Karadeniz kıyı dağlarından Harşit Vadisi ile ayrılan sıradağlar oluşturmaktadır. Gümüşhane Dağları olarak adlandırılan bu dağlar, çalışma sahasının kuzeydoğu kesimlerine kadar uzanmaktadır. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde oldukça engebeli bir topografya hakimken, güney kesimlerine doğru bu engebeli topografya yerini düz alanlara bırakmaktadır.

Çalışma alanı ve çevresinde başlıca akarsular, Kelkit ve Harşit Çayları ile Bayburt yakınlarından geçen Çoruh Deresi'dir. Bölgede, Büyükdere ve Nivena Deresi, Harşit Çayının güney kesimindeki önemli kollarını oluşturur. Bunların dışında bulunan dereler, ana vadiye birçok yerde birleşen ve birkaç yüz metre uzunluğunu geçmeyen kuru dere niteliğindeki yan derelerdir.

Çalışma alanında kışlar soğuk, yazlar sıcak ve kuraktır. Gümüşhane Meteoroloji Gözlem İstasyonundan alınan 30 yıllık sıcaklık ve yağış değerleri Tablo 1.1 ve Şekil 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Gümüşhane İli’ne ait meteorolojik veriler (DMİGM, 2005; 1975-2006 arası).

AYLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.9	-0.8	3.3	9.5	13.4	17.0	20.0	20.1	16.5	11.2	4.8	0.3	9.5 (Ort)
Ortalama Yağış (mm)	34.5	34.6	40.7	61.8	72.3	45.1	12.9	11.5	22.5	47.2	42.7	39.5	465.3 (Yıllık)



Şekil 1.2. Gümüşhane ili yıllık ortalama yağış-sıcaklık grafikleri (2006)

1.4. Bölgesel Jeoloji

Türkiye’nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik özellikler göz önünde bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin 1966; Gedikoğlu vd., 1979; Bektaş vd., 1999). Kuzey

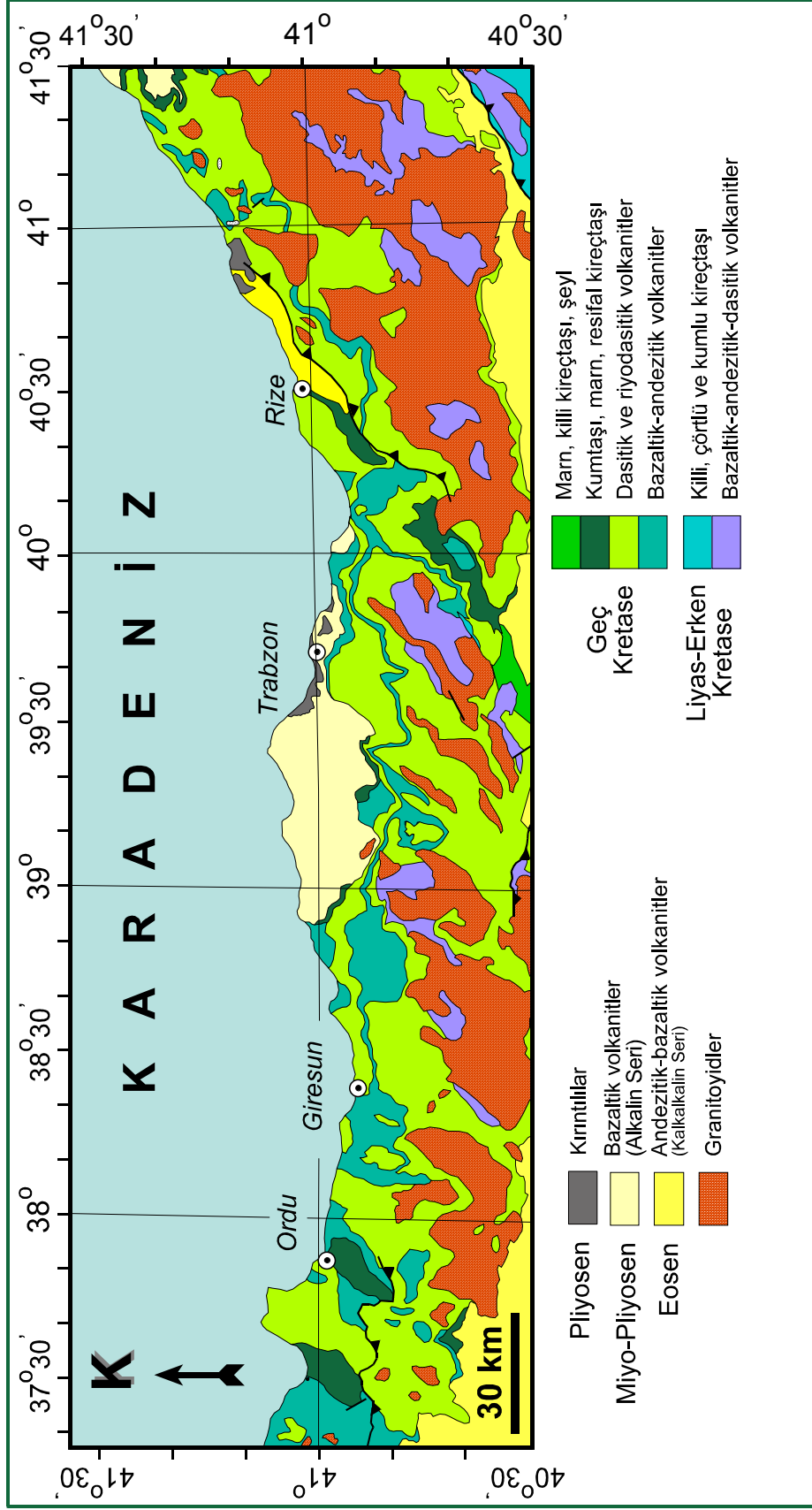
Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayalarla karakteristik iken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimler ile karakteristiktir (Şekil 1.3).

Bölgesel olarak, Paleozoyik, metamorfik kayalarla temsil edilmektedir ve bunlar temel kayaları oluşturmaktadır. Birim genellikle, gnays, mikaşist, kuvars-klorit şist ve metabazaltlardan oluşmaktadır (Ketin, 1951). Liyas yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısal uyumsuzlukla üstlenen temel kayaların yaşı, bölgesel metamorfizmanın yaşı ve stratigrafik konumu göz önünde bulundurularak Paleozoyik olarak kabul edilmiştir. Birim, Paleozoyik yaşlı granitler tarafından kesilmiştir (Yılmaz, 1972).

Çalışma alanı ve çevresinde Mesozoyik, Liyas, Geç Jura-Erken Kretase ve Geç Kretase yaşlı birimler yüzeylenmektedir. Liyas'ın volkanik, Üst Jura-Alt Kretase'nin platform karbonatlarıyla temsil edildiği bölgede Üst Kretase dönemi farklı ortam koşullarında gelişmiş birimler ile karakteristiktir. Magmatik aktivitelerin yoğun olduğu Kuzey Zon'da kalın volkanik ve volkano-tortul istifler gelişirken, Güney Zon'da karbonatlı kayalar ve fliş karakterli tortul seriler çökelmiştir. Mesozoyik'in en alt seviyesinde her iki zonda da yüzeylenen volkano-tortul seri (Ağar, 1977) genellikle, bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastitlerinden oluşmuştur ve birimin kalınlığı 500 metrenin üzerindedir. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenen birimin yaşı, stratigrafik konuma, bölgesel deneştirme sonuçlarına ve fosil bulgulara dayandırılarak Liyas olarak kabul edilmiştir (Ketin, 1951; Baykal, 1952; Ağar, 1977).

Bölgede, volkanik birimler arasında yer alan platform karbonatlarının kalınlığı 100-200 metre arasında değişmektedir ve bu seri her iki zonda da yüzeylenmektedir. Birim Kuzey Zon'da daha masif yapıları killi, çörtlü ve kumlu kireçtaşları ile temsil edilirken, Güney Zon'da ise orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristiktir. Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda Geç Kretase yaşlı flişlere geçiş yapan kireçtaşları, Kuzey Zon'da yine Geç Kretase yaşlı volkano-tortul bir istif tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin yaşı, bölgesel ilişkiye ve paleontolojik bulgulara dayandırılarak Üst Jura-Senomaniyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993, 1998).

Doğu Pontidler'in Güney Zonu içinde yüzeylenen flişler kuzey Zon'daki 5 formasyonun yanal karşılığı olarak kabul edilmektedir ve bu birimin kalınlığı 600-800 metre arasında değişmektedir. Üst Kretase boyunca Doğu Pontidler'de gelişen volkanik aktivitenin etkisi dışında kalan ve derin deniz ortamında çökelmiş olan birim, Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısal uyumsuzlukla örtülmektedir.



Şekil 1.3. Doğu Karadeniz Bölümü'nün jeolojisi haritası (Güven, 1993'den değiştirilerek)

Üst Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid'lerin Kuzey zonu'nda gelişen volkanizma sonucu kalın bir volkanik istif gelişmiştir. Bu istifin ilk evreleri bazik ve asidik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bazik karakterli genellikle kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı arakatkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan yaklaşık 900 metre kalınlığındaki serinin yaşı fosil tanımlamalarına göre Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen olarak kabul edilmiştir. Asidik karakterli riyodasit, dasit ve proklastitlerden oluşan birim ise yer yer tüf, aglomera ve breş arakatkıları içermektedir. Yaklaşık 150-200 metre kalınlığında olan birim, Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen yaşlı birincil evre bazik nitelikli seri üzerine uyumlu olarak geldiği için, Santoniyen yaşlı kabul edilmiştir. İkinci evreli bazik ve asidik volkanik kayalar bu birimlerden sonra oluşmuştur. Kumtaşı, marn ve kırmızı renkli kireçtaşı ara katkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan ikincil evreli bazik kayalar yaklaşık 800 metre kalınlığındadır. Kırmızı renkli kireçtaşları içinde bulunan fosillerden yararlanarak birimin yaşı, Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993; Güven, 1998). Bazik karakterli volkano-tortul seri üzerine uyumlu olarak gelen ikincil evreli asidik kayalar, riyodasit, dasit, trakiandezit ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. 100-200 metre kalınlığında olan birimin yaşı, stratigrafik konumuna göre Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir.

Bunları uyumlu olarak üzerleyen seri ise tortul kayalardan oluşmaktadır (Güven, 1993). Bu birim genel olarak killi, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl ve kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Kalınlığı 200-250 metre arasında olan birimin yaşı, fosil bulgularından yararlanılarak, Maastrichtiyen-Erken Paleosen olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında sadece Kuzey Zon'da yüzeylenen resifal kireçtaşları (Güven, 1993) 150-200 metre kalınlığındadır ve Maastrichtiyen-Erken Paleosen yaşlı birimler ile yanal geçişlidir ve Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından aşılma uyumsuzlukla örtülmektedir.

Doğu Karadeniz Bölümü'nün doğu kesimlerinde yer alan Kaçkar Dağları, Doğu Pontid Kuzey Zonu içerisindeki granitoidlerin en fazla yüzeylendiği bölgedir. Bu bölgede, genellikle Eosen yaşlı birimlerin içine sokulan intrüzif kayalar, Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoidleri olarak tanımlanmıştır. Üst Kretase boyunca gelişimini sürdüren ve büyük ölçüde Paleosen sonunda yerleşimini tamamlayan granitoidler ile Eosen yaşlı birimler arasında bir aşınma düzlemi bulunmaktadır. Eosen döneminde yenilenen granitoid intrüzyonları ise Eosen yaşlı kayalarda kontakt etkiler yapmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinde Senozoyik, genellikle kırıntılı çökellerle başlar ve üst bölümlere doğru volkano-tortul seviyeye geçiş gösterir (Güven, 1993). Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ve açısal uyumsuzlukla gelen birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara katkılı andezit, bazalt ve bunların proklastitlerinin oluşturduğu volkano-tortul bir seridir. Yaklaşık 700 metre kalınlığındaki birim, kumlu ve killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içeren ve Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen bir birim tarafından açısal uyumsuzlukla üstlenmektedir (Güven, 1993).

1.5. Literatür Özeti

1.5.1. Bölgesel Çalışmalar

Ketin (1948, 1950 ve 1951), Aşkale, Bayburt ve Gümüşhane bölgelerinin jeolojisini çalışarak, bölgenin 1/100000 ölçekli jeoloji haritasını yapmıştır. Çalışmalarda Liyas yaşlı kayaçların volkano-tortul karakterde olduğunu, Paleozoyik yaşlı metamorfik temel üzerinde uyumsuz olarak bulunduğunu belirlemiştir.

Baykal (1952), Kelkit-Şiran yörelerindeki incelemelerde, Paleozoyik yaşlı metamorfik ve granitik temel kayaçlarıyla, Jura-Kretase, Eosen ve Neojen yaşlı tortul kayaçların ayılım ve litolojik özelliklerini ortaya koymuştur.

Erguvanlı (1952), Trabzon- Gümüşhane arasının 1/10000 ölçekli jeoloji haritasını yaparak Pontitler'de Senoniyen ve Lütésiyen yaşında iki kompleksin varlığından söz etmiştir.

Tokel (1974), Gümüşhane yöresinde stratigrafik çalışmalarda bulunmuştur. Ayrıca bölgede bulunan volkanik kayaçları petrokimyasal yönden incelemiş, Gümüşhane Granitoid'ini üç farklı fasiyese ayırmıştır.

Yılmaz (1974), Gümüşhane Granitoidi'nin yerleşimini ve birleşimini araştırmış, yaptığı petrografik incelemeler sonucunda, granitin dört farklı fasiyesten oluştuğunu ortaya koymuştur.

Özsayar ve diğerleri (1981), Doğu Pontitlerde yapmış oldukları çalışmada Üst Kretase'yi kuzey ve güney zon olarak ikiye ayırmış, güney sınırı Çorum-Amasya-Sivas-Erzurum, iki zon arasındaki sınırı Niksar-İspir-Ardanuç olarak belirlemişlerdir.

Gülibrahimoğlu ve diğerleri (1985), Trabzon- Maçka güneyini içine alan bölgenin 1/25000 ölçekli jeolojik haritasını hazırlayarak, stratigrafi ve cevherleşmeler ile ilgili bilgiler vermişlerdir.

Güven (1993), 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi adlı çalışmada, Doğu Pontidler'e ait 1/100000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve Doğu jeotektonik ünitesini litostratigrafik özellikler bakımından kuzey ve güney zon olmak üzere iki farklı zonda incelemiştir.

Gedik ve diğerleri (1996), Doğu Pontitler' in en yaşlı biriminin Permo-Karbonifer öncesi kabul edilen metamorfiklerin olduğunu, bu birimin Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi tarafından kesildiğini ve Doğu Pontitler'deki Liyas havzalarının uzaklaşan bir transform fay sisteminin ürünü olduğunu belirlemişlerdir.

Bektaş ve Çapkinoğlu (1997), Doğu Pontitler'de yapmış oldukları çalışmada, Mesozoyik havzaların kinematığını ve tektoniğini açıklamışlardır.

Yılmaz (1997), Gümüşhane bölgesinde yaptığı çalışmada, Kretase yaşlı havza gelişiminde sedimantolojik kayıtlar adlı çalışmada Kermutdere Formasyonunun riftleşme sonucu geliştiğini ortaya koymuştur.

Tüdeş (2001), Gümüşhane İli'nin yerleşime uygunluğunu coğrafi bilgi sistemlerinin konumsal analiz tekniklerini kullanarak araştırmış, sonuç olarak 1/100000 ölçekli yerleşime uygunluk haritası oluşturmuştur.

Ersoy (2001), yaptığı çalışmalarda Gümüşhane İli, Torul ilçesine bağlı Kalecik Köyü'nde bulunan traverten oluşuklarının oluşum koşulları ve kökeni hakkında bilgiler vermiş, karstik su kaynaklarının fiziko-kimyasal özelliklerini belirlemiştir.

Ersoy ve diğerleri (2005), Kalecik'deki (Torul-Gümüşhane) karstik yapılar ve fay sistemleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucu karstik yapıların ve kaynakların KD-GB ve KB-GD doğrultulu faylarla ilişkili olduğunu belirlemişlerdir.

Arslan ve diğerleri (2005), Gümüşhane ve Bayburt'ta bulunan traverten ve oniks mermerlerinin petrografik ve jeokimyasal özelliklerini ortaya koyarak, bu mermerlerin oluşum koşulları ve kökenleri hakkında çalışmalarda bulunmuşlardır.

Alp ve diğerleri (2005), Gümüşhane ve Bayburt traverten ve oniks mermerlerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini araştırarak, bunların tabaka şeklinde kesilmelerinin ve cilalanmalarının uygunluğu kaya mekaniği deneyleriyle test edilmiştir.

Ersoy ve diğerleri (2009), Kalecik Köyü'nde (Torul-Gümüşhane) bulunan ve işletilmekte olan travertenlerin oluşum koşulları ve kökeni incelemişler, ekonomik

anlamda değerlendirilmesine yönelik fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte Türk ve ASTM Standartlarına göre Kalecik travertenlerinin taşıma ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliği araştırılmış, bunların fiziko-mekanik özellikleri bakımından Türk Standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir. Yaklaşık 200 bin metreküp rezerve sahip olan ve genellikle ihraç edilen bu travertenler bölge ekonomisine büyük katkıda bulunabileceğini ortaya atmışlardır.

1.5.2. Kaya Mekaniği Çalışmaları

Ultrasonik hız, Schmidt çekici geri tepme sayısı, nokta yükleme ve kayaçların dokusal özelliklerini belirlemeye yönelik olan basit deney yöntemleri, birçok araştırmacı tarafından tek eksenli basınç dayanımının (uniaxial compressive strength-UCS) tahmininde kullanılmıştır.

Birçok mühendislik uygulamasında girdi parametresi olarak kullanılan nokta yükleme deneyi, kayaçların mekanik dayanımının belirlenmesi için de yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir. D'Andrea vd. (1964), Brock & Franklin (1972), Bieniawski (1975), Hassani vd. (1980), Read vd. (1980), Forster (1983), Gunsallus & Kulhway (1984), ISRM (1981), Cargill & Shakoor (1990), Chau & Wong (1996), Grasso vd. (1992), Kahraman (1996), Tugrul & Zarif (1999) gibi pek çok araştırmacı nokta yük dayanımı ile UCS arasındaki ilişki kurmak için çalışmışlar ve çeşitli amprik bağıntılar önermişlerdir. Bu çalışmaların çoğunda doğrusal regresyon ilişkileri kullanılmıştır.

Kahraman (2001) bu amaçla literatürde yer alan 48 adet veriyi kullanmıştır. Tugrul & Zarif (1999) çalışmalarında nokta yük dayanımı, diğer kaya özellikleri ve kayacın mineralojik bileşimi hakkında değerlendirme yapmıştır.

Schmidt sertlik çekici, Inoue & Ohomi (1984), Deere & Miller (1966), Aufmuth (1973), Beverly vd. (1979), Kidbinsky (1968), ISRM (1981), Singh vd. (1983), Shorey vd. (1984), Haramy & De Marco (1985), Ghose & Chacrabarti (1986), O'Rourke (1989), Sachpazis (1990), Xu vd. (1990), Gokceoglu (1996), Kahraman (1996, 2001), Katz (1999) ile Yilmaz & Sendir (2002) gibi birçok araştırmacı tarafından UCS tahmini için kullanılmışlardır.

Gaviglio (1989), sonik hız ve kayaç özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Bununla birlikte sonik hız ile UCS arasında ilişkilerin araştırılması, Inoue & Ohomi (1981), Goktan (1988) ve Kahraman (2001) tarafından da yapılmıştır.

Tuğrul ve Zarif (1998), yapmış oldukları bir çalışmada, kaya malzemesinin fiziko-mekanik özelliklerinin, mineralojik ve dokusal özellikleri ile ilişkili olup olmadığını araştırmışlar, Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki granitik kayaların mühendislik ve petrografik özellikleri arasındaki ilişkileri basit regresyon analizleri ile incelemişlerdir. Araştırmacılar, test sonuçlarını dağılım, ortalama, standart sapma, varyans gibi istatistiksel parametrelerle değerlendirmişlerdir. Kayaçların mineralojik ve mühendislik özellikleri arasındaki istatistiksel ilişkiyi ortaya koyabilmek için kuvars/feldspat oranı ve tane boyutu değerleri ile mühendislik özellikleri arasında regresyon analizleri yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, kuvars oranının toplam porozite ve kuru birim hacim ağırlık üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuşlardır. Bunun yanında araştırmacılar, mineral bileşimi ve tek eksenli basınç dayanımı arasında bir ilişki kurmaya çalışmışlar ve kuvars/feldspat oranını ile tek eksenli basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Buna benzer bir ilişkiyi çekme dayanım değerleri ile de elde etmişlerdir. Granitik kayaçlarda tane boyutunun dayanımı etkileyen birincil parametre olduğunu, küçük tane boyutlu granitlerin dayanımlarının yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, bir kayacın dokusal özelliğinin mühendislik özellikleri üzerindeki etkisinin, kayacın mineralojik özelliklerinin etkisinden daha fazla olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca granitik kayaçların içerisindeki minerallerin birbirleriyle olan ilişkileri, boyut ve şekillerinin de bu tür kayaçların mühendislik özellikleri üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Katz ve diğerleri (2000), sedimanter ve magmatik kayaçalardan oluşan yedi farklı kayaç türünün mekanik özelliklerinin, Schmidt sertlik değerleriyle karşılaştırılmasını amaçlamışlardır. Numunelerin tek eksenli basınç dayanımları, elastisite modülleri ve yoğunluk değerlerini tayin etmişler ve Schmidt sertlik değerleri ile bu değerler arasında oldukça kuvvetli ilişkiler olduğunu belirlemişlerdir.

Ceylanoğlu ve Görgülü (2001), bazı mermerlerin malzeme ve yüzey aşındırma özelliklerinin ve aralarındaki ilişkilerin belirlenmesine yönelik yapmış oldukları çalışmada, mermerlerin fiziksel özellikleri ile aşınma miktarı ve pürüzlülük değişimi arasında yüksek korelasyonlu ilişkiler elde etmişlerdir. Yazarlar bu çalışma sonucunda, aşındırıcı türü, aşındırma baskısı ve süresi değiştirilerek farklı koşullarda değişik mermer birimlerinde benzer deneylerin yapılarak bir standart oluşturulmasında büyük yarar olacağını belirtmişlerdir.

Yılmaz ve Sendir (2002), Sivas Bölgesi Hakik Formasyonu jipslerinin Schmidt sertlik değerleri ile tek eksenli basınç dayanımları ve Young modülleri arasındaki ilişkileri deneysel çalışmalarla tespit etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda uygulanma kolaylığı, hızı ve ucuz maliyeti ile Schmidt sertlik değerlerinden tek eksenli basınç dayanımı ve Young modülü tayininin, pratik ve uygulanabilir kararlar verilebildiğini savunmuşlardır.

Yaşar ve Erdoğan (2002), çalışmalarında yapı ve kaplama kayaçlarının Schmidt ve Shore sertlik değerleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasında istatistiksel ilişkileri tespit etmeyi amaçlamışlardır. Adana ve çevresinde bulunan 6 farklı yapı ve kaplama taşı üzerinde yapılan Schmidt çekici, Shore sertliği, birim hacim ağırlık, porozite, tek eksenli basınç dayanımı, darbe direnci, eğilme dayanımı ve aşınma dayanımı deneylerini sonucunda porozite ve darbe dayanım değerlerinin korelasyon katsayılarının daha düşük olduğunu belirlemişler, ancak bu değerlerin düşük olmasının sebebini kayaç içerisindeki boşlukların varlığına bağlamışlardır.

Başarır ve Kumral (2004), kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarını basit deney yöntemleriyle tahmin etmeye çalışmışlar, Ankara Bölgesi dasitlerinden alınan belirli sayıdaki örnekler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt çekici, nokta yük dayanımı, sonik hız, yoğunluk gibi basit deneyler yapmışlar ve her bir bağımsız değişken için basit regresyon analizleri yapmışlardır. Yazarlar tespit edilen ilişkilerin kuvvetli olmamasına rağmen, hesaplanan tek eksenli basınç direncinin ancak ilk mühendislik proje tasarım aşamasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Sönmez ve diğerleri (2004), kaya malzemesinin elastisite modülünün tahmini için görgül bir eşitlik belirlemişlerdir. Bu çalışmada elastisite modülünün dolaylı yünden belirlenebilmesi ve eşitliklerin geliştirilirken kaya türünün ihmal edilmesi gibi bir eksikliğin gidermek amacıyla, Hoek-Brown yenilme ölçütüne ait kaya sabitlerini kaya türünün bir göstergesi olarak ele almışlardır.

Chary ve diğerleri (2006), ultrasonik ses dalgalarından yararlanarak kayaçların tek eksenli basınç gibi mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik yapmış oldukları çalışmada, özellikle dolaylı ve uygulaması kolay bir yöntem olan boyuna dalga hızı ölçümlerinden yararlanarak kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile boyuna dalga hızları arasında anlamlı istatistiksel bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yalçınalp ve diğerleri (2008), Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki toplam traverten rezervinin yarısından fazlasına sahip olan Bahçecik travertenlerinin (Gümüşhane) oluşum ortamı, kökeni araştırmışlar, travertenlerin fizikomekanik özellikleri belirlemişler, deney

sonuçlarından yararlanılarak indeks ve dayanım özellikleri arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığı tespit edilmiştir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı belirlemede, gerek örneklerin deneye hazır hale getirilmesi gerekse deneyin zaman alıcı olması nedeniyle, Bahçecik travertenlerine ait örneklerinin dayanım özellikleri ile indeks özellikleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı test etmişler ve bunun sonucunda tek eksenli basınç direnciyle boyuna dalga hızları arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Babacan ve diğerleri (2008), yapmış oldukları çalışmada, kaya örnekleri üzerinde ultrasonik dalganın yayılımını kayacın birim hacim ağırlığına ve mikrofisür oranına bağlı olduğunu ifade etmişler, Trabzon, Rize, Bayburt ve Gümüşhane illerinden alınmış bazı magmatik ve sedimanter kayaçlar üzerinde ultrasonik hız ve tek eksenli basınç dayanımı deneylerini uygulamışlardır. Ultrasonik verilerin analizi yapılarak kayaçlar içerisinde bulunan süreksizlikler tespit edilmiş, boyuna dalga hızları ile tek eksenli basınç dirençleri arasında anlamlı pozitif ilişkinin olduğunu belirlemişlerdir.

Kılıç ve diğerleri (2008) Çukurova Yöresi'nde bulunan mermerler üzerinde yapmış oldukları çalışmada, kayaçlara ait fiziksel ve mekanik özelliklerin arasında istatistiksel açıdan ilişkileri araştırmışlar, özellikle sonik hız değerleri ile birçok fiziksel ve mekanik özelliğin negatif ve pozitif yönde anlamlı bir ilişki içinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Moradian ve Behnia (2009), sedimanter kayaçlardan oluşan farklı kayaç türlerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin kestirimi için uygulaması kolay olan sonik hız deneylerinden elde ettikleri verileri kullanmışlar, fiziksel ve mekanik özelliklerle bu değerler arasında oldukça kuvvetli ilişkiler olduğunu belirlemişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kaya Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar da yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere traverten ocağından blok numuneler alınmıştır. Bu numunelerin alımı sırasında örneklerin sahayı tam olarak temsil etmesine dikkat edilmiştir. Saha çalışmaları sırasında travertenlerden alınan blok örnekler kullanılarak silindirik deney örnekleri (karot) hazırlanmıştır. Deneyler ISRM (1981 ve 1985), ASTM (1992a ve b; 1994), CANMET (1997a ve b) ve TSE (1975, 1987 ve 1990) standartları göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Bu çalışmada, su içeriği, birim hacim ağırlık, porozite tayini, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi, sonik hız deneyi ve tek eksenli sıkışma dayanımı gibi fiziko-mekanik deneyler yukarıda belirtilen standartlara uygun şekilde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

2.1.1. Su İçeriği

Bu deney, kayaç örneklerinin içerdiği suyun ağırlığının belirlenerek, fırında kurutulmuş örneklerin ağırlığının yüzde olarak ifade edilmesi amacıyla yapılır. Su içeriği tayini için ISRM (1981) ve CANMET (1977a)'da belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Örnek kapları ve kapakları temizlenip kurutulduktan sonra tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir (A). Her biri en az 50 gr olan örneği temsil eden düzensiz şekilli numuneler metal kaplara konarak kapakları kapatılıp nemli örnek + kap + kapak ağırlığı hassas terazide tartılarak belirlenmiştir (B). Kapların kapağı çıkarılarak örnekler fırına konulmuş 105⁰ C'de 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan örneklerle kapakları tekrar kapatılarak desikatörde 30 dakika bekletilmiş ve ardından kuru örnek + kap + kapak ağırlığı belirlenmiştir (C).

$$\text{Su içeriği (\%): } w = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (1)$$

$$\text{Gözeneklerdeki suyun ağırlığı (g): } W_w = B - C \quad (2)$$

$$\text{Katı tane ağırlığı(g): } W_s = C - A \quad (3)$$

2.1.2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme

Bu deney, düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin, ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının tayini amacıyla yapılır. Yöntem şişebilen ve ıslanma-kuruma süreci sonrasında kolaylıkla dağılabilen kayaçlar için uygun değildir. Yapılan bu deney için, RILEM (1980) VE TSE (1978) tarafından önerilen koşullar esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan karot kayaç örneklerinin kullanılması halinde bunların boyları ve çapları birbirine dik iki ayrı yönde, prizmatik örneklerde ise her üç kenar kompasla ölçülür ve örneklerin hacimleri hesaplanır. Hacimleri hesaplanan örnekler, saf suda en az 12 saat bekletilir. 12 saat sonunda örnekler saf sudan çıkarılarak, suya doymun yüzeyleri kurutularak ıslak ağırlıkları hassas terazide tartılarak örneğin doymun ağırlığı bulunur. Doymun ağırlığı bulunmuş örnekler, 1050 C ‘ ye ayarlanmış fırına yerleştirilerek en az 12, tercihen 24 saat kurumaya bırakılır. fırından çıkan örneklerin kuru ağırlıkları hassas terazide belirlenir.

$$\text{Ağırlıkça su emme (\%), } A_w = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100 \quad (4)$$

$$\text{Hacimce su emme(\%), } H_w = \frac{W_s - W_d}{V} * 100 \quad (5)$$

Burada, W_s : örneklerin suya doymun ağırlığı, W_d : fırında kurutulan örneklerin ağırlığıdır.

2.1.3. Görünür Porozite

Deney düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin gözenekliliğinin tayini amacıyla kullanılır. Deney ISRM (1981)‘ nin önerdiği hususlar dikkate alınarak yapılmıştır. İncelenen kayaç türünü temsil edebilecek en az 3 adet silindirik örneğin çapları ve boyları kompas yöntemiyle ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınır. Her birinin ağırlığı

en az 50 g olan veya çapları içerdikleri en büyük tane boyunun en az 10 katı büyüklüğündeki örnekler seçilmelidir.

rnek 105⁰ C ‘e ayarlanmış fırında en az 12 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlığı belirlenir. rnek su dolu bir beherin içinde 48 saat bekletilir veya en az 1 saat süreyle 800 Pa’dan düşük bir vakum altında suya doygun hale getirilerek kurulanıp hassas terazide tartılır ve doygun ağırlığı belirlenir. Bu aşamada gözeneklere giren suyun bıharlaşmasına engel olmak için mümkün olduğunca hızlı tamamlanmalı ve bu işlen sırasında örneklerden parçacıkların kırılıp kaybolmamasına zen gösterilmelidir.

$$\text{Boşlukların hacmi (cm}^3\text{) , } V_p = \frac{W_s - W_d}{g_w} \quad (6)$$

$$\text{Gözeneklilik (porozite)(\%), } n = \frac{V_p}{V} * 100 \quad (7)$$

$$\text{Boşluk oranı, } e = \frac{n}{100 - n} \quad (8)$$

Burada, Wd: Örneğin kuru ağırlığı, Ws : Örneğin doygun ağırlığı, g_w = Suyun yoğunluğudur.

2.1.4. Birim Hacim Ağırlık

Bu deney, düzenli bir geometriye sahip karot veya prizmatik kayaç örneklerinin birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılır. Deney için ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Düzgün bir geometrik şekle sahip biçimde hazırlanmış en az 3 deney örneğinin çapı ve boyu 0.1 duyarlılıkta ölçülür ve her bir değer için bu değerlerin ortalaması alınır.çap ve boyları hesaplanan örneklerin hacimleri hesaplanır. Örneklerin doğal ağırlıkları hassa terazide tartılarak belirlenir.

Belirlenen rnek ağırlığı ve hacmi kullanılarak yoğunluğu aşağıdaki formül ile bulunur:

$$\text{Yoğunluk (g/ cm}^3\text{) , } g = \frac{W}{V} \quad (10)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (Kn/m}^3\text{), } \gamma = 9.81 * g \quad (11)$$

2.1.5. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının tahmini amacıyla yapılır. Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak örnek sayısı pratik gereksinimlere bağlı olmakla birlikte, ISRM (1981) tarafından her kayaç türünden en az 5 örneğin deneye tabi tutulması önerilmektedir.

Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (15)$$

Burada, F: yenilme anında kaydedilen yük, A: silindirik örneğin en kesit alanıdır.

Çalışmada NX (54.7 mm) ve 50 mm çaplı karotlar üzerinde deneyler yapılmış, deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak referans çapa (50 mm) göre düzeltilmiştir (Hoek ve Brown, 1980).

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{cd}}{(50/D)^{0.18}} \quad (16)$$

Burada, σ_c : 50 mm çapında bir karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı, σ_{cd} : D çapında bir örneğin sıkışma dayanımı, D: örnek çapıdır.

2.1.6. Ultrasonik Ölçümler

Bu çalışmada kayaçların hızlarını belirlemek için ultrasonik ölçüm tekniklerinden biri olan puls iletim tekniği kullanılmıştır. Puls iletim tekniği direk iletim ölçümüdür (Garbacz,

2003). Materyallerin puls hızı alınan karot numunesi üzerine alıcı ve vericileri numunenin paralel yüzeyleri üzerine zıt doğrultularda yerleştirilerek geçiş zamanı ölçülerek belirlenir.

2.2. İstatistiksel Çalışmalar

İki ya da daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını, ilişki varsa yönünü ve gücünü inceleyen analiz “korelasyon analizi”, değişkenlerden birisi belirli bir birim değiştiğinde diğerinin nasıl bir değişim gösterdiğini inceleyen analize de “regresyon analizi” adı verilir (Draper ve Smith, 1981). Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkiyi ve doğrusal eğri kavramını kullanarak, bir tahmin eşitliği geliştirir.

Regresyon katsayısı ise, doğrusal modelin uyum iyiliğinin en iyi ölçüsüdür. Söz konusu katsayı, bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken(ler) tarafından açıklandığını ifade eder.

Regresyon analizi, aralarında ilişki olan iki ya da daha fazla değişkenden birinin bağımlı değişken, diğerlerinin bağımsız değişkenler olarak ayrımı ile aralarındaki ilişkinin bir matematiksel eşitlik ile açıklanması sürecini anlatır. Regresyon analizinde;

- Bağımlı değişken bir, bağımsız değişken bir ise, yöntemine Basit Regresyon Analizi,
- Bağımlı değişken bir, bağımsız değişken iki ya da daha fazla ise Çoklu Regresyon Analizi,

- Bağımlı değişken iki ya da daha fazla ise Çok Değişkenli Regresyon Analizi denir.

Regresyon analizi değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise, Doğrusal Regresyon Analizi, değil ise Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi olarak isimlendirilir.

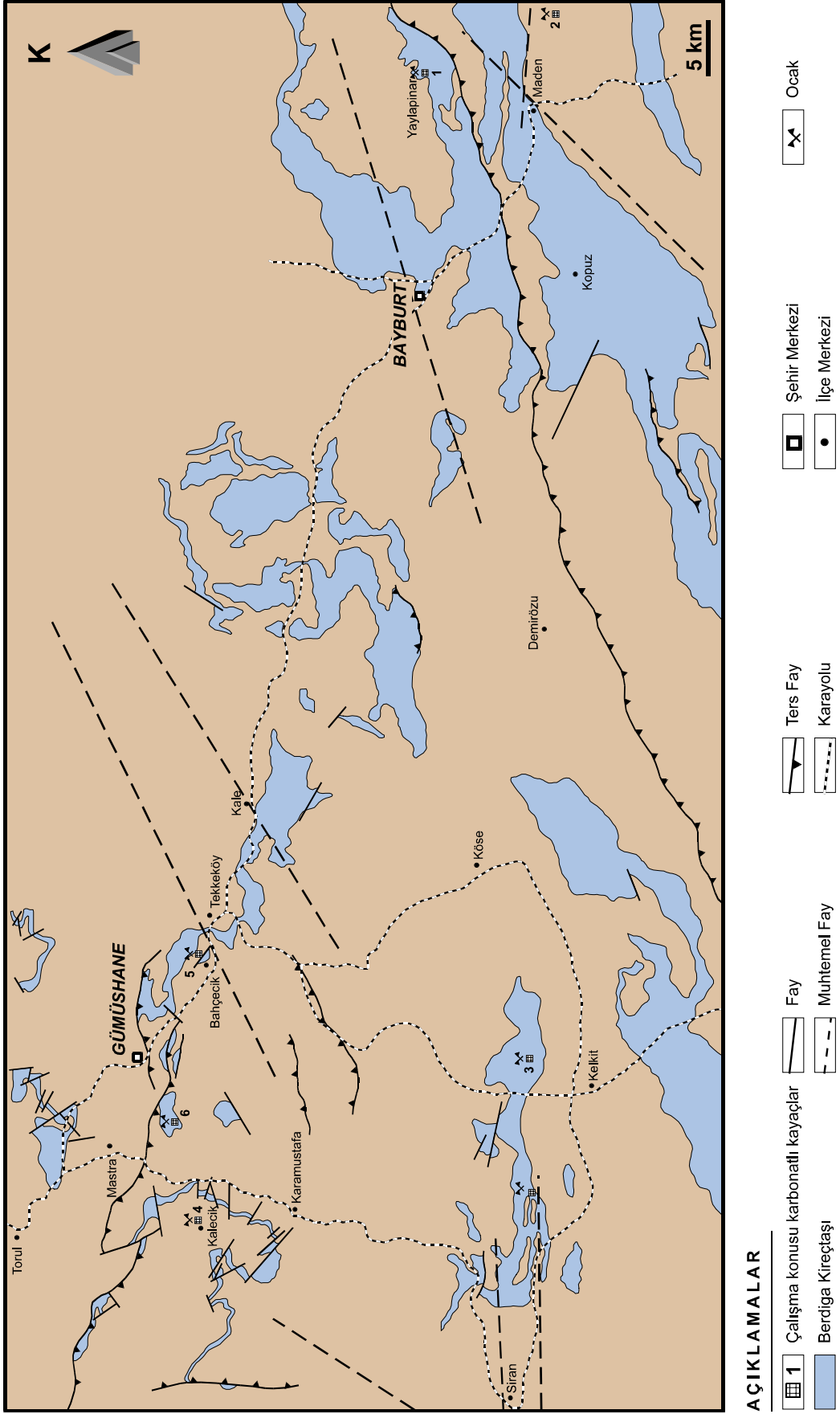
Bu çalışmada da, SPSS 11. İstatistik Programı (Statistics Package for Society Science) kullanılmış, basit doğrusal regresyon, üstel regresyon ve çoklu regresyon gibi istatistiksel analizler ile tek eksenli basınç dayanım değeri tahmininde kullanılabilecek çeşitli eşitlikler elde edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde şist, gnays ve metabazaltlardan oluşan Paleozoyik yaşlı metamorfikler temel kayaçları oluşturmaktadır (Ketin, 1951). Birim, Paleozoyik yaşlı granitler tarafından kesilmiştir (Yılmaz, 1972). Liyas'ın volkaniklerle, Üst Jura-Alt Kretase'nin ise platform karbonatlarıyla karakterize olduğu bölgede, Üst Kretase dönemi farklı ortam koşullarında gelişmiş birimler ile belirgindir. Liyas birimleri, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenmiştir (Ketin, 1951; Baykal, 1952; Açar, 1977). Birim orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristiktir. Doğu Pontidler'in Güney Zonu içinde yüzeyleyen Üst Kretase flišlerinin kalınlığı 600-800 metre arasında değişmekte ve bu birim Kuzey Zon'daki 5 formasyonun yanal karşılığı olarak kabul edilmektedir. Üst Kretase boyunca Doğu Pontidler'de gelişen volkanik aktivitenin etkisi dışında kalan ve derin deniz ortamında çökelmiş olan birim, Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. Bölgede Senozoyik, genellikle kırıntılı çökellerle başlar ve üst bölümlere doğru volkano-tortul seviyeye geçiş gösterir (Güven, 1993). Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ve açısız uyumsuzlukla gelen birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara katkılı andezit, bazalt ve bunların proklastitlerinin oluşturduğu volkano-tortul bir seridir. Birim, Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen bir birim tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenilmektedir (Güven, 1993).

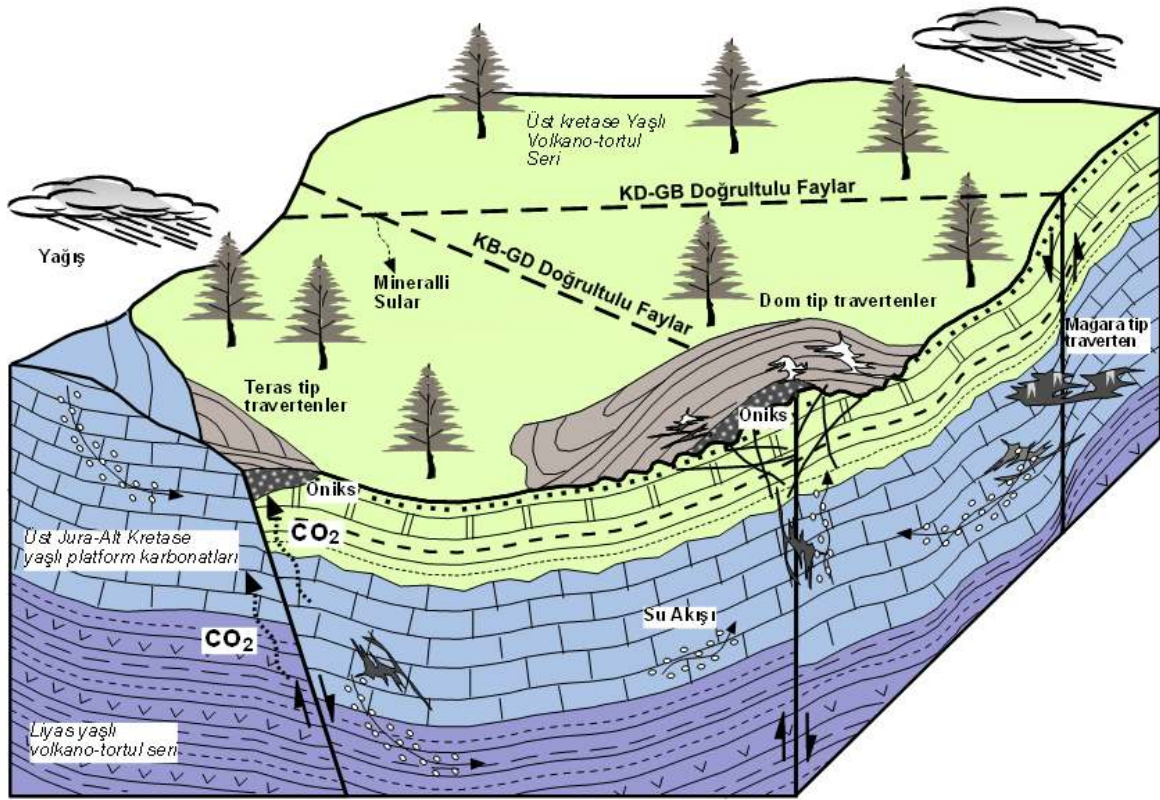
Çalışma konusu karbonat kayaçlar traverten, oniks ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşı örnekleri platform karbonatları olarak bilinen Berdiga Formasyonu'na aittir. Bu birim ilk kez, litostratigrafi adlama kurallarına uygun olarak Pelin (1977) tarafından Alucra (Giresun) yöresinde yayılım gösteren masif kireçtaşları için Berdiga Formasyonu adı ile tanımlanmıştır. Berdiga Formasyonu tek tip litolojiden oluştuğu için, Taslı (1984) tarafından yılında Berdiga Kireçtaşı olarak da isimlendirilmiştir. Çoğunlukla gri, grimsi beyaz renklerde olan birim, çok çatlaklı ve tabakasız bir yapı göstermektedir. Çalışma alanı ve çevresinde yaygın olarak yüzeyleyen birim, dolomitik kireçtaşı ve kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Sarp kayalıklar şeklinde gözlenmesi ile çevre kayaçlardan kolayca ayırt edilebilmektedir. Önceki çalışmalarda, birimin yaşı Dogger- Malm olarak verilmiştir (Pelin, 1977). Çalışma konusu kireçtaşlarının inceleme alanındaki yayılımı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Berdiga kireçtaşlarının çalışma alanındaki yayılımı ve çalışma konusu karbonat kayalar

İnceleme alanı ve çevresinde gerek oluşumunu tamamlamış gerekse oluşumu devam eden traverten ve onikslere rastlanmıştır. Travertenler ve oniksler yağışla yeraltına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin düşey faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla beraber bünyelerindeki karbondioksit gazını bırakarak ortama CaCO_3 çökeltmesi sonucunda oluşmuşlardır. Genel olarak beyazımsı gri renklerde ve sert bir yapıda olan traverten ve oniksler yüzeye yakın yerlerde boşluklu, tabana doğru ise boşluksuz bir yapı göstermektedir. Yüzeysel aşınma ve karbonatlı kayaçların çözünmesine bağlı olarak travertenlerin üzerinde kareler gelişmiştir.

Doğu Karadeniz Bölümü traverten ve onikslerinin oluşum modeli Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Doğu Karadeniz Bölgesi’nde farklı tip traverten ve onikslerin oluşum modeli (Ersoy, 2005)

Travertenlerde gözlenen morfolojik yapılar çeşitli şekilde tanımlanabilmektedir. Bir travertenin morfolojisi makro örneklerden, mikro örneklerden ve yatak şeklinden açıklanabilir. El örneği boyutunda; oolitik-pizolitik, böbreğimsi ve bitki yapılı (Chafetz ve Meredith, 1983; Tekin vd.; Ayaz, 2002), dokusal olarak; yumrular, çubuklar, loblu kürecikler

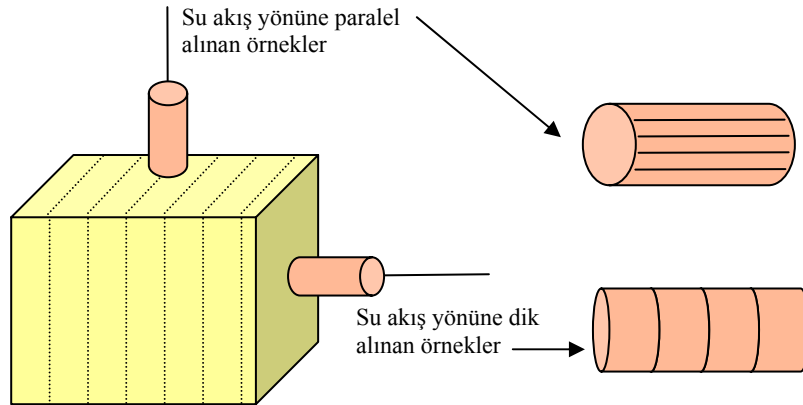
ve üzüm salkımı demetleri (Tekin vd., 1999) gibi özel morfolojik yapılar tanımlanmıştır. Yatak boyutundaki morfolojik yapılar ise ilk defa Chafetz ve Folk (1984) tarafından sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamaya göre traverten yatakları; sırt (semer) tipi travertenler, teras (set) tipi travertenler, dom (koni) tipi travertenler, tabaka tipi travertenler, damar tipi travertenler, fay önü tipi travertenler, kanal tipi travertenler ve mağara travertenleri (damlataşlar) olmak üzere 8'e ayrılmıştır.

Doğu Karadeniz Bölümü'nde yüzeyleme veren travertenler morfolojik olarak teras, mağara ve dom tipi travertenlerdir (Şekil 3.2). Teras tipi travertenler, genellikle az eğimli yüzeylerden çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, eğim aşağı akarken teras veya setler şeklinde çökmesi sonucu oluşmuşlardır. Dom (Koni) tipi travertenler ise, yatay veya çevreye göre hafif tümsek yüzeylerden çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, çepeçevre yayılarak akmasıyla oluşmuşlardır.

3.2. Karbonat Kayaçların İndeks ve Dayanım Özellikleri

Laboratuarda yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere çalışma konusu karbonat kayaçlardan arazide blok numuneler alınmıştır. Bu numunelerin alımı sırasında örneklerin sahayı tam olarak temsil etmesine ve çatlaksız olmasına dikkat edilmiştir.

Travertenlerden karot alımı esnasında, travertenlerin homojenlik özelliğini etkileyen su akış yönü dikkate alınmış ve iki farklı yönde karot elde edilmiştir (Şekil 3.3). Su akış yönünün kayaç örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkisinin olup olmadığını anlayabilmek için su akış yönüne paralel ve dik örneklerin nokta yük dayanımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Bloklardan yönlü örnek alımı (ISRM, 1981)

Tablo 3.1 Su akış yönüne paralel ve dik örneklerin nokta yük dayanım değerleri

Nokta yük dayanım direnci (MPa)	
Su akış yönüne paralel (a)	Su akış yönüne dik (b)
Ortalama: 2.46 (20 örnek)	Ortalama: 2.50 (20 örnek)
b / a (homojenlik oranı) = 1.02	

Homojenlik oranı değeri 1'e çok yakın olduğu için (Holtz ve Kovacs, 1981) traverten örnekleri homojen olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle su akış yönüne dik ve paralel örnekler bütün olarak değerlendirilmiştir.

3.2.1. Su İçeriği, Su Emme ve Görünür Porozite

Su içeriği ve porozite tayini için ISRM (1981) ve CANMET (1977a)'da belirtilen hususlar dikkate alınmış, su emme deneyleri ise RILEM (1980) tarafından önerilen koşullar esas alınmıştır.

Yapılan deneyler sonucu onikslerin su içeriği değerleri maksimum % 0.714, minimum % 0.007 ve ortalama % 0.067 olarak, ağırlıkça su emme değerleri maksimum % 0.213, minimum % 0.013 ve ortalama % 0.105 olarak, görünür porozite değerleri maksimum % 0.563, minimum % 0.036 ve ortalama % 0.282 olarak ölçülmüştür.

Bej kireçtaşlarının su içeriği değerleri maksimum % 0.061, minimum % 0.034 ve ortalama % 0.047 olarak, ağırlıkça su emme değerleri maksimum % 0.159, minimum % 0.136 ve ortalama % 0.145 olarak, görünür porozite değerleri maksimum % 0.429, minimum % 0.366 ve ortalama % 0.392 olarak ölçülmüştür.

Deneyler sonucu kırmızı kireçtaşlarının su içeriği değerleri maksimum % 0.462, minimum % 0.043 ve ortalama % 0.139 olarak, ağırlıkça su emme değerleri maksimum % 0.276, minimum % 0.059 ve ortalama % 0.193 olarak, görünür porozite değerleri maksimum % 2.86, minimum % 1.27 ve ortalama % 1.96 olarak ölçülmüştür.

Yapılan deneyler sonucu travertenlerin su içeriği değerleri maksimum % 0.77, minimum % 0.15 ve ortalama % 0.34 olarak, ağırlıkça su emme değerleri maksimum % 1.16, minimum % 0.51 ve ortalama % 0.8 olarak, görünür porozite değerleri maksimum % 2.86, minimum % 1.27 ve ortalama % 1.96 olarak ölçülmüştür.

Deneylerin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Karbonat kayaçların bazı indeks özelliklerine ait değerlerin istatistiksel olarak gösterimi

Kayaç Grupları	Fiziksel Özellikler	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
Oniks	Su İçeriği (%)	0,007	0,714	0,178	0,067
	Ağırlıkça Su Emme (%)	0,013	0,213	0,062	0,105
	Görünür Porozite (%)	0,036	0,563	0,165	0,282
Bej Kireçtaşı	Su İçeriği (%)	0,034	0,061	0,008	0,047
	Ağırlıkça Su Emme (%)	0,136	0,159	0,007	0,145
	Görünür Porozite (%)	0,366	0,429	0,019	0,392
Kırmızı Kireçtaşı	Su İçeriği (%)	0,043	0,462	0,087	0,139
	Ağırlıkça Su Emme (%)	0,059	0,276	0,059	0,193
	Görünür Porozite (%)	0,160	0,742	0,157	0,519
Traverten	Su İçeriği (%)	0,15	0,77	0,150	0,340
	Ağırlıkça Su Emme (%)	0,51	1,16	0,236	0,800
	Görünür Porozite (%)	1,27	2,86	0,576	1,960

3.2.2. Birim Hacim Ağırlık ve Ultrasonik Hız

Birim hacim ağırlık kayacın içerdiği mineral yapısına ve içeriğine bağlıdır. Deneylerde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Yapılan deneyler sonucu onikslerin birim hacim ağırlık değerleri maksimum 2.74, minimum 2.65 ve ortalama 2.70 g/cm³; bej kireçtaşlarının maksimum 2.71, minimum % 2.69 ve ortalama 2.70 g/cm³; kırmızı kireçtaşlarının maksimum 2.74, minimum 2.65 ve ortalama 2.70 g/cm³ ve travertenlerin birim hacim ağırlık değerleri maksimum 2.51, minimum 2.41 ve ortalama 2.48 g/cm³ olarak ölçülmüştür.

Bununla birlikte deneyler sonucu onikslerin boyuna dalga hızı değerleri maksimum 6695 m/s, minimum 4121 m/s ve ortalama 5253 m/s; bej kireçtaşlarının maksimum 6423 m/s, minimum 5986 m/s ve ortalama 6196 m/s; kırmızı kireçtaşlarının maksimum 5998 m/s, minimum 5584 m/s ve ortalama 5748 m/s ve travertenlerin boyuna dalga hızı değerleri maksimum 5072 m/s, minimum 4033 m/s ve ortalama 4547 m/s olarak ölçülmüştür.

Birim hacim ağırlık deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Karbonat kayaçların birim hacim ağırlık ve boyuna dalga hızı değerlerinin istatistiksel olarak gösterimi

Kayaç Grupları	Fiziksel Özellikler	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
Oniks	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	2,65	2,74	0,027	2,70
	Boyuna Dalga Hızı (m/s)	4121	6695	846	5253
Bej Kireçtaşı	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	2,69	2,71	0,007	2,70
	Boyuna Dalga Hızı (m/s)	5986	6423	130	6196
Kırmızı Kireçtaşı	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	2,65	2,74	0,017	2,70
	Boyuna Dalga Hızı (m/s)	5584	5998	144	5748
Traverten	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	2,41	2,51	0,58	2,48
	Boyuna Dalga Hızı (m/s)	4033	5072	311	4547

3.2.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Bu deney silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımının tahmini amacıyla yapılır. Deneylerde ISRM (1981) ve CANMET (1977a)'in önerdiği yöntemler esas alınmıştır.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin istatistiksel olarak gösterimi

Kayaç Grupları	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
Oniks	20 MPa	79	15,60	45
Bej Kireçtaşı	33 MPa	50	4,160	80
Kırmızı Kireçtaşı	37 MPa	117	21,60	73
Traverten	27 MPa	154	37,87	44

Tablo 3.5. Onikslere (Yaylapınar-1) ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Çap (mm)	Boy (mm)	Alan (cm ²)	Hacim (cm ³)	Wn (gr)	Wd (gr)	Wk (gr)	Süre (µs)	Sonik Hız(m/s)	w (%)	ASE (%)	BHA (gr/cm ³)	n (gör) (%)	UCS (MPa)
1	49,86	133,73	19,53	261,11	714,22	715,33	714,17	25,20	5307	0,007	0,162	2,74	0,444	21
2	49,93	137,50	19,58	269,23	734,85	736,04	734,76	24,60	5589	0,012	0,174	2,73	0,475	30
3	49,85	134,65	19,52	262,80	718,75	719,92	718,71	23,90	5634	0,006	0,168	2,73	0,460	40
4	49,95	125,02	19,60	244,99	667,69	668,56	667,62	21,40	5842	0,010	0,141	2,73	0,384	40
5	49,97	133,21	19,61	261,24	712,19	712,65	712,10	22,50	5920	0,013	0,077	2,73	0,211	43
6	49,95	112,60	19,60	220,65	601,94	602,14	601,80	19,20	5865	0,023	0,056	2,73	0,154	48
7	49,97	125,52	19,61	246,16	671,08	671,23	671,01	21,00	5977	0,010	0,033	2,73	0,089	57
8	49,95	109,67	19,60	214,91	587,66	587,73	587,59	18,00	6093	0,012	0,024	2,73	0,065	61
9	49,88	115,44	19,54	225,58	612,70	610,62	610,54	19,00	6076	0,354	0,013	2,72	0,035	64
10	49,84	115,79	19,51	225,90	614,78	614,81	614,65	17,90	6469	0,021	0,026	2,72	0,071	65
11	49,81	113,15	19,49	220,48	600,90	601	600,83	16,90	6695	0,012	0,028	2,73	0,077	70
12	49,87	113,48	19,53	221,66	605,70	605,71	605,56	19,00	5973	0,023	0,025	2,73	0,068	79
Ortalama														52
									5953	0,042	0,077	2,73	0,211	52

Tablo 3.6. Onikslere (Yaylapınar-2) ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Çap (mm)	Boy (mm)	Alan (cm ²)	Hacim (cm ³)	Wn (gr)	Wd (gr)	Wk (gr)	Süre (µs)	Sonik Hız(m/s)	w (%)	ASE (%)	BHA (gr/cm ³)	n (gör) (%)	UCS (MPa)
1	49,82	113,28	19,49	220,83	591,69	592,40	591,58	26,60	4259	0,019	0,139	2,68	0,371	43
2	49,81	107,25	19,49	208,99	561,90	562,29	561,80	21,70	4942	0,018	0,087	2,69	0,234	55
3	49,76	108,46	19,45	210,92	569,18	569,59	569,06	24,00	4519	0,021	0,093	2,70	0,251	42
4	49,83	111,01	19,50	216,49	572,76	573,78	572,56	26,30	4221	0,035	0,213	2,65	0,564	20
5	49,80	111,55	19,48	217,28	580,88	581,46	580,78	26,70	4178	0,017	0,117	2,67	0,313	36
6	49,88	107,15	19,54	209,38	561,30	557,87	556,88	26,00	4121	0,794	0,178	2,68	0,473	34
7	49,86	109,39	19,53	213,59	574,08	574,63	573,96	23,70	4616	0,021	0,117	2,69	0,314	35
8	49,76	111,86	19,45	217,53	583,86	584,60	583,72	25,80	4336	0,024	0,151	2,68	0,405	40
9	49,86	110,90	19,53	216,53	577,69	578,29	577,61	24,70	4490	0,014	0,118	2,67	0,314	34
10	49,85	112,15	19,52	218,89	585,91	586,76	585,81	25,30	4433	0,017	0,162	2,68	0,434	34
Ortalama														37
														37

Tablo 3.7. Kırmızı kireçtaşlarına ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Çap (mm)	Boy (mm)	Alan (cm ²)	Hacim (cm ³)	Wn (gr)	Wd (gr)	Wk (gr)	Süre (µs)	Sonik Hız(m/s)	w (%)	ASE (%)	BHA (gr/cm ³)	n (gör) (%)	UCS (MPa)
1	49,96	127,39	19,60	249,73	675,47	675,77	674,89	21,60	5898	0,086	0,130	2,70	0,352	99
2	49,94	123,88	19,59	242,65	654,47	654,91	653,34	22,00	5631	0,173	0,240	2,70	0,647	63
3	49,95	129,98	19,60	254,71	690,94	691,14	690,47	21,90	5935	0,068	0,097	2,71	0,263	117
4	49,94	128,45	19,59	251,61	681,32	681,58	680,78	21,50	5974	0,079	0,118	2,71	0,318	103
5	49,94	103,35	19,59	202,44	542,41	542,89	541,68	18,10	5710	0,135	0,223	2,68	0,598	49
6	49,92	125,15	19,57	244,95	660,20	660,66	659,29	22,20	5637	0,138	0,208	2,70	0,559	45
7	49,94	120,5	19,59	236,03	637,25	637,97	636,29	21,40	5631	0,151	0,264	2,70	0,712	76
8	49,95	139,11	19,60	272,60	737,45	737,93	736,61	24,20	5748	0,114	0,179	2,71	0,484	70
9	49,97	127,7	19,61	250,44	677,00	677,60	675,92	22,80	5601	0,160	0,249	2,70	0,671	37
10	49,96	107,47	19,60	210,68	572,60	573,21	571,96	18,90	5686	0,112	0,219	2,72	0,593	62
11	49,97	150,83	19,61	295,80	785,25	785,78	784,10	25,30	5962	0,147	0,214	2,65	0,568	74
12	49,96	134,09	19,60	262,86	710,99	709,67	707,72	24,00	5587	0,462	0,276	2,70	0,742	53
13	49,97	135,13	19,61	265,01	719,23	719,88	718,21	24,20	5584	0,142	0,233	2,71	0,630	53
14	49,95	119,88	19,60	234,91	632,35	632,72	631,59	20,80	5763	0,120	0,179	2,69	0,481	76
15	49,97	101,96	19,61	199,96	538,77	538,86	538,54	17,00	5998	0,043	0,059	2,69	0,160	92
16	49,96	131,17	19,60	257,14	693,45	693,89	692,50	22,60	5804	0,137	0,201	2,70	0,541	90
17	49,94	121,05	19,59	237,11	648,62	649,11	647,84	21,40	5657	0,120	0,196	2,74	0,536	82
18	49,94	140,76	19,59	275,72	745,25	745,75	744,39	24,80	5676	0,116	0,183	2,70	0,493	73
Ortalama										0,139	0,193	2,70	0,519	73

Tablo 3.8. Bej kireçtaşlarına ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Çap (mm)	Boy (mm)	Alan (cm ²)	Hacim (cm ³)	Wn (gr)	Wd (gr)	Wk (gr)	Süre (µs)	Sonik Hız(m/s)	w (%)	ASE (%)	BHA (gr/cm ³)	n (gör) (%)	UCS (MPa)					
1	50,00	126,30	19,64	247,99	671,31	671,97	670,97	21,10	5986	0,051	0,149	2,71	0,403	27					
2	50,00	127,03	19,64	249,42	674,41	675,13	674,06	21,00	6049	0,052	0,159	2,70	0,429	35					
3	50,00	126,10	19,64	247,60	668,21	668,95	667,93	20,40	6181	0,042	0,153	2,70	0,412	62					
4	50,00	126,72	19,64	248,81	671,39	672,07	671,09	20,40	6212	0,045	0,146	2,70	0,394	63					
5	50,00	126,15	19,64	247,70	669,02	669,68	668,69	20,70	6094	0,049	0,148	2,70	0,400	68					
6	50,00	110,69	19,64	217,34	587,82	588,43	587,59	18,10	6115	0,039	0,143	2,70	0,386	73					
7	50,00	127,20	19,64	249,76	672,49	673,04	672,10	20,30	6266	0,058	0,140	2,69	0,376	80					
8	50,00	127,15	19,64	249,66	672,38	673,09	672,09	20,40	6233	0,043	0,149	2,69	0,401	86					
9	50,00	112,33	19,64	220,56	596,71	597,33	596,51	18,00	6241	0,034	0,137	2,71	0,372	93					
10	50,00	114,37	19,64	224,57	603,82	604,42	603,59	18,00	6354	0,038	0,138	2,69	0,370	135					
11	50,00	123,97	19,64	243,42	657,19	657,68	656,79	19,30	6423	0,061	0,136	2,70	0,366	154					
Ortalama														6196	0,046	0,145	2,70	0,392	80

Tablo 3.9. Travertenlere ait indeks ve dayanım deneyleri sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Çap (mm)	Boy (mm)	Alan (cm ²)	Hacim (cm ³)	Wn (gr)	Wd (gr)	Wk (gr)	Süre (µs)	Sonik Hız(m/s)	w (%)	ASE (%)	BHA (gr/cm ³)	n (gör) (%)	UCS (MPa)
1	49,97	140,82	19,60	276,03	683,07	688,35	680,46	34,20	4118	0,38	1,16	2,47	2,86	33
2	49,97	145,13	19,60	284,48	706,22	711,96	703,94	35,40	4100	0,32	1,14	2,48	2,82	37
3	49,97	146,50	19,60	287,16	708,61	710,56	703,17	34,80	4210	0,77	1,05	2,47	2,57	37
4	49,97	140,74	19,60	275,87	676,80	680,74	673,26	34,90	4033	0,53	1,11	2,45	2,71	39
5	49,97	135,48	19,60	265,56	644,72	649,94	642,81	32,20	4207	0,30	1,11	2,43	2,68	39
6	49,43	135,50	19,18	259,89	637,51	643,37	636,49	32,40	4182	0,16	1,08	2,45	2,65	40
7	49,97	146,63	19,60	287,42	720,30	724,35	718,58	34,60	4238	0,24	0,80	2,51	2,01	40
8	49,43	104,38	19,18	200,20	482,76	486,65	482,03	24,30	4295	0,15	0,96	2,41	2,31	41
9	49,97	141,70	19,60	277,75	683,59	687,73	681,29	31,90	4442	0,34	0,95	2,46	2,32	41
10	49,97	139,95	19,60	274,32	670,79	675,01	667,92	29,60	4728	0,43	1,06	2,45	2,58	41
11	49,97	143,00	19,60	280,30	678,35	682,75	675,50	32,80	4360	0,42	1,07	2,42	2,59	41
12	49,97	140,49	19,60	275,38	680,95	683,56	677,61	27,80	5054	0,49	0,88	2,47	2,16	41
13	49,65	130,11	19,35	251,78	616,93	621,67	615,96	31,80	4092	0,16	0,93	2,45	2,27	43
14	49,97	145,35	19,60	284,91	700,18	701,66	697,68	30,90	4704	0,36	0,57	2,46	1,40	43
15	49,97	139,48	19,60	273,40	667,50	669,07	664,99	27,50	5072	0,38	0,61	2,44	1,49	43
16	49,97	145,11	19,60	284,44	711,60	713,39	709,59	31,80	4563	0,28	0,54	2,50	1,34	45
17	49,97	132,10	19,60	258,94	637,14	638,41	634,82	27,70	4769	0,37	0,57	2,46	1,39	46
18	49,45	131,81	19,20	253,02	618,55	622,29	617,56	29,60	4453	0,16	0,77	2,44	1,87	47
19	49,97	139,69	19,60	273,81	668,70	669,60	665,52	29,60	4719	0,48	0,61	2,44	1,49	47
20	49,97	135,33	19,60	265,27	645,44	646,15	642,40	28,90	4683	0,47	0,58	2,43	1,41	47
21	49,97	136,02	19,60	266,62	643,92	644,28	640,60	28,80	4723	0,52	0,57	2,42	1,38	48
22	49,97	143,31	19,60	280,91	704,24	705,91	702,35	30,90	4638	0,27	0,51	2,51	1,27	50
Ortalama										0,34	0,80	2,48	1,96	44

3.3. Deney Verilerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Mühendislik açısından farklı sınıflama sistemlerinin çoğu, kayaçları mekanik özelliklerine bağlı olarak sınıflandırırken, bazıları da hem mekanik hem de jeolojik özellikleri bir arada tutarak sınıflama yapmaktadır. Ancak, son zamanlarda yapılan bazı çalışmalar, kayaçların mekanik özelliklerinin, kayacı oluşturan minerallerin kristal yapılarına, kayaç içerisindeki dizilme şekillerine ve bununla ilgili olarak da indeks özelliklerine bağlı olduğunu göstermektedir. Kayaçların bu tür farklı özelliklerinin tespit edilmesi ve aralarında ilişki kurulması özellikle mühendislik çalışmalarının ön tespit aşamalarında önemli faydalar sağlamaktadır (Teymen, 2005).

Tek eksenli basınç dayanımı hem kaya mekaniği hem de mühendislik jeolojisi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Fakat bazı durumlarda bu deney için numune hazırlanması ve deneyin yapılması pahalı ve zaman harcamalıdır. Bu nedenle nokta yükleme dayanım indeksi, Schmidt sertlik çekici ve sonik hız gibi basit deney yöntemlerinin tek eksenli basma dayanımını kestirmek amacıyla kullanımı oldukça yaygındır. Bu basit deney yöntemleri hızlı, kolay, portatif ve ucuzdur ayrıca numune hazırlama işlemi de gerektirmeyebilir (Başarır ve diğerleri, 2004).

Ultrasonik teknikler uzun yıllardır madencilik biliminde ve jeoteknik uygulamalar içinde kullanılmaktadır. Bunlar, jeofizik çalışma alanlarında ve kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuvarlardaki tespitinde kullanılabilir. Bu teknikler, uygulanmasının kolaylığı ve zararsız olmasından dolayı, jeoteknik mühendisliğinde gittikçe artarak kullanılmaya başlanmıştır. Dolgu tayininde, kaya saplaması donatılarında, kaya sınıflamalarında sismik hız yönteminden yararlanılmaktadır. Kaya kütle deformasyonu ve basıncının tahmini, yer altı açıklıklarının etrafında gelişmiş çatlak zonlarının büyüklüğü (uzunluğu) ve çatlak kaya kütle karakteristiği sismik tekniklerin uygulandığı diğer bazı uygulamalardır. Birçok araştırmacı kaya özellikleri ve ses hızı arasındaki ilişki üzerinde çalışmış ve ses hızının kaya özellikleriyle oldukça ilişkili olduğunu belirlemiştir.

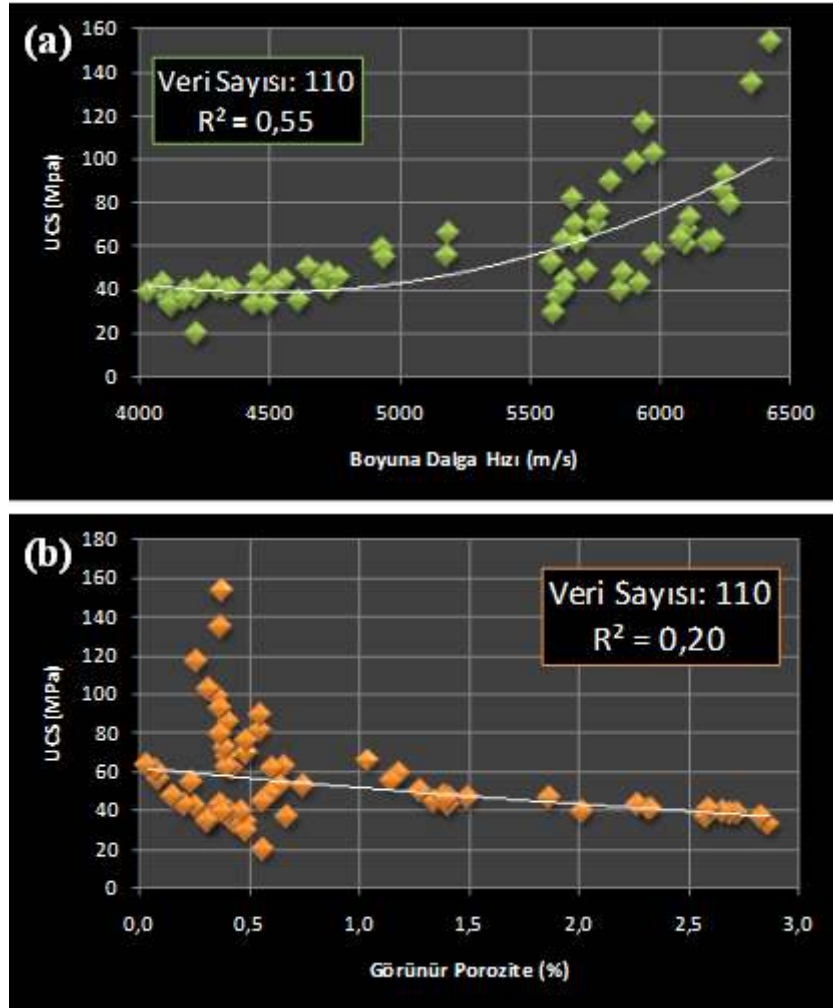
Bununla birlikte bu çalışmada, uygulaması kolay ve düşük maliyetli kaya mekaniği deneyleri olan boyuna dalga hızı ve görünür porozite değerlerinden yararlanılarak zaman alıcı ve maliyeti yüksek deneylerle tespit edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Çalışmada basit tek değişkenli regresyon analizleri ile çok değişkenli regresyon analizleri uygulanmış analizler sonucunda değişkenler arasındaki ilişkiler formüllendirilmiştir.

3.3.1. Basit Tek Değişkenli (İkili) Regresyon Analizleri

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin bulunmasına imkan veren bir analiz yöntemidir. Korelasyon analizinde ise iki değişken arasındaki ilişkinin yönü ve şiddeti hesaplanır. Fakat bu ilişki bir neden-sonuç ilişkisi olmak zorunda değildir. İkili regresyonda, bağımsız değişken (X) hakkında sahip olunan bilgilerden hareketle bağımlı değişken (Y) tahmin edilmeye çalışır.

Çalışmada, Doğu Karadeniz Bölümü'nde bulunan farklı karbonat kayaç örnekleri üzerinde basit deney yöntemleri ve tek eksenli basınç dayanım deneyleri uygulanmış, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ile basit deney yöntemleri arasında istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir.

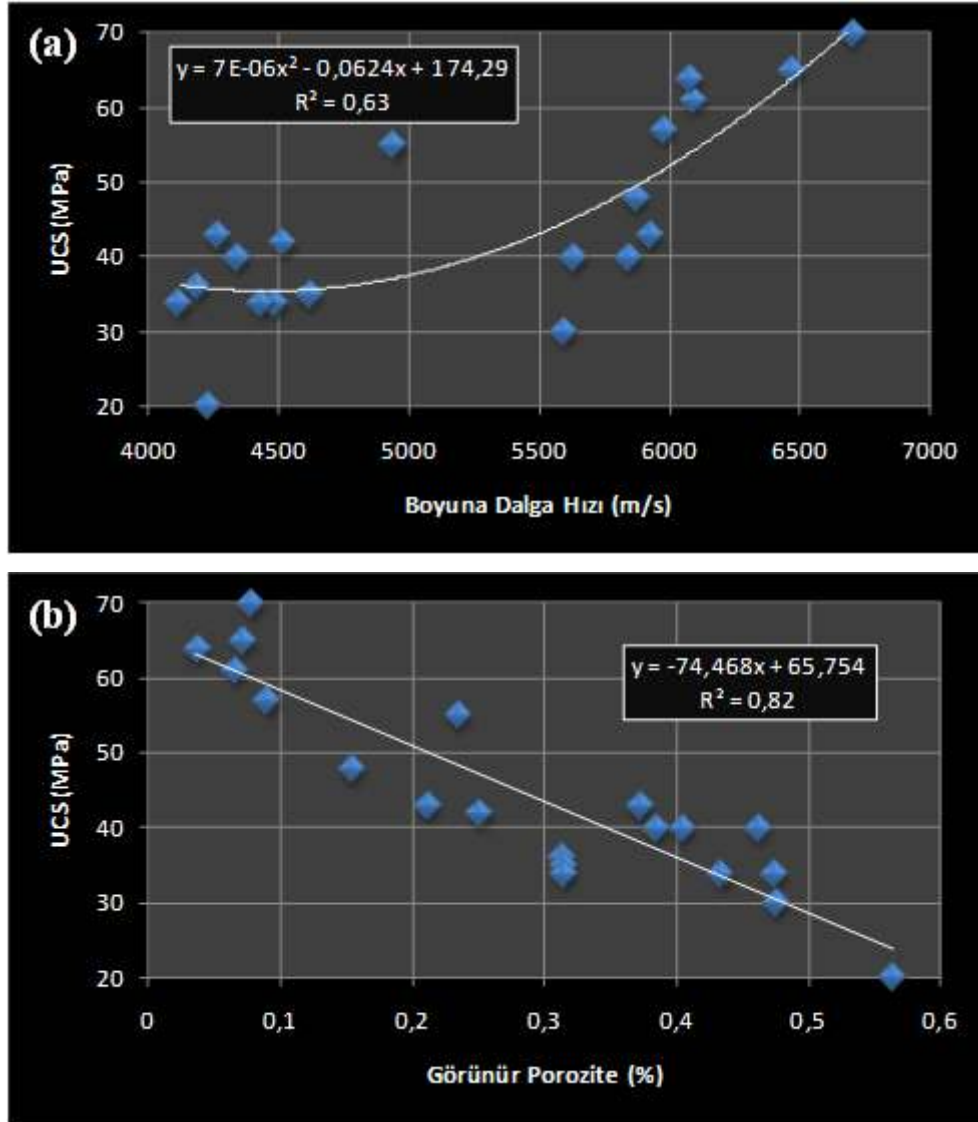
Çalışmanın ilk aşamasında toplam 110 deney sonucu, kayaç litolojisi ve dokusu ayırt edilmeksizin bir arada analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Karbonat kayaçların tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi basit tek değişkenli regresyon analizde tek eksenli basınç direnci (UCS) bağımlı değişken, görünür porozite ve boyuna dalga hızı ayrı ayrı bağımsız değişken olarak alınmıştır. Test sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif üstel ilişki, görünür porozite ile negatif lineer ilişki belirlenmiştir. Ancak karbonatlı kayalarda düşük regresyon katsayıları ($R^2 = 0.55$ ve 0.20) litoloji ayırt edilmeksizin indeks ve dayanım özellikleri arasında bir ilişkinin aranmaması gerektiğinin bir göstergesidir.

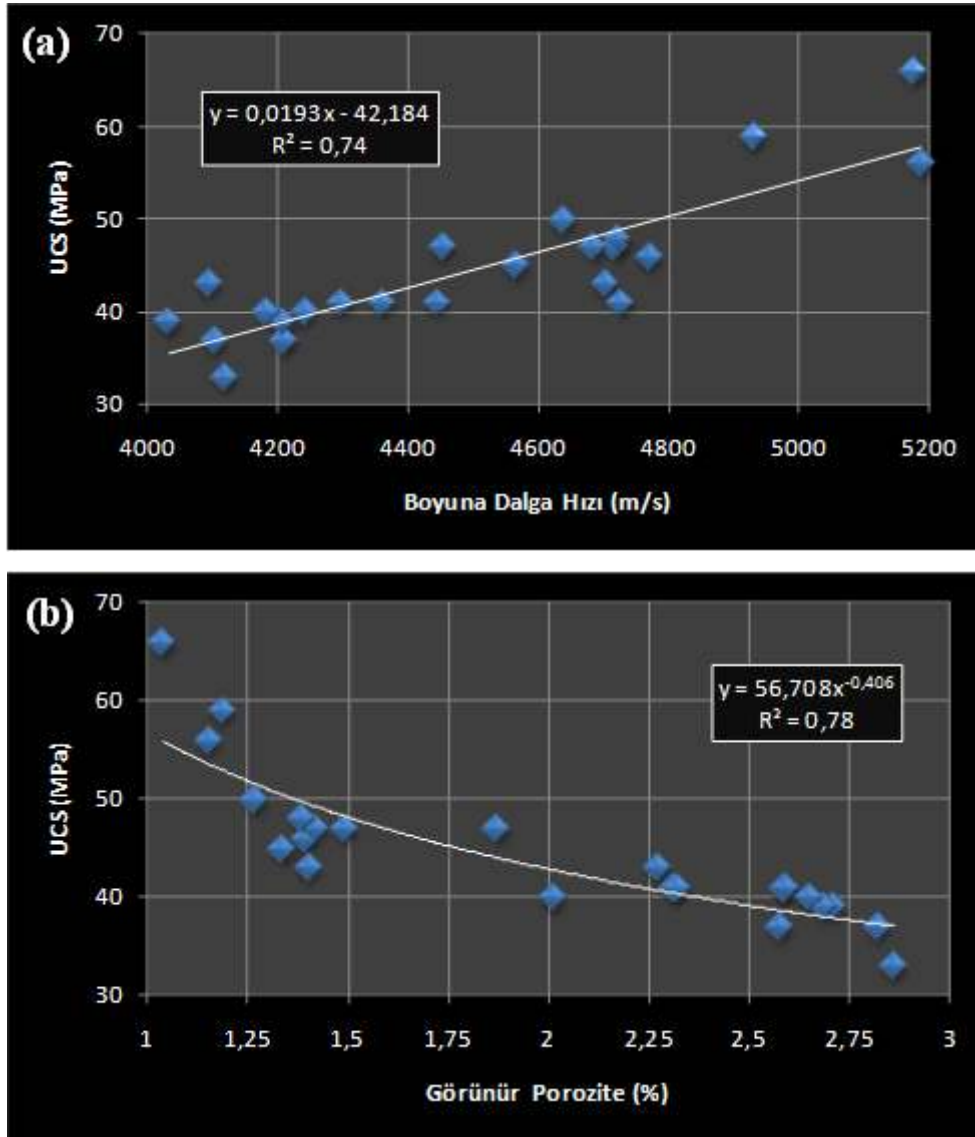
Bu nedenle çalışmada 4 farklı karbonatlı kayaca ait değerler ayrı olarak test edilmiş ve sonuçlar Şekil 3.5-3.8'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Onikslerin tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri

Onikslere ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif polinomal ilişki, tek eksenli basınç direnci ile görünür porozite arasında ise negatif lineer ilişki belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.63 ve 0.82 olarak hesaplanmıştır.

Özellikle UCS-görünür porozite arasındaki yüksek regresyon katsayısı, değerler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu kanıtlar.

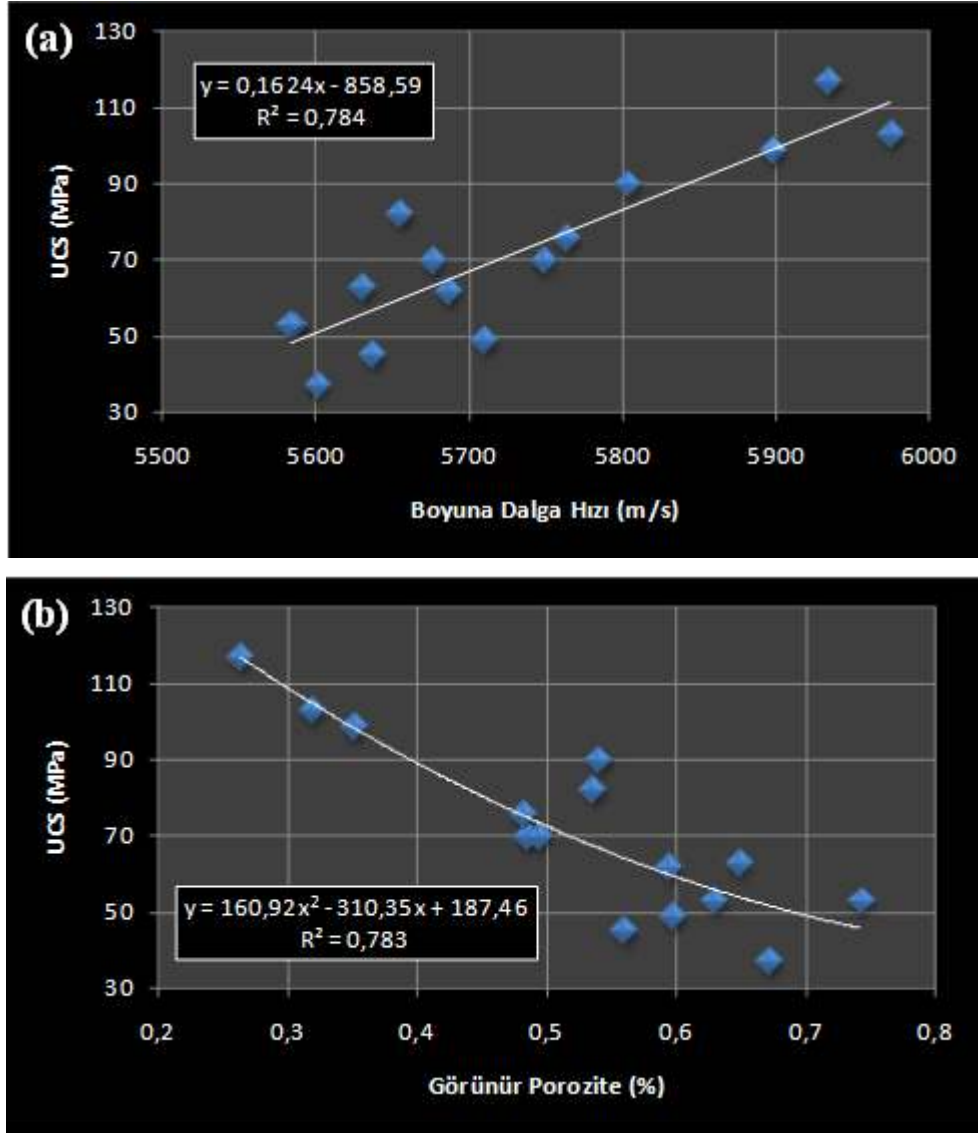


Şekil 3.6. Travertenlerin tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri

Travertenlere ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif lineer ilişki, tek eksenli basınç direnci ile görünür porozite

arasında ise negatif üstel ilişki belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.74 ve 0.78 olarak hesaplanmıştır.

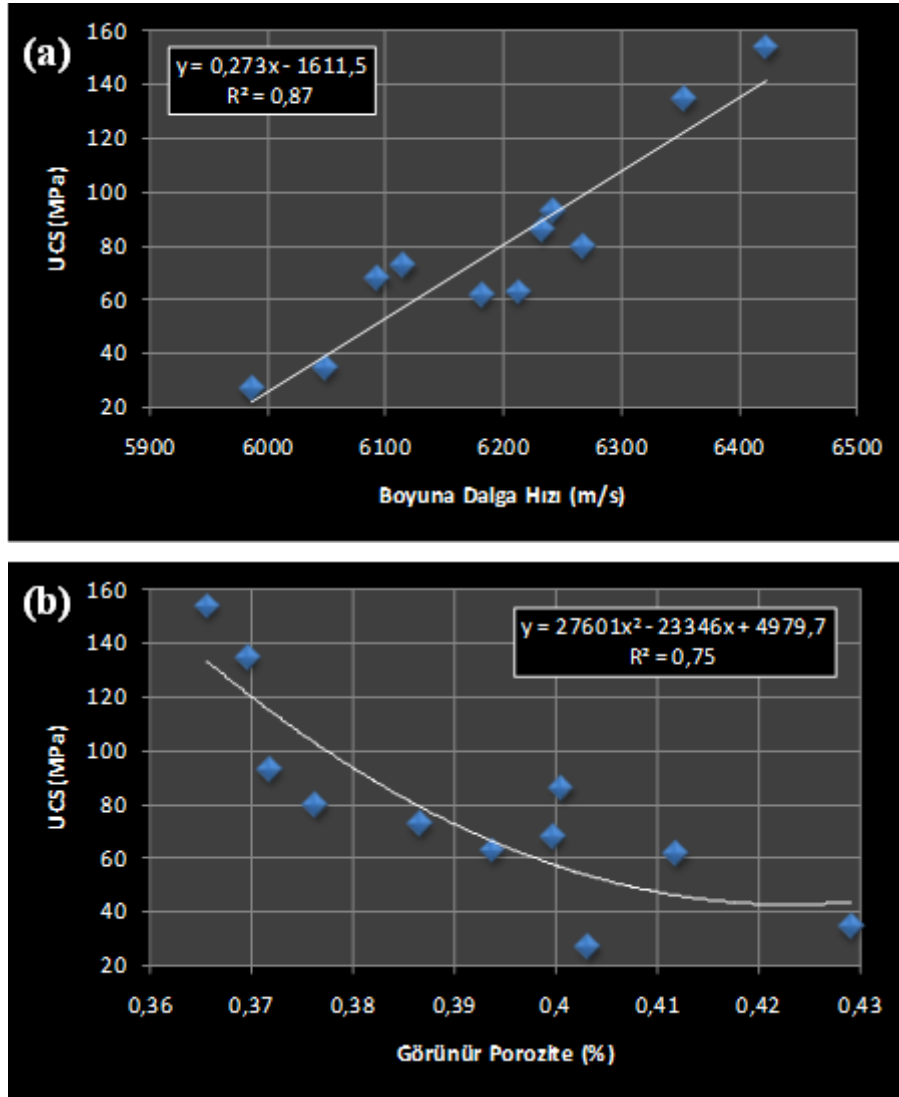
Her iki analizdeki yükseğe yakın regresyon katsayıları, değerler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.7. Kırmızı kireçtaşlarının tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri

Kırmızı kireçtaşlarına ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif lineer ilişki, tek eksenli basınç direnci ile görünür porozite arasında ise negatif polinomal ilişki belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.784 ve 0.783 olarak hesaplanmıştır.

Her iki analizdeki yükseğe yakın regresyon katsayıları, değerler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.8. Bej kireçtaşlarının tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç direnci-görünür porozite (b) grafikleri

Bej kireçtaşlarına ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif lineer ilişki, tek eksenli basınç direnci ile görünür porozite arasında ise negatif polinomal ilişki belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.87 ve 0.75 olarak hesaplanmıştır.

Her iki analizdeki yüksek regresyon katsayıları, değerler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

3.3.2. Tek Değişkenli Regresyon Analizlerinin Yorumlanması

Tek eksenli basınç direncinin tahminine yönelik tek değişkenli regresyon analizlerinin sonucunda elde edilen eşitlikler Tablo 3.10’da verilmiştir.

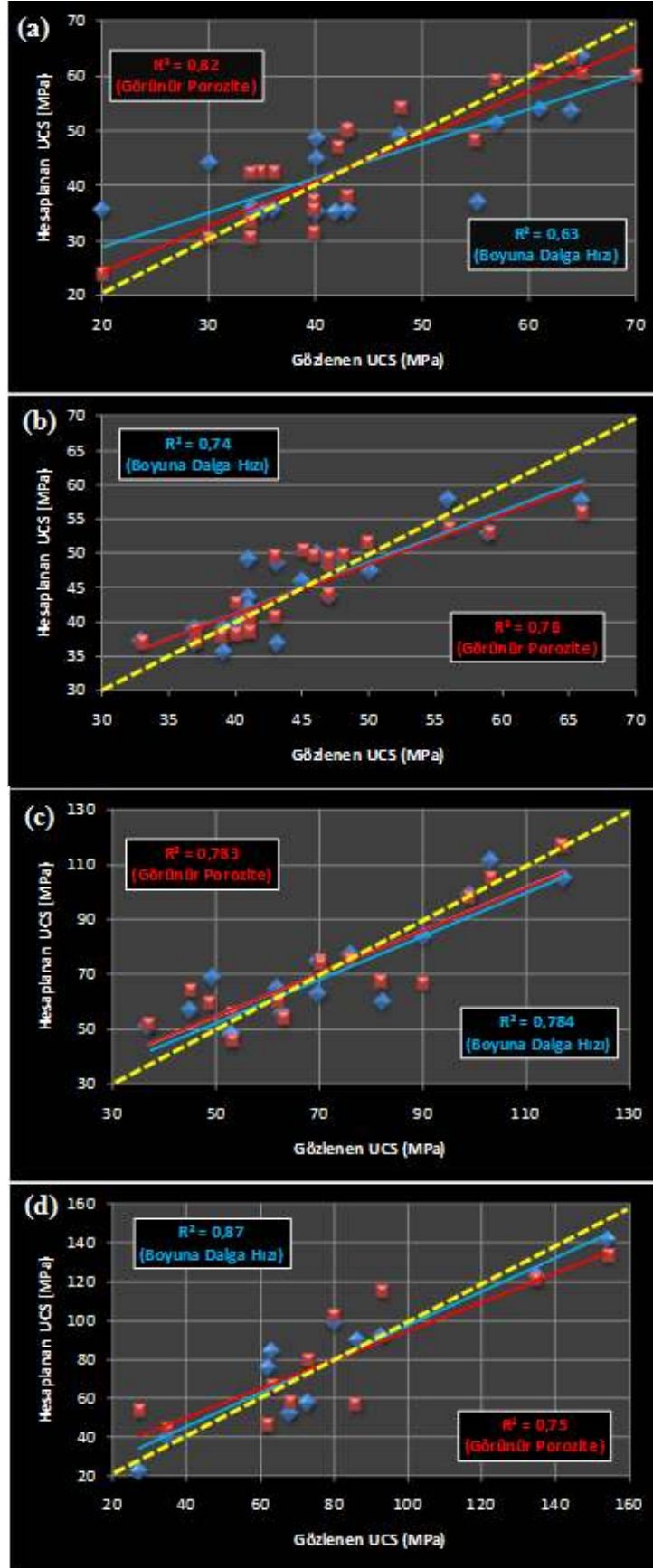
Tablo 3.10. Tek değişkenli regresyon analizleri sonucunda elde edilen eşitlikler

Kayaç Grupları	Eşitlikler	R ²
Oniks	$UCS = 7 \times 10^{-6} V_p^2 - 0,0624 V_p + 174,29$	0,63
	$UCS = -74,468 n + 65,754$	0,82
Traverten	$UCS = -74,468 V_p + 65,754$	0,82
	$UCS = 56,708 n^{0,406}$	0,78
Kırmızı Kireçtaşı	$UCS = 0,1624 V_p - 858,59$	0.784
	$UCS = 160,92 n^2 - 310,35n + 187,46$	0.783
Bej Kireçtaşı	$UCS = 0,273 V_p - 1611,5$	0.87
	$UCS = 27601 n^2 - 23346 n + 4979,7$	0.75

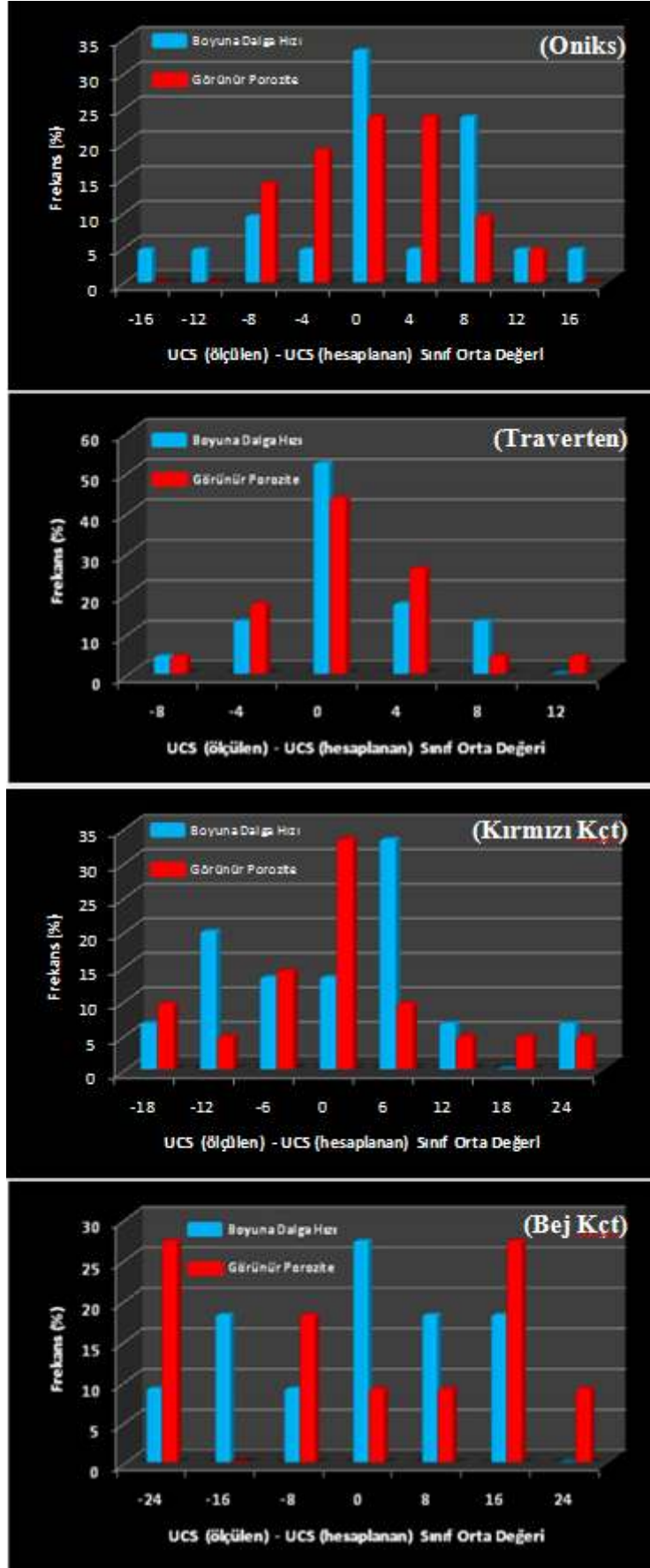
Regresyon analizinde belirlenen eşitliklerin doğruluğunu test etmek için gözlenen değer-hesaplanan değer grafikleri hazırlanır ve regresyon katsayısının 1 olduğu doğruyla analiz sonucunda elde edilen doğru karşılaştırılır. Bununla birlikte gözlenen (ölçülen) değer hesaplanan değer farklarından çizilen yüzde dağılım frekans histogramlarının normal dağılım göstermesi beklenir (Chang ve diğerleri, 2006).

Çalışmada gözlenen değer-hesaplanan değer grafikleri çizilmiş (Şekil 3.9), grafikler yorumlandığında görünür porozite ve boyuna dalga hızından elde edilen eğrilerin regresyon katsayısı bir olan eğriye yaklaşık olarak paralel olduğu görülmüştür. Bununla birlikte boyuna dalga hızından elde edilen verilere ait regresyon katsayısı değerleri 0.63 – 0.87 arasında, görünür poroziteden elde edilen verilere ait regresyon katsayısı değerleri 0.75 – 0.82 arasında değiştiği görülmüştür.

Çalışmada gözlenen (ölçülen) değer hesaplanan değer farklarından yüzde dağılım frekans histogramları çizilmiş (Şekil 3.10), oniks ve travertenlere ait verilerin normal dağılım, kırmızı kireçtaşlarına ait verilerin normal dağılıma yakın bir dağılım gösterdiği, bej kireçtaşlarına ait verilerin ise normal dağılım göstermediği görülmüştür.



Şekil 3.9. Deney verilerine ait gözlenen UCS-Hesaplanan UCS grafikleri
(a: oniks, b: traverten, c: kırmızı kireçtaşı, d: bej kireçtaşı)



Şekil 3.10. Ölçülen değer hesaplanan değer farklarının yüzde dağılım frekans histogramları

3.3.3. Çoklu Regresyon Analizleri

Tüm bu verilerden yola çıkarak, gerek çok yüksek olmayan regresyon katsayısı değerleri gerekse gözlenen (ölçülen) değer hesaplanan değer farkları yüzde dağılım frekans histogramlarının tam olarak normal dağılım göstermemeleri, çalışma konusu karbonat kayalar için tek eksenli basınç dayanımının tahmininde tek değişkenli regresyon analizlerinin tam olarak sağlıklı sonuçlar veremeyeceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Bu nedenle çalışmada bağımlı değişken üzerinde birden fazla bağımsız değişkenin toplu etkisini araştıran çoklu regresyon analizleri uygulanmıştır. Çalışmada, tek eksenli basınç dayanımı bağımlı, boyuna dalga hızı ve görünür porozite ise bağımsız değişken olarak alınmış ve kayaç grupları için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Analiz yapılırken SPSS 11 paket programı kullanılmış, analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.11-3.14'te verilmiştir.

Tablo 3.11. Onikslere ait verilerin çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen tablolar

Model	R	R ²
1	0,921	0,848

Model	B
1 Sabit	43,965
Boyuna Dalga Hızı	3,467x10 ⁻³
Görünür Porozite	-61,436

Bağımlı Değişken: Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tablo 3.12. Travertenlere ait verilerin çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen tablolar

Model	R	R ²
1	0,883	0,780

Model	B
1 Sabit	-2,416
Boyuna Dalga Hızı	1,233x10 ⁻²
Görünür Porozite	-4,319

Bağımlı Değişken: Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tablo 3.13. Kırmızı kireçtaşlarına ait verilerin çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen tablolar

Model	R	R ²
1	0,899	0,808

Model	B
1 Sabit	-444,284
Boyuna Dalga Hızı	$9,629 \times 10^{-2}$
Görünür Porozite	-67,905

Bağımlı Değişken: Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tablo 3.14. Bej kireçtaşlarına ait verilerin çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen tablolar

Model	R	R ²
1	0,947	0,896

Model	B
1 Sabit	-1095,753
Boyuna Dalga Hızı	,219
Görünür Porozite	-462,498

Bağımlı Değişken: Tek Eksenli Basınç Dayanımı

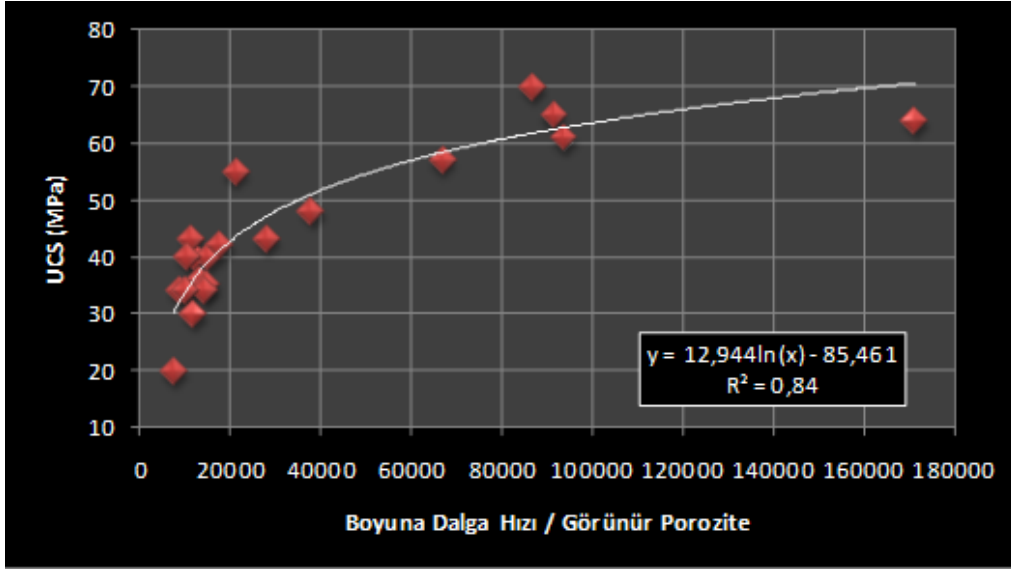
Çoklu regresyon analiz tablolarının yorumlanması sonucunda Tablo 3.15'deki eşitlikler elde edilmiştir.

Tablo 3.15. Çoklu regresyon analizleri sonucunda elde edilen eşitlikler

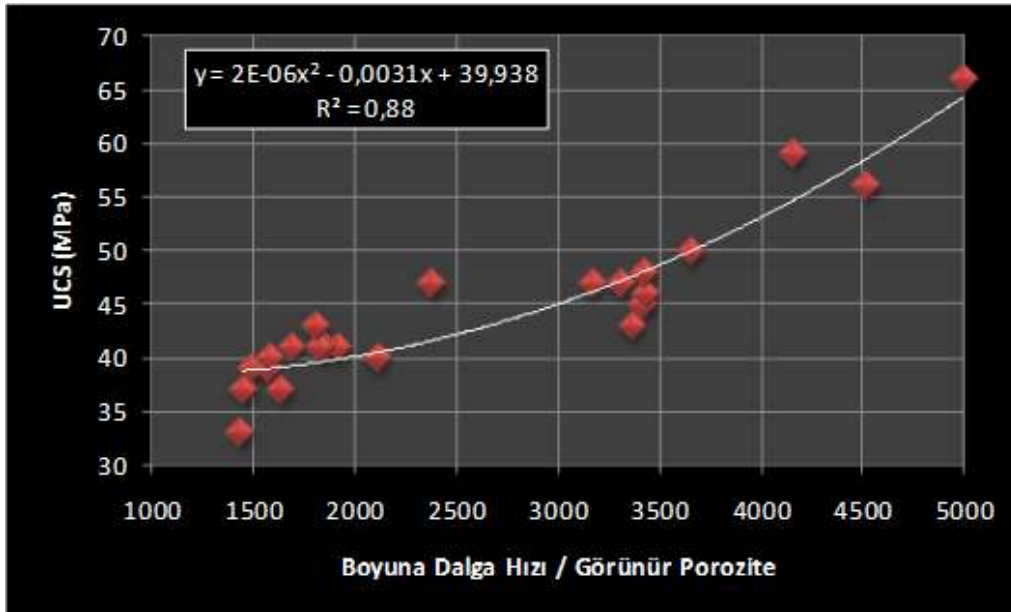
Kayaç Grupları	Eşitlikler	R ²
Oniks	$UCS = 43.97 + 3.47 \times 10^{-3} V_p - 61.44 \times n$	0,85
Traverten	$UCS = -2.42 + 1.23 \times 10^{-2} V_p - 4.319 \times n$	0,76
Kırmızı Kireçtaşı	$UCS = -444.28 + 9.63 \times 10^{-2} V_p - 67.91 \times n$	0,81
Bej Kireçtaşı	$UCS = -1095.75 + 0.219 V_p - 462.50 \times n$	0,90

Bununla birlikte yüksek regresyon katsayısı değerleri, tek eksenli basınç dayanımı tahmininde boyuna dalga hızı ve görünür porozite değerlerinin birlikte formülize edilebileceğini göstermektedir.

Çalışmada, tek eksenli basınç direnci bağımlı, boyuna dalga hızının görünür poroziteye oranı bağımsız değişken alınarak ta çoklu regresyon analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.11-3.14 arasında verilmiştir.

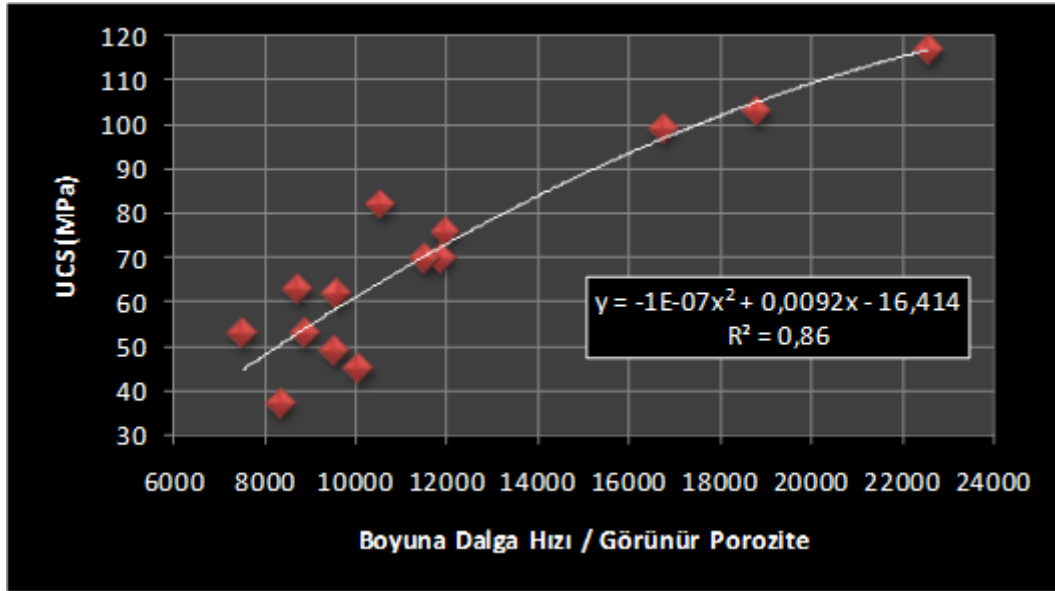


Şekil 3.11. Onikslerin tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı/görünür porozite grafikleri

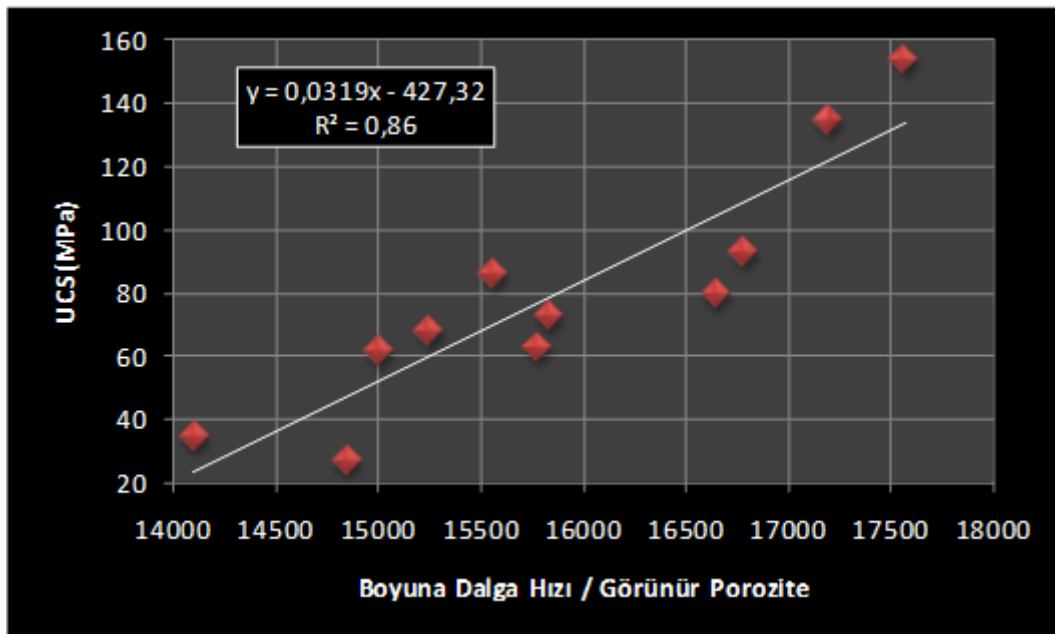


Şekil 3.12. Travertenlerin tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı/görünür porozite grafikleri

Onikslere ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı/görünür porozite arasında pozitif logaritmik ilişki olduğu belirlenmiştir. Travertenlere ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı/görünür porozite arasında pozitif polinomal ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.84 ve 0.88 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.13. Kırmızı kireçtaşlarının tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı/görünür porozite grafikleri



Şekil 3.14. Bej kireçtaşlarının tek eksenli basınç direnci-boyuna dalga hızı/görünür porozite grafikleri

Kırmızı kireçtaşı ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı/görünür porozite arasında pozitif polinomal ilişki olduğu belirlenmiştir. Bej kireçtaşlarına ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı/görünür porozite arasında pozitif lineer ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.86 ve 0.86 olarak hesaplanmıştır.

3.3.4. Çoklu Regresyon Analizlerinin Yorumlanması

Çoklu regresyon analiz sonuçlarının (UCS-Vp/n) yorumlanması sonucunda Tablo 3.16'daki eşitlikler elde edilmiştir.

Tablo 3.16. Çoklu regresyon analizleri (UCS-Vp/n) sonucunda elde edilen eşitlikler

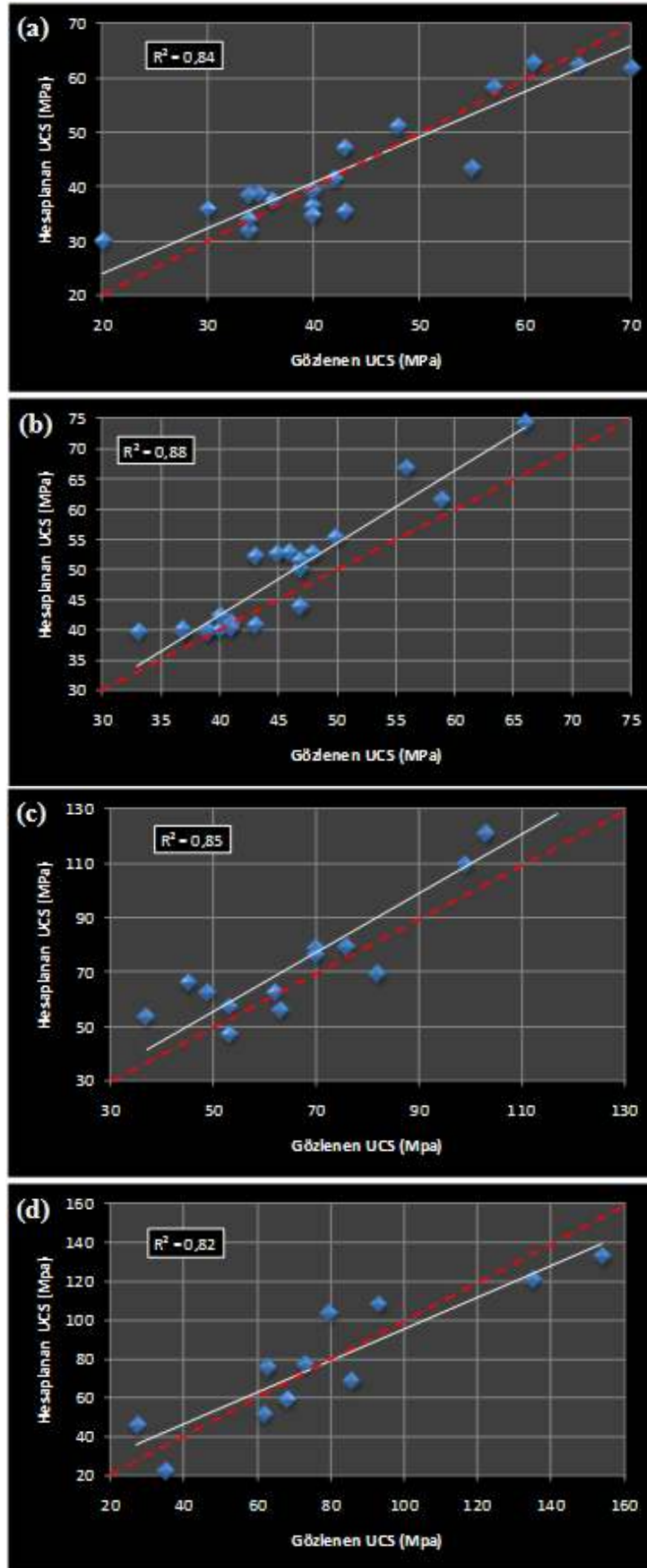
Kayaç Grupları	Eşitlikler	R^2
Oniks	$UCS = 12,94 \ln (Vp/n) - 85,46$	0,84
Traverten	$UCS = 2 \times 10^{-6} (Vp/n) - 0.0031 (Vp/n) + 39.94$	0,88
Kırmızı Kireçtaşı	$UCS = -1 \times 10^{-7} (Vp/n) + 0.0092 (Vp/n) + 16.41$	0,86
Bej Kireçtaşı	$UCS = 0.0319 (Vp/n) - 427.32$	0,86

Tek eksenli basınç direncinin tahmininde boyuna dalga hızının görünür poroziteye oranının bağımsız değişken olarak alınması durumunda çok yüksek regresyon katsayıları elde edilmiştir.

Regresyon analizinde belirlenen eşitliklerin doğruluğunu test etmek için gözlenen değer-hesaplanan değer grafikleri hazırlanmış ve regresyon katsayısının 1 olduğu doğruyla analiz sonucunda elde edilen doğru karşılaştırılmıştır.

Çalışmada çizilmiş grafikler (Şekil 3.15) yorumlandığında analizler sonucunda çizilmiş doğruların regresyon katsayısı bir olan doğruya yaklaşık olarak paralel olduğu görülmüştür.

Onikslere, travertenlere, kırmızı kireçtaşlarına ve bej kireçtaşlarına ait verilerden elde edilen gözlenen değer-hesaplanan değer grafiklerine ait regresyon katsayıları değerleri sırasıyla 0.84, 0.88, 0.85 ve 0.82 olarak belirlenmiştir. Bu değerler ise analizin güvenli olduğu sonucunu göstermektedir. Tüm analiz sonuçları Tablo 3.17'de verilmiştir.

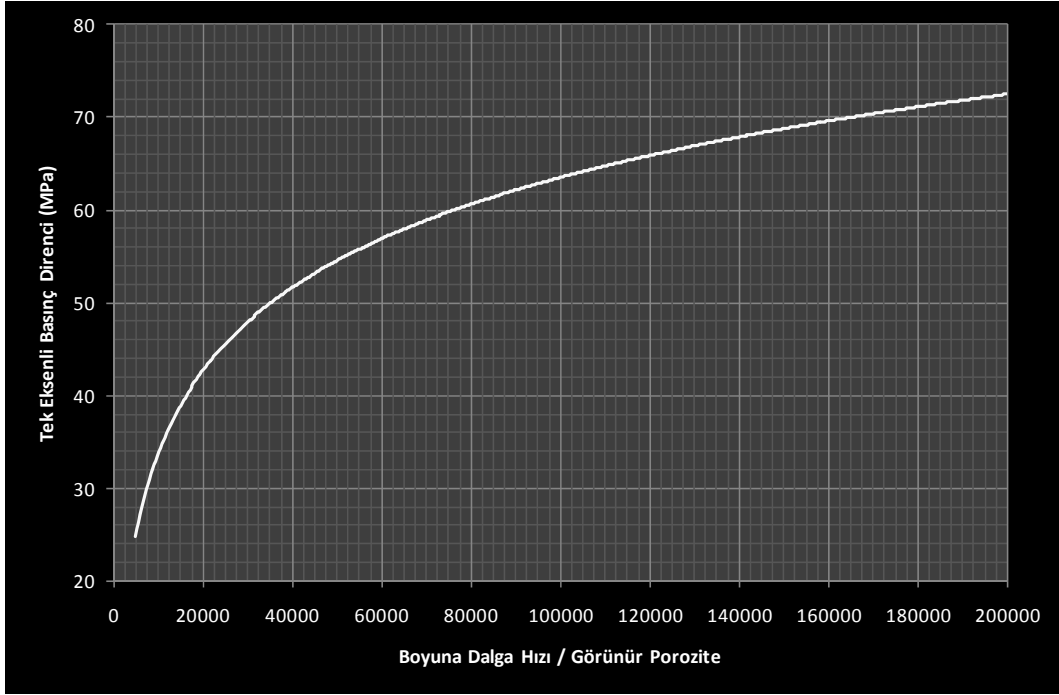


Şekil 3.15. Deney verilerine ait gözlenen UCS-Hesaplanan UCS grafikleri
(a: oniks, b: traverten, c: kırmızı kireçtaşı, d: bej kireçtaşı)

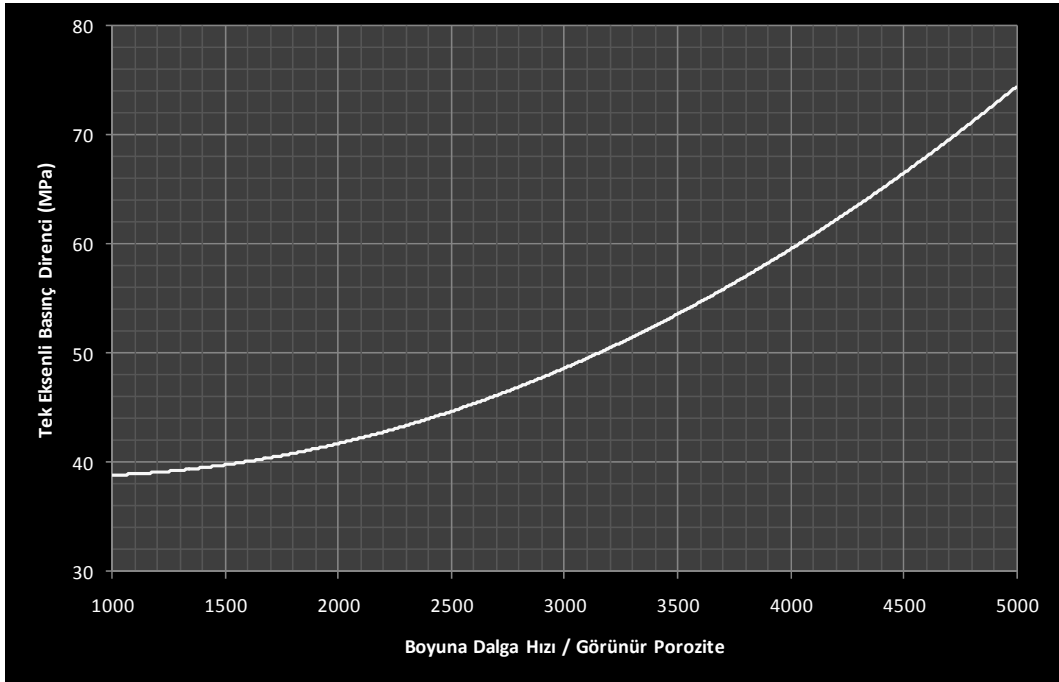
Tablo 3.17. Tek değişkenli ve çoklu regresyon analizleri sonucunda tek eksenli basınç dayanımının tahminine yönelik üretilen formüller

Kayaç Grupları	Eşitlikler (Tek Değişkenli Regresyon)	R ²	Eşitlikler (Çoklu Regresyon)	R ²	Eşitlikler (Çoklu Regresyon: UCS-Vp/n)	R ²
Oniks	$7 \times 10^{-6} Vp^2 - 0,0624 Vp + 174,29$ $-74,468 n + 65,754$	0,63 0,82	$43,97 + 3,47 \times 10^{-3} Vp - 61,44 \times n$	0,85	$12,44 \ln (Vp/n) - 85,46$	0,84
Traverten	$-74,468 Vp + 65,754$ $56,708 n^{0,406}$	0,82 0,78	$-2,42 + 1,23 \times 10^{-2} Vp - 4,319 \times n$	0,76	$2 \times 10^{-6} (Vp/n) - 0,0031 (Vp/n) + 39,94$	0,88
Kırmızı Kçt.	$0,1624 Vp - 858,59$ $160,92 n^2 - 310,35n + 187,46$	0,78 0,78	$-444,28 + 9,63 \times 10^{-2} Vp - 67,91 \times n$	0,81	$-1 \times 10^{-7} (Vp/n) + 0,0092 (Vp/n) + 16,41$	0,86
Bej Kireçtaşı	$0,273 Vp - 1611,5$ $27601 n^2 - 23346 n + 4979,7$	0,87 0,75	$-1095,75 + 0,219 Vp - 462,50 \times n$	0,90	$0,0319 (Vp/n) - 427,32$	0,86

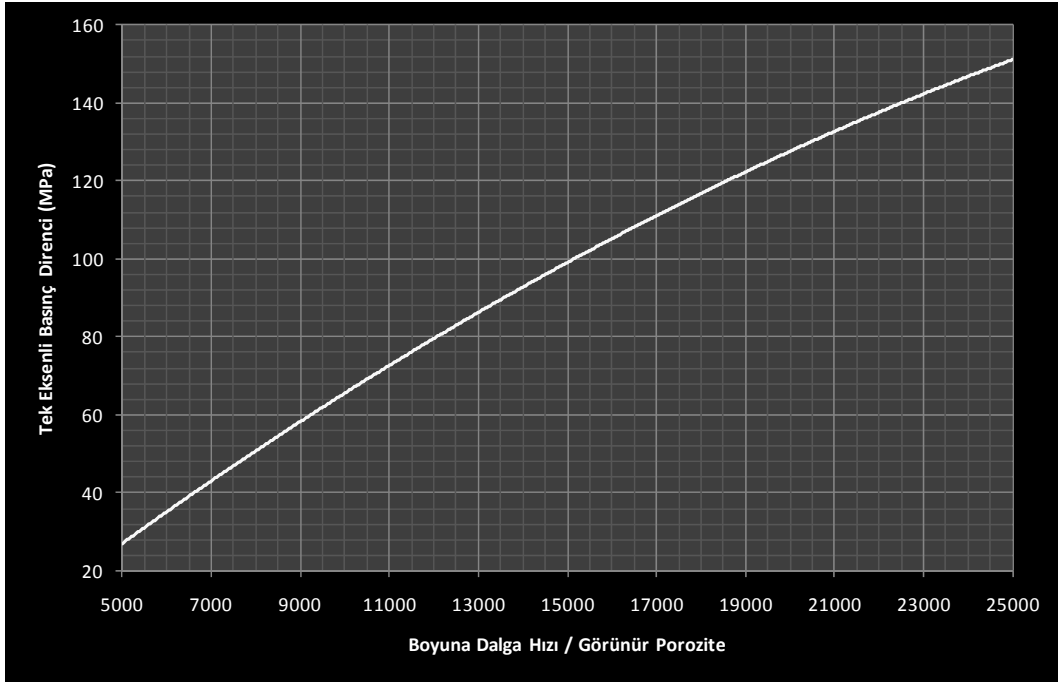
Regresyon eşitliklerinden elde edilen formüllerin daha pratik kullanılması amacıyla, formüller grafiklere dökülmüş, sonuçlar Şekil 3.16-3.19’da verilmiştir.



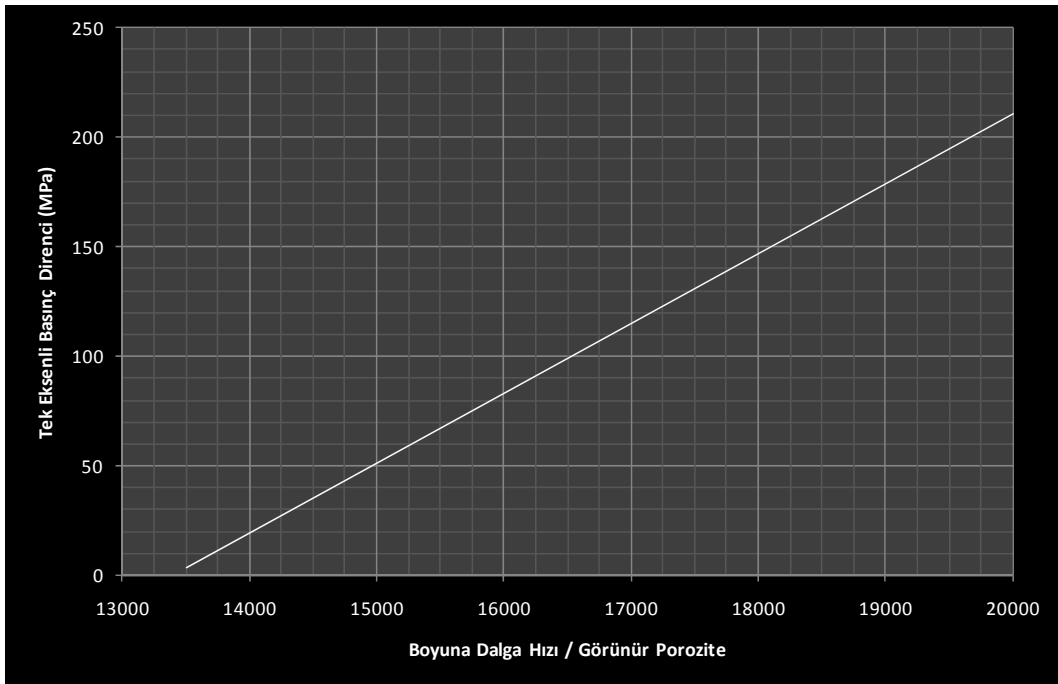
Şekil 3.16. Onikslere ait tek eksenli basınç direnci tahmin diyagramı



Şekil 3.17. Travertenlere ait tek eksenli basınç direnci tahmin diyagramı



Şekil 3.18. Kırmızı kireçtaşlarına ait tek eksenli basınç direnci tahmin diyagramı



Şekil 3.19. Bej kireçtaşlarına ait tek eksenli basınç direnci tahmin diyagramı

Çalışmada 4 farklı karbonat kayaç üzerinde porozite ve ultrasonik hız gibi basit deneyler uygulanmış kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ile basit deney yöntemleri arasında istatistiksel ilişkiler araştırılmıştır. Elde edilen ilişkilerle diğer araştırmacılar tarafından önerilen ilişkiler karşılaştırılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır (Tablo 3.18).

Tablo 3.18. Tek eksenli basınç direncinin tahminine yönelik çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen eşitlikler

Kayaç Grubu	Eşitlikler (UCS)	R ²	Referanslar
Genel	$15.3 I_{s(50)} + 16,3$	-	D'andree ve diğerleri (1964)
Genel	$23 I_{s(50)}$	-	Bieniawski (1975)
Sedimanter kayaç	$16 I_{s(50)}$	-	Read ve diğerleri (1980)
Genel	$20-25 I_{s(50)}$		ISRM (1981)
Kireçtaşı	$185 e^{-0.2567 n}$	0.89	Yenice (2002)
Genel	$0.783 e^{0.882 Vp}$	0.53	Entwisle ve diğerleri (2002)
Genel	$0.68 \rho Vp^{2.69}$	0.66	Başarır ve diğerleri (2004)
Kumtaşı	$0.1564 Vp - 692.41$	0.80	Chary ve diğerleri (2006)
Kireçtaşı	$165.05 \exp (-4451.07/Vp)$	0.70	Moradian (2009)

Tablo 3.18’de görüldüğü gibi kayaçların indeks özelliklerinden yararlanarak dayanım özelliklerinin tahminine yönelik çalışmaların çoğunda kayaçlar litolojilerine göre ayırt edilmeksizin eşitlikler üretilmiştir. Bununla birlikte birçok araştırma düşük regresyon katsayı değerleri de dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada ise yüksek regresyon değerlerine ulaşılan kadar farklı regresyon analizleri uygulanmış, farklı kayaç grupları için farklı uygulamalar yapılmış, analizlerle fazla sayıda örnek kullanılmasına dikkat edilmiştir. Sonuç olarak dört farklı litolojide yüksek regresyon katsayısına sahip eşitlikler elde edilerek bunlara ait grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerden yararlanarak boyuna dalga hızı ve görünür poroziteden yola çıkarak UCS tahmini kolaylaşmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı mühendislik tasarımlarında dikkate alınan en önemli girdi parametresi olup, gerek yer üstü gerekse de yeraltı mühendislik yapılarının projelendirilme aşamasında sıklıkla kullanılmaktadır. Deneyin uygulanabilmesi için gelişmiş bir kaya mekaniği laboratuvarına ihtiyaç duyulması ve deney için numune hazırlanmasının zaman alıcı olması nedeniyle, kayaçların indeks özelliklerinin belirlendiği basit deney yöntemlerinin tek eksenli basınç dayanımını kestirmek amacıyla kullanımı oldukça yaygındır. Basit indeks deney yöntemleri sayesinde çabuk ve ucuz bir şekilde tek eksenli basınç dayanımı tahmini mümkündür.

Bu çalışmada 4 farklı karbonat kayaç üzerinde porozite ve ultrasonik hız gibi basit deneyler uygulanmış kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ile basit deney yöntemleri arasında istatistiksel ilişkiler araştırılmıştır elde edilen sonuçlar sıralanmıştır.

1. Çalışma konusu karbonat kayaçlar Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki traverten, oniks ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşı örnekleri platform karbonatları olarak bilinen Berdiga Formasyonu'na aittir.

2. İnceleme alanı ve çevresinde gerek oluşumunu tamamlamış gerekse oluşumu devam eden traverten ve onikslere rastlanmıştır. Travertenler ve oniksler yağışla yeraltına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin düşey faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla beraber bünyelerindeki karbondioksit gazını bırakarak ortama CaCO_3 çökeltmesi sonucunda oluşmuşlardır.

3. Laboratuarda yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere araziden blok numuneler alınmıştır. Bu numunelerin alımı sırasında örneklerin sahayı tam olarak temsil etmesine ve çatlaklı olmamasına dikkat edilmiştir. Saha çalışmaları sırasında travertenlerden alınan blok örnekler kullanılarak silindirik deney örnekleri (karot) hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde ASTM ve Türk Standartlarında belirtilen deneyler yapılmış ve travertenlerin fiziksel ve dayanım özellikleri belirlenmiştir.

4. Yapılan deneyler sonucu onikslerin su içeriği değerleri ortalama % 0.067, ağırlıkça su emme değerleri ortalama % 0.105, görünür porozite değerleri ortalama % 0,282 olarak ölçülmüştür. Bej kireçtaşlarının su içeriği değerleri ortalama % 0.047, ağırlıkça su emme değerleri ortalama % 0.145, görünür porozite değerleri ise ortalama %

0.392 olarak ölçülmüştür. Deneyler sonucu kırmızı kireçtaşlarının su içeriği değerleri ortalama % 0.139, ağırlıkça su emme değerleri ortalama % 0.193, görünür porozite değerleri ortalama % 0.519 olarak ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucu travertenlerin su içeriği değerleri ortalama % 0.34, ağırlıkça su emme değerleri ortalama % 0.8, görünür porozite değerleri ortalama % 1.96 olarak ölçülmüştür.

5. Yapılan deneyler sonucu onikslerin birim hacim ağırlık değerleri ortalama 2.70 g/cm^3 , bej kireçtaşlarının ortalama 2.70 g/cm^3 , kırmızı kireçtaşlarının ortalama 2.70 g/cm^3 ve travertenlerin birim hacim ağırlık değerleri ortalama 2.48 g/cm^3 olarak ölçülmüştür.

6. Bununla birlikte deneyler sonucu onikslerin boyuna dalga hızı değerleri maksimum 6695 m/s, minimum 4121 m/s ve ortalama 5253 m/s; bej kireçtaşlarının maksimum 6423 m/s, minimum 5986 m/s ve ortalama 6196 m/s; kırmızı kireçtaşlarının maksimum 5998 m/s, minimum 5584 m/s ve ortalama 5748 m/s ve travertenlerin boyuna dalga hızı değerleri maksimum 5072 m/s, minimum 4033 m/s ve ortalama 4547 m/s olarak ölçülmüştür.

7. Yapılan deneyler sonucu onikslerin tek eksenli basınç değerleri ortalama 45 MPa, bej kireçtaşlarının ortalama 80 MPa, kırmızı kireçtaşlarının ortalama 73 MPa ve travertenlerin tek eksenli basınç değerleri ortalama 44 MPa olarak ölçülmüştür.

8. Bununla birlikte bu çalışmada, uygulaması kolay ve düşük maliyetli kaya mekaniği deneyleri olan boyuna dalga hızı ve görünür porozite değerlerinden yararlanılarak zaman alıcı ve maliyeti yüksek deneylerle tespit edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Çalışmada basit tek değişkenli regresyon analizleri ile çok değişkenli regresyon analizleri uygulanmış analizler sonucunda değişkenler arasındaki ilişkiler formüllendirilmiştir. İlk aşamada farklı kayaç gurupları litoloji aranmaksızın analiz edilmiş, basit tek değişkenli regresyon analizde tek eksenli basınç direnci (UCS) bağımlı değişken, görünür porozite ve boyuna dalga hızı ayrı ayrı bağımsız değişken olarak alınmıştır. Test sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif üstel ilişki, görünür porozite ile negatif lineer ilişki belirlenmiştir. Ancak karbonatlı kayalarda düşük regresyon katsayıları ($R^2 = 0.55$ ve 0.20) litoloji ayırt edilmeksizin indeks ve dayanım özellikleri arasında bir ilişkinin aranmaması gerektiğini göstermektedir.

9. Bu nedenle çalışmada 4 farklı karbonatlı kayaca ait değerler ayrı olarak test edilmiştir. Onikslere ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif polinomal ilişki, tek eksenli basınç direnci ile görünür

porozite arasında ise negatif lineer ilişki belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.63 ve 0.82 olarak hesaplanmıştır. Özellikle UCS-görünür porozite arasındaki yüksek regresyon katsayısı, değerler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu kanıtlar.

Travertenlere ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif lineer ilişki, tek eksenli basınç direnci ile görünür porozite arasında ise negatif üstel ilişki belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.74 ve 0.78 olarak hesaplanmıştır. Her iki analizdeki yükseğe yakın regresyon katsayıları, değerler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Kırmızı kireçtaşlarına ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif lineer ilişki, tek eksenli basınç direnci ile görünür porozite arasında ise negatif polinomal ilişki belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.784 ve 0.783 olarak hesaplanmıştır. Her iki analizdeki yükseğe yakın regresyon katsayıları, değerler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Bej kireçtaşlarına ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı arasında pozitif lineer ilişki, tek eksenli basınç direnci ile görünür porozite arasında ise negatif polinomal ilişki belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.87 ve 0.75 olarak hesaplanmıştır. Her iki analizdeki yüksek regresyon katsayıları, değerler arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

10. Çalışmada gözlenen değer-hesaplanan değer grafikleri çizilmiş (Şekil 3.10), grafikler yorumlandığında görünür porozite ve boyuna dalga hızından elde edilen eğrilerin regresyon katsayısı bir olan eğriye yaklaşık olarak paralel olduğu görülmüştür. Bununla birlikte boyuna dalga hızından elde edilen verilere ait regresyon katsayısı değerleri 0.63 – 0.87 arasında, görünür poroziteden elde edilen verilere ait regresyon katsayısı değerleri 0.75 – 0.82 arasında değiştiği görülmüştür.

11. Çalışmada gözlenen (ölçülen) değer hesaplanan değer farklarından yüzde dağılım frekans histogramları çizilmiş, oniks ve travertenlere ait verilerin normal dağılım, kırmızı kireçtaşlarına ait verilerin normal dağılıma yakın bir dağılım gösterdiği, bej kireçtaşlarına ait verilerin ise normal dağılım göstermediği görülmüştür.

12. Tüm bu verilerden yola çıkarak, gerek çok yüksek olmayan regresyon katsayısı değerleri gerekse gözlenen (ölçülen) değer hesaplanan değer farkları yüzde dağılım frekans histogramlarının tam olarak normal dağılım göstermemeleri, çalışma konusu karbonat kayalar için tek eksenli basınç dayanımının tahmininde tek değişkenli regresyon analizlerinin tam olarak sağlıklı sonuçlar veremeyeceği sonucuna ortaya çıkarmaktadır. Bu

nedenle çalışmada bağımlı değişken üzerinde birden fazla bağımsız değişkenin toplu etkisini araştıran çoklu regresyon analizleri uygulanmıştır. Çalışmada, tek eksenli basınç dayanımı bağımlı, boyuna dalga hızı ve görünür porozite ise bağımsız değişken olarak alınmış ve kayaç grupları için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Analiz yapılırken SPSS 11 paket programı kullanılmıştır.

13. Çalışmada, tek eksenli basınç direnci bağımlı, boyuna dalga hızının görünür poroziteye oranı bağımsız değişken alınarak ta çoklu regresyon analizleri yapılmıştır.

Onikslere ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı/görünür porozite arasında pozitif logaritmik ilişki olduğu belirlenmiştir. Travertenlere ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı/görünür porozite arasında pozitif polinomal ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.84 ve 0.88 olarak hesaplanmıştır. Kırmızı kireçtaşı ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı/görünür porozite arasında pozitif polinomal ilişki olduğu belirlenmiştir. Bej kireçtaşlarına ait verilerin regresyon testi sonucunda tek eksenli basınç direnci ile boyuna dalga hızı/görünür porozite arasında pozitif lineer ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon katsayıları (R^2) kırmızı ve bej kireçtaşlarında 0.86 olarak hesaplanmıştır.

14. Regresyon analizinde belirlenen eşitliklerin doğruluğunu test etmek için gözlenen değer-hesaplanan değer grafikleri hazırlanmış ve regresyon katsayısının 1 olduğu doğru ile analiz sonucunda elde edilen doğru karşılaştırılmıştır. Çalışmada çizilmiş grafikler yorumlandığında analizler sonucunda çizilmiş doğruların regresyon katsayısı bir olan doğruya yaklaşık olarak paralel olduğu görülmüştür.

Onikslere, travertenlere, kırmızı kireçtaşlarına ve bej kireçtaşlarına ait verilerden elde edilen gözlenen değer-hesaplanan değer grafiklerine ait regresyon katsayıları değerleri sırasıyla 0.84, 0.88, 0.85 ve 0.82 olarak belirlenmiştir.

15. Kayaçların indeks özelliklerinden yararlanarak dayanım özelliklerinin tahminine yönelik çalışmaların çoğunda kayaçlar litolojilerine göre ayırt edilmeksizin eşitlikler üretilmiştir. Bununla birlikte birçok araştırma da düşük regresyon katsayı değerleri de dikkat çekmektedir. Bu çalışmada ise yüksek regresyon değerlerine ulaşılan kadar farklı regresyon analizleri uygulanmış, farklı kayaç grupları için farklı uygulamalar yapılmış, analizlerle fazla sayıda örnek kullanılmasına dikkat edilmiştir.

16. Sonuç olarak dört farklı litolojide yüksek regresyon katsayısına sahip eşitlikler elde edilerek bunlara ait grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerden yararlanarak boyuna dalga hızı ve görünür poroziteden yola çıkarak UCS tahmini kolaylaşmıştır.

5. KAYNAKLAR

- Alp, İ., Yılmaz, A.O., Arslan, M., Kolaylı, H. ve Er, M., 2005. Physical and Mechanical Properties of Gümüşhane and Bayburt (Turkey) Travertine and Onix Marble, Proceeding of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, 224-230.
- Arslan, M., Kolaylı, H., Temizel, İ., Çiftçi, E., Alp, İ., Yılmaz, A.O. ve Er, M., 2005. Petrography, Geochemistry and Formation Conditions of Gümüşhane and Bayburt a Area Travertine and Onyx Deposits, NE Turkey, Proceeding of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, Turkey, 171-176.
- ASTM., 1984. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Core Specimens. Soil and Rock, Building Stones: Annual Book of ASTM Standards 4.08. Philadelphia, Pennsylvania, ASTM.
- Aufmuth R.E., 1973. A Systematic Determination of Engineering Criteria for Rocks. Bull. Assoc. Eng. Geol. 11, 235– 245.
- Babacan, A. E., Gelişli, K. ve Ersoy, H., 2008. Ultrasonik Ölçümlerle Kayaçların Jeoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi, Türkiye 18. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ekim, Antalya, Bildiriler Kitabı: 1-4
- Baykal, A., F., 1952. Recherches Geologique Dans la Region de Kelkit-Şiran (NE de Anatolie), İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, Seri B, 289-304.
- Beverly B.E., Schoenwolf D.A. ve Brierly G.S., 1979. Correlations of Rock Index Values with Engineering Properties and The Classification of Intact Rock.
- Bieniawski, Z.T., 1974. Estimating The Strength of Rock Materials. Journal of South Africa Instutie Mining Metallurgie, 74, 312–320
- Bieniawski Z.T., 1975. Point Load Test In Geotechnical Practice. Eng. Geol. : 9,1, 1–11.
- Bradford, I.D.R., Fuller, J., Thompson, P.J. ve Walsgrove, T.R., 1998. Benefits of Assessing The Solids Production Risk in a North Sea Reservoir Using Elastoplastic Modeling, SPE/ISRM Eurock '98 held in Trondheim, Norway, July, Bildiriler Kitabı: 261–269.
- Broch E. ve Franklin J.A. (1972). Point-Load Strength Test. Int J Rock Mech. Min. Sci. 9, 669–97.
- CANMET., 1997a. Laboratory Classification Tests. In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 25, 31.

- CANMET., 1997b. Laboratory Classification Tests, In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 26, 74.
- Carmichael, R.S. 1982. Handbook of Physical Properties of Rocks, Volume II. CRC Press, Boca Raton.
- Cargill J.S. ve Shakoor A., 1990. Evaluation of Empirical Methods for Measuring The Uniaxial Compressive Strength. Int J. Rock Mech. Min. Sci. 27; 495–503.
- Chary, K.B., Sarma, L.P., Prasanna, K.J., Vijayakumar, N.A., Naga, V. ve Rao, S., 2006. Evaluation of Engineering Properties of Rock Using Ultrasonic Pulse Velocity and Uniaxial Compressive Strength, National Geophysical Research Institute, Indian Society for Non-Destructive Testing Hyderabad Chapter Proc. National Seminar on Non-Destructive Evaluation Dec., Hyderabad, 379-385.
- Chau K.T. ve Wong R.H.C., 1996. Uniaxial Compressive Strength and Point Load Strength. Int J. Rock Mech. Min. Sci. , 33, 183–188.
- D’Andrea D.V., Fisher R.L. ve Fogelson D.E., 1964. Prediction of Compression Strength from Other Rock Properties. Colo. Sch. Mines. Q., 59 4B, 623–40.
- Deere D.U. ve Miller R.P. 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock.. Air Force Weapons Lab. Tech. Report, AFWL-TR 65-116, Kirtland Base, New Mexico.
- Draper, N.R. ve Smith H. 1981 . Applied Regression Analysis (Second Edition), John Wiley and Sons, Inc., 211.
- Ersoy, H., 2001. Kalecik (Torul-Gümüşhane) Mineralli Sularının Hidrolojisi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ersoy, H., Dilek, R., Gültekin, F. ve Fırat Ersoy, A., 2005. Relationship Between Karstic Structures and Fault Systems in Kalecik (Torul-Gümüşhane), Proceeding of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, Turkey, 116-121.
- Forster I.R., 1983. The Influence of Core Sample Geometry on The Axial Point-Load Test. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 20, 291–295.
- Gardner, G.H.F., Gardner L.W. ve Gregory A.R., 1974. Formation Velocity and Density: The Diagnostic Basis for Stratigraphic Geophysics, 39, 770–80.
- Garbacz, A. ve Garboczi, E., 2003. Ultrasonic evaluation methods applicable to polymer concrete Composites, National Institute of Standards and Technology.
- Gaviglio P., 1989. Longitudinal Waves Propagation in a Limestone: The Relationship Between Velocity and Density. Rock Mech. Rock Eng. 22, 299–306.

- Ghose A.K. ve Chakraborti, S., 1986. Empirical Strength Indices of Indian Coals—An Investigation. Proceedings of 27th US Symp. on Rock Mechanics. Balkema, Rotterdam, 59–61.
- Gokceoglu C., 1996. Schmidt Sertlik Cekici Kullanilarak Tahmin Edilen Tek Eksenli Basinc Dayanimi Verilerinin Güvenilirliği Üzerine Bir Değerlendirme. Jeol. Muhendisligi, 48, 78 – 81. (In Turkish).
- Goktan R.M. 1988. Theoretical and Practical Analysis Of Rock Rippability. Ph.D. thesis, Istanbul Technical University.
- Grasso P., Xu S. ve Mahtab A., 1992. Problems and Promises of Index Testing of Rocks. In: Tillerson, Wawersik, editors. Rock Mechanics. Balkema, Rotterdam, ISBN 9054100451, 879–88.
- Gedik, İ., Kırmacı, Z., Çapkinoğlu, Ş., Özer, E. ve Eren, M., 1996, Doğu pontidlerin Jeolojik Gelişimi. K.T.Ü., Jeoloji Müh. Böl. 30. Yıl Dönümü, Trabzon, 654-667.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Gunsallus K. L. ve Kulhawy F. H., 1984. A Comparative Evaluation of Rock Strength Measures. Int J Rock Mech Min Sci., 21, 233–48.
- Haramy K.Y. ve DeMarco, M.J., 1985. Use of Schmidt Hammer for Rock and Coal Testing. 26th US Symp. on Rock Mechanics, June, Rapid City. Balkema, Rotterdam, 549–555.
- Hassani F.P., Scoble M.J. ve Whittaker B.N., 1980. Application of Point Load Index Test to Strength Determination of Rock and Proposals for New Size-Correction Chart. In: Proceedings of the 21st US Symposium on Rock Mechanics, Rolla, 543– 564.
- Howart D.F., Adamson W.R. ve Berndt J.R., 1986. Correlation of model tunnel boring and drilling machine performances with rock properties. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 23, 171.
- Hunt, R.E., 1986. Geotechnical Engineering Analysis and Foundation, McGraw-Hill Company, 729.
- Inoue M ve Ohomi M., 1981. Relation Between Uniaxial Compressive Strength and Elastic Wave Velocity of Soft Rock. In: Akai K, Mayashi M, Nishimatsu Y, editors. Proceedings of the International Symposium on Weak Rock, Tokyo, 9–13.
- ISRM. ISRM Suggested Methods, 1981. In: Brown, E.T.,editor. Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, New York, Pergamon Press, 211.

- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 22, 53-60.
- Jizba, D., 1991. Mechanical and Acoustical Properties of Sandstones and Shales, PhD Thesis, Stanford University, 234.
- Kahraman, S., 1996. The Reliability of Using Schmidt Hammer and Point Load Strength Test in Assessing Uniaxial Compressive Strength, In: Korkmaz S. ve Akcay, M. (Eds.), K.T.U. Department of Geological Engineering 30th Year Symposium Book. Trabzon, 362– 369.
- 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.
- Katz, O., Reches Z. ve Roegiers, J.C., 1999. Evaluation of Mechanical Rock Properties Using a Schmidt Hammer. *International J. Of Rock Mech. Min. Sci.*, 37, 723-728.
- Ketin, I., 1951. Über die Geologie der Gegend Von Bayburt in Wordost Antatolin, Rev. Fac. Sci. Univ. İstanbul, B 16, 113-122.
- Kılıç, A. M., Keskin, M. Ö., Kılıç, Ö. ve Tutuş, M., 2008. Çukurova Yöresi'nde Bulunan Bazı Mermerlere ait Fiziksel Özelliklerin İstatistiksel Açidan İlişkilerin Araştırılması, MERSEM Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, Afyonkarahisar, Bildiriler Kitabı: 373-379.
- Kidybinski A., 1968. Rebound Number and The Quality of Mine Roof Strata. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 5, 283–92.
- Li X, Rupert G, Summers D.A., Santi P. ve Liu D., 2000. Analysis of impact Hammer Rebound to Estimate Rock Drillability. *Rock Mech. Rock Eng.*, 33, 1–13.
- Moradian, Z. A. ve Behnia, M., 2009. Predicting the Uniaxial Compressive Strength and Static Young's Modulus of Intact Sedimentary Rocks Using the Ultrasonic Test, 2 *Int. J. Geomech.*, 9, 14-19.
- O'Rourke J.E., 1989. Rock Index Properties for Geoengineering in Underground Development. *Min. Eng.*, 106– 110.
- Poole R.W ve Farmer I.W., 1978. Geotechnical factors Acting on Tunneling Machine Performance in Coal Measures Rocks. *Tunnel Tunnelling*, 27–30.
- Read J.R.L., Thornten P.N. ve Regan W.M., 1980. A Rational Approach To The Point Load Test. In: *Proceedings Aust-N.Z. Geomechanics*, 2, 35–9.
- 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.

- Shorey P.R., Barat D., Das M.N., Mukherjee K.P. ve Singh B., 1984. Schmidt Hammer Rebound Data for Estimation of Large Scale In-Situ Coal Strength (Technical Note). Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech., 21, 39–42.
- Singh R.N., Hassani F.P. ve 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&M Univ., AEG. Balkema, Rotterdam, 599– 609.
- Özdemir, A., 2009a. Kalecik Travertenlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri ve Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özdemir, A., Ersoy, H. ve Yalçınalp, B., 2009b. Kalecik Travertenlerinin Jeolojisi ve Jeoteknik Özellikleri, Türkiye 21. Uluslar arası Madencilik Kongresi, Basılı Bildiriler Kitabı: 293-298.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidlerde Kretase: KTÜ Yerbilimleri Derg., 1, 2, T.S.E. 1975. Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini. UDK 622.02, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Teymen, A., 2005. Bazı Kayaçların Petrografik, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- T.S.E. 1987, Tabii Yapıtaşlarının Muayene ve Deney Metotları. TS 699, UDK 6912, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E. 1990, Kaya Mekaniği Deneyleri İçin Karot Numunelerinin Hazırlanması, Boyut ve Şekil Toleranslarının Tespiti. TS 8614, UDK 622.02.624.121, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tugrul A. ve Zarif, I.H., 1999. Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks from Turkey. Engineering Geology, 51, 303-317.
- Tüdeş, Ş., 2001. Gümüşhane Kenti ve Yakın Çevresinin Yerleşime Uygunluk Açısından Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Xu S., Grasso P. ve Mahtab A., 1990. Use of Schmidt hammer For Estimating Mechanical Properties Of Weak Rock. 6th Int.IAEG Congress. Balkema, Rotterdam, 511 – 519.
- Yılmaz, Y., 1974. Gümüşhane Granitinin Yerleşmesi, Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, TJK Yayını, Ankara, 485-490.
- Yenice, H., 2002. Bazı Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımları ile Diğer Malzeme Özellikleri Arasındaki İlişkiler, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 4, 65-71.

ÖZGEÇMİŞ

Derya KANIK 1982 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak'ta tamamlayarak 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2006 yılında Jeoloji Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisans eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk annesi olan Derya KANIK iyi derecede İngilizce bilmektedir.