

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ZAYIF DAYANIMLI KİREÇTAŞLARININ FARKLI SICAKLIKLAR  
ALTINDAKİ BASINÇ DAYANIMININ İĞNE BATMA DENEYİ İLE  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeoloji Müh. Nurcan TURAN**

**HAZİRAN 2016**  
**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ZAYIF DAYANIMLI KİREÇTAŞLARININ FARKLI SICAKLIKLAR  
ALTINDAKİ BASINÇ DAYANIMININ İĞNE BATMA DENEYİ İLE  
ARAŞTIRILMASI**

**Jeoloji Müh. Nurcan TURAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18.05.2016  
Tezin Savunma Tarihi : 03.06.2016**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aykut AKGÜN**

**Trabzon 2016**




**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında  
Nurcan TURAN Tarafından Hazırlanan**

**ZAYIF DAYANIMLI KİREÇTAŞLARININ FARKLI SICAKLIKLAR  
ALTINDAKİ BASINÇ DAYANIMININ İĞNE BATMA DENEYİ İLE  
ARAŞTIRILMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/05/2016 gün ve 1653 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

Başkan : Prof. Dr. Fikri BULUT :   
Üye : Doç. Dr. Aykut AKGÜN :   
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA : 

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde yapı taşı olarak kullanılan zayıf dayanımlı karbonat kayacı üzerinde öncelikli olarak iğne batma (NPI) yöntemi esas alınarak ultrasonik hız ve disk makaslama (BPI) deneyleri de uygulanarak kayacın dayanım özellikleri belirlenmiştir.

Çalışmamın tüm aşamalarında ve tamamlanmasında değerli bilgileriyle beni yönlendiren, yardımlarını ve önerilerini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Aykut AKGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmamın yürütülmesinde yanımda olan bilgi eleştirisi ve önerileriyle hiçbir yardımını esirgemeyen, Yrd. Doç. Dr. Kadir KARAMAN'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ve büro çalışmalarımda türlü yardımlarını gördüğüm Makine Yüksek Mühendisi Erdoğan TİMURKAYNAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her türlü desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan arkadaşım, Zeynep KARACA'ya, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca sevgi ve sabırlarıyla her zaman yanımda olan, maddi manevi her türlü desteklerini ve fedakârlıklarını esirgemeyen anne ve babam başta olmak üzere tüm aileme gönülden ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nurcan TURAN  
Trabzon, 2016

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Zayıf Dayanımlı Kireçtaşlarının Farklı Sıcaklıklar Altındaki Basınç Dayanımının İğne Batma Deneyi İle Araştırılması ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Aykut AKGÜN’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/06/2016

Nurcan TURAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	1
1.2. Coğrafi Konum.....	1
1.3. Çalışma Alanı Jeolojisi.....	2
1.4. Materyal ve Yöntem.....	5
1.4.1. İğne Batma Deneyi.....	5
1.5. Önceki Çalışmalar .....	7
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	9
2.1. Laboratuvar Çalışmaları .....	9
2.2. Numune Hazırlama .....	9
2.3. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	10
2.4. Disk Makaslama Deneyi .....	12
2.4.1. Numune Hazırlama .....	12
2.4.2. Deneyin Yapılışı.....	13
2.5. İğne Batma Deneyi.....	16
2.6. Ultrasonik Hız Deneyi.....	18
2.7. Sıcaklığın Dolaylı Olarak Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Hız Değerine Etkisi.....	20
2.7.1. 105 °C Sonrası Yapılan İşlemler .....	20
2.7.2. 200 °C Sonrası Yapılan İşlemler .....	22
2.7.3. 300 °C Sonrası Yapılan İşlemler .....	23
2.7.4. 400 °C Sonrası Yapılan İşlemler .....	24
2.7.5. 500 °C Sonrası Yapılan İşlemler .....	25

2.7.6.	600 °C Sonrası Yapılan İşlemler .....	26
2.7.7.	700 °C Sonrası Yapılan İşlemler .....	27
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER .....	30
3.1.	Petrografik ve Kimyasal Özellikler .....	30
3.2.	Deney Sonuçları ve Korelasyon Grafikleri .....	32
3.3.	İncelenen Örneklerin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları .....	34
3.3.1.	Sıcaklığın $\sigma_{ci}$ Üzerindeki Etkisi .....	34
3.3.2.	Sıcaklığın Ultrasonik Dalga Hızı ( $V_p$ ) Üzerindeki Etkisi .....	36
3.4.	$\sigma_{ci \text{ ort}}$ ve $V_{p \text{ ort}}$ Değerlerinin Tahmini Değerleriyle Karşılaştırılması .....	38
4.	SONUÇLAR .....	40
5.	KAYNAKLAR .....	42
	ÖZGEÇMİŞ .....	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ZAYIF DAYANIMLI KİREÇTAŞLARININ FARKLI SICAKLIKLAR ALTINDAKİ BASINÇ  
DAYANIMININ İĞNE BATMA DENEYİ İLE ARAŞTIRILMASI

Nurcan TURAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Aykut AKGÜN  
2016, 43 Sayfa

Bu tez çalışması kapsamında, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nden alınan zayıf dayanımlı kireçtaşlarının basınç dayanımının farklı sıcaklıklar altında iğne batma deneyi ile araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda farklı laboratuvar ortamlarında yapılan deneyler sonucu zayıf dayanımlı kireçtaşlarının basınç dayanımı belirlenmiştir.

Üzerinde çalışılan kayacın doğal yoğunluk değerleri 1,31-1,47 g/cm<sup>3</sup> ve birim hacim ağırlıkları 12,85-14,42 kN/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Ayrıca doğal ortamda yapılan disk makaslama deneyi aritmetik ortalaması 3,349 MPa olarak bulunmuştur. Ultrasonik hız deneyi yardımıyla bulunan  $V_p$  <sub>kuru</sub> değerleri 1174,11-1512,82 m/s,  $V_p$  <sub>doygun</sub> değerleri 1072,33-1417,60 m/s arasında, iğne batma deneyi yardımıyla bulunan  $\sigma_{ci}$  değerleri ise 1,85-3,03 MPa arasında değişmektedir. Giderek artan sıcaklıklara (105-700 C°) tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan ultrasonik hız deneyi yardımıyla bulunan  $V_p$  değerleri 173,50-1508,36 m/s arasında, iğne batma deneyi yardımıyla bulunan  $\sigma_{ci}$  değerleri de 1,30-3,51 MPa arasında değişmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İğne Batma Deneyi, Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Zayıf Kayaç.



Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF WEAK CARBONATE ROCKS  
UNDER DIFFERENT TEMPERATURES BY NEEDLE PENETRATION TEST

Nurcan TURAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geology Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Aykut AKGÜN  
2016, 43 Pages

In this thesis, investigation of compressive strength of weak limestones obtained from The Turkish Republic of Northern Cyprus under different temperatures by needle penetration test was aimed. In this context, compressive strength of the weak limestones was determined by laboratory tests conducted at different laboratory facilities.

The natural density values of the studied rocks are between 1,31 and 1,47 g/cm<sup>3</sup>, and unit weights are between 12,85 and 14,42 kN/m<sup>3</sup>. Additionally, average of the values obtained by block punch index test carried out under natural conditions was determined to be 3.349 MPa. The  $V_{p-dried}$  and  $V_{p-saturated}$  values determined by ultrasonic wave test are between 1174,11 m/s and 1512,82 m/s, respectively. The values obtained by needle penetration test are between 1.85 MPa and 3.03 MPa. The ultrasonic wave test results carried out on the gradually heated specimens (105-700 C<sup>0</sup>) were determined to be between 173.50 m/s and 1508.36 m/s, and the needle penetration test values were also determined to be between 1.30 and 3.51 MPa.

**Key Words:** Needle Penetration Test, Uniaxial Compressive Strength, Weak Rock Material.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	K.K.T.C.'nin pafta bölümlenmesi ..... 1
Şekil 2.	Çalışma bölgesinin genel jeoloji haritası ..... 3
Şekil 3.	Bölgenin stratigrafik kolon kesiti ..... 4
Şekil 4.	İğne batma deney cihazının bölümleri ..... 5
Şekil 5.	Tek eksenli basınç dayanımı ve iğne batma (penetrasyon) indeksi arasındaki ilişki ..... 6
Şekil 6.	(a) Kaya bloğundan karot alma işlemi ve (b) alınan karotlar ..... 9
Şekil 7.	(a) Karotların çap - boy ölçümü ve (b) hassas terazide tartılması ..... 11
Şekil 8.	(a) Disk makaslama deneyi için numune kesimi ve (b) elde edilen numuneler ..... 13
Şekil 9.	(a) Disk makaslama deneyi aleti ve (b) yükleme işlemi ..... 14
Şekil 10.	Deney sonucu örneklerdeki düzenli ve düzensiz yenilme ..... 15
Şekil 11.	(a) Disk makaslama deneyi öncesi ve (b) sonrası disk şekilli numunelerdeki değişim ..... 16
Şekil 12.	Karot numunesine iğne batma penetrasyon deneyinin uygulanması ..... 17
Şekil 13.	(a) Ultrasonik hız deney aleti ve (b) numuneye uygulanması ..... 18
Şekil 14.	(a) Karot numunelerinin etüvde kurutulması ve (b) saf suda bekletilmesi ..... 19
Şekil 15.	105 °C sonrası yapılan iğne penetrasyon deneyi ..... 21
Şekil 16.	(a) 105 °C sonrası görüntü ve (b) ultrasonik hız deneyinin yapılışı ..... 21
Şekil 17.	200 °C sonrasında karotların görünümü ..... 22
Şekil 18.	300 °C sonrasında karotların görünümü ..... 23
Şekil 19.	400 °C sonrasında karotların görünümü ..... 24
Şekil 20.	500 °C sonrasında karotların görünümü ..... 25
Şekil 21.	600 °C sonrasında karotların görünümü ..... 26
Şekil 22.	700 °C sonrasında karotların görünümü ..... 28
Şekil 23.	Tüm sıcaklıklar sonunda yapılan deneyler sonrasında karotların görünümü ..... 29
Şekil 24.	Kayacın ince kesit görüntüsü ..... 31
Şekil 25.	Birim hacim ağırlık ( $\gamma_n$ ) ve boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) arasındaki ilişki ..... 33
Şekil 26.	Birim hacim ağırlığın ( $\gamma_n$ ), tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve porozite ( $n_q$ ) ile ilişkisi ..... 33
Şekil 27.	$V_p$ (kuru)'nun, $V_p$ (doygun) ve tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ile ilişkisi ..... 33

Şekil 28.	$V_p$ (doygun)'nun, tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve porozite ( $n_q$ ) ile ilişkisi .....	34
Şekil 29.	Porozite ( $n_q$ ) ve tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) arasındaki ilişki .....	34
Şekil 30.	Artan sıcaklığa bağlı olarak $\sigma_{ci}$ değişimi.....	35
Şekil 31.	Her sıcaklık için $\sigma_{ci}$ ortalama değerleri karşılaştırılması.....	36
Şekil 32.	Artan sıcaklığa bağlı olarak $V_p$ değişimi.....	37
Şekil 33.	Her sıcaklık için $V_p$ dalga hızı ortalama değerleri karşılaştırılması.....	37
Şekil 34.	$\sigma_{ci\ ort}$ değerlerinin tahmini değerleri ve sıcaklıkla ilişkisi .....	38
Şekil 35.	$V_{p\ ort}$ değerlerinin tahmini değerleri ve sıcaklıkla ilişkisi.....	39



## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	Karot numunelerinin doğal yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri..... 11
Tablo 2.	Disk makaslama deneyi sonuçları ..... 15
Tablo 3.	İğne batma deneyiyle dolaylı olarak belirlenen tek eksenli basınç dayanımı değerleri..... 17
Tablo 4.	Karot numunelerinin kuru ve doymuş hallerdeki boyuna dalga hızları..... 19
Tablo 5.	Pearson korelasyon katsayısına göre değişkenler arası ilişkinin sınıflandırılması..... 20
Tablo 6.	105 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları..... 21
Tablo 7.	200 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları..... 23
Tablo 8.	300 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları..... 24
Tablo 9.	400 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları..... 25
Tablo 10.	500 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları..... 26
Tablo 11.	600 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları..... 27
Tablo 12.	700 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları..... 28
Tablo 13.	Kayaca ait ana oksit bileşen analizi sonuçları ..... 31
Tablo 14.	Oda sıcaklığında karot numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları..... 32

## SEMBOLLER DİZİNİ

<b><u>Semboller</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
°C	: Derece
D	: Karot çapı
d	: Yoğunluk
F	: Kuvvet
g	: Gram
$\gamma$	: Birim hacim ağırlık
km	: Kilometre
km <sup>2</sup>	: Kilometre kare
L	: Karot boyu
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
m/s	: Metre / saniye
$\mu$ s	: Mikrosaniye
N	: Newton
$\sigma_c$	: Tek eksenli basınç dayanımı
T	: P dalgasının ölçülen yayılma zamanı
V	: Numune hacmi
V <sub>p</sub>	: P dalgasının yayılma hızı
V <sub>p (doğgun)</sub>	: Doğgun numunenin P dalga hızı
V <sub>p (kuru)</sub>	: Kuru numunenin P dalga hızı

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
BPI	: Disk makaslama indeksi
DNPR	: Dinamik iğne batma direnci
ISRM	: Uluslararası kaya mekaniği birliği
NPI	: İğne batma indeksi
NPR	: İğne batma direnci

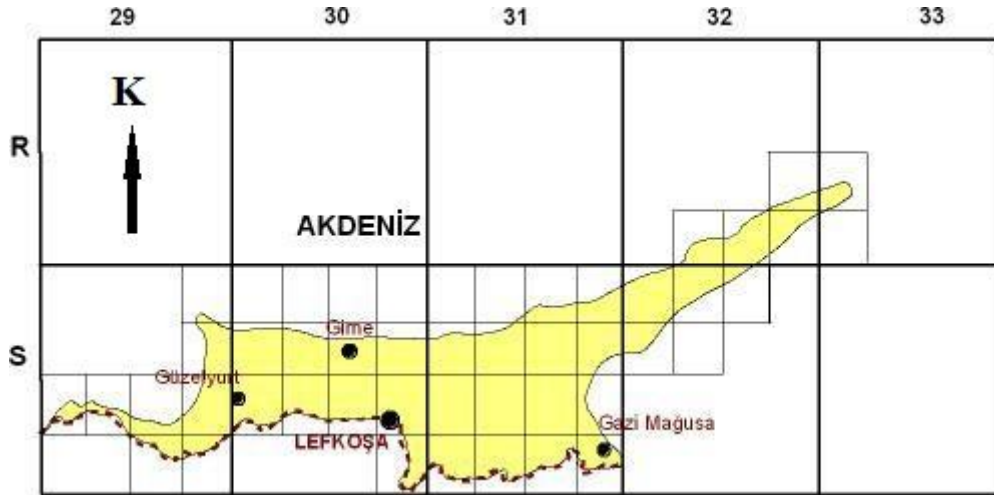
## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Zayıf dayanımlı kireçtaşlarının farklı sıcaklıklar altında basınç dayanımının araştırılmasını konu alan bu çalışmada, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde yüzeyleme veren ve yapı taşı olarak kullanılan Geç Miyosen yaşlı biyomikritik kireçtaşı numuneleri üzerinde farklı sıcaklık koşulları altında dayanım özelliklerindeki değişimlerin iğne batma deneyi yardımıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. İğne batma deneyinin yanısıra, disk makaslama indeksi ve boyuna dalga hızı deneyleri de uygulanmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak anlamlı sonuçların varlığı araştırılmıştır.

### 1.2. Coğrafi Konum

Kıbrıs adası; Doğu Akdeniz'de 30.33 ve 35.41 enlemleri ile 32.23 ve 35.55 boylamları arasında yer alır. Türkiye'den 70 km, Suriye'den 96 km uzaklıkta, 9251 km<sup>2</sup> yüzölçümüyle Sicilya ve Sardunya'dan sonra Akdeniz'in üçüncü büyük adasıdır.

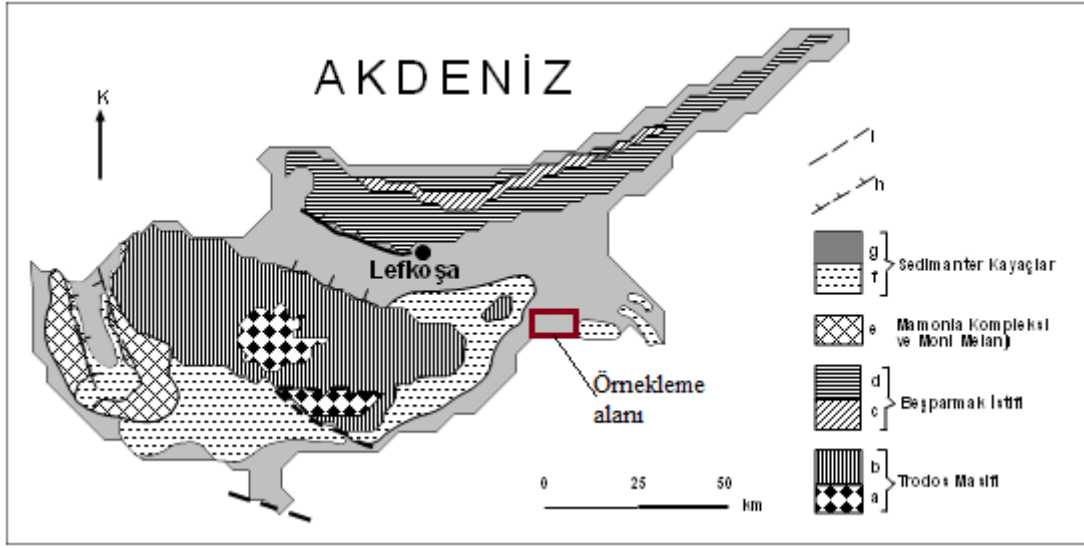


Şekil 1. K.K.T.C.'nin pafta bölümlemesi (Hakyemez 2004).

Ada morfolojik olarak üç farklı birime ayrılır. Bunlardan ilki adanın kuzeyinde kıyıya paralel olarak 160 km uzanan, 8-11 km genişlikte, batıdan doğuya doğru gidildikçe alçalan, batıda en yüksek yeri olan Selvili Tepe'de 1017 m'ye ulaşan ve beş tepeli görünümünden dolayı Beşparmak Dağları olarak adlandırılan dağ sırasındır. Adanın ikinci morfolojik birimini Güzelyurt ve Larnaka körfezleri arasında çekilen bir hattın güneyinde yer alan, batı kıyılarından başlayarak güneydoğuya doğru 80 km boyunca uzanan Trodos Dağları oluşturur. Lefke batısındaki saha dışında hemen tamamı Güney Kıbrıs'ta kalan ve adanın en yüksek bölgelerini içeren Trodos Dağları'nın yüksekliği Olympos Tepesi'nde 1951 m'ye ulaşır. Üçüncü morfolojik birim Beşparmak ve Trodos Dağları arasında yer alan, batıda Güzelyurt ile doğuda Gazi Mağusa körfezleri arasında yaklaşık 90 km uzanan Mesarya Ovası'dır.

### **1.3. Çalışma Alanı Jeolojisi**

Üzerinde çalışılan kayaç; sığ denizel kireçtaşlarından oluşan, Wilson ve Ingham (1959) tarafından Geç Miyosen yaşlı Koronia Kireçtaşı olarak ayırtlanmış, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından 2002'de 'Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Jeolojisi'adı altında hazırlanan raporda Orta(?) -Geç(?) Miyosen yaşlı olarak kabul edilen Lefke kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Birim, sığ denizel ve yer yer resifal kireçtaşlarından oluşur. Kireçtaşları beyaz, gri, pembe renkli, bol kırıklı, kavkılı, ince-orta taneli, yer yer breşik ve blokludur. Yersel olarak alt kesimlerinde daha yaşlı birimlere ait çakıllar içeren seviyeler raporlanmıştır. Birim; bol mercan, alg, gastropod, pelesipod ve bentik foraminifer içerir.



Şekil 2. Çalışma bölgesinin genel jeoloji haritası (Hakyemez 2004).

Bu çalışmada üzerinde çalışılan kaya numuneleri de Lefke Formasyonu'na aittir.



SERİ / KAT	MIYOSEN	OLİGOSEN	PALEOSEN - EOSEN	MAASTRIHTİYEN	KAMPANIYEN	TURONİYEN- KAMPANIYEN	TRODOS	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR (Ölçeksiz)
GRUP	LEFKARA	LEFKARA	LEFKARA	LEFKARA	LEFKARA	LEFKARA	LEFKARA		
FORMASYON	PAHNA	ÜST LEFKARA	ORTA LEFKARA	A. LEFKARA	KANNA	PERA:			
KALINLIK (m)	LEFKE								
	70	200	200	0-40	0-100	0-25 0-30			Resifal kireçtaşı
	20-40								Tebeşir, kumtaşı, silttaşı
									Marn, tebeşir
									Masif tebeşir
									Tebeşir ve tabakalı çört
									Pembe-beyaz, ince tabakalı, çörsüz marn
									İllit-montmorillonit killeri
									Radyolaryalı çamurtaşı (0-25m)
									Umber (0-30 m)
									Yastık lavlar

Şekil 3. Bölgenin stratigrafik kolon kesiti (Hakyemez 2004).

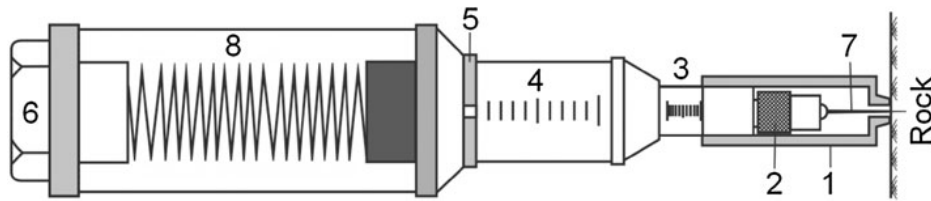
## 1.4. Materyal ve Yöntem

İnceleme materyalini Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde yapı malzemesi olarak kullanılan “Sarı Taş” veya “Buri Taşı” olarak da bilinen ve Miyosen yaşlı tortul istif içinde bir fasiyes olarak yer alan biyomikritik kireçtaşı örnekleri (Lefke kireçtaşı) oluşturmaktadır. Kullanılan yöntemler arasında son yıllarda sıkça tercih edilen uygulaması kolay, zaman tasarrufu sağlayan iğne batma deneyi (NPI), disk makaslama deneyi (BPI) ve ultrasonik hız deneyi yöntemleridir.

### 1.4.1. İğne Batma Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı, kayaların sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Ancak, bu özelliğin tayini yumuşak ve zayıf dayanımlı kaya türlerinde kolay olmamaktadır. Bu sorunun çözümü için yumuşak ve kolay kazılabilir kaya türlerinde tek eksenli basınç dayanımının dolaylı olarak belirlenebilmesi için iğne penetrometresi adı verilen alet geliştirilmiştir. İğne penetrometresiyle iğne batma (penetrasyon) direnci ölçülmektedir.

Bu yöntem sayesinde, zayıf ve yumuşak kayaların dayanım özelliği belirlenmektedir. Arazide örnek almadan doğrudan zayıf ve yumuşak kaya yüzeylerine uygulanacağı gibi laboratuvar da kaya numuneleri üzerinde de yapılabilir. Cihazın genel görünümü Şekil 4’te verilmiştir. Aletin batma direnci ölçeği 10 N’luk bölümler şeklinde 10 ila 100 N arasında değişmektedir. 700 g ağırlığındaki aletin çapı 40 mm, uzunluğu 285 mm’dir. Deney öncesi iğnenin uygulanacağı yüzeyin temizlenmiş olmasına dikkat edilerek ölçümler yapılır.



Şekil 4. İğne batma deney cihazının bölümleri

(1: itki ünitesi, 2: iğne sabitleme başlığı, 3: batma ölçeği, 4: yük ölçeği, 5: yük göstergesi halkası, 6: yedek iğne haznesi kapağı, 7: iğne, 8: yay)

Zayıf – yumuşak ve doymun kayalar için iğne batma derinliği en fazla 10 mm'dir. Maksimum batma derinliğine ulaşıldıktan sonra iğne yavaş yavaş geri çekilerek karşılık gelen yük değeri okunur ve hesaplama yapılır.

Maximum batma derinliği (D) = 10 mm

Yük değeri (F) < 100 N

İğne batma indeksi = F / 10 (1)

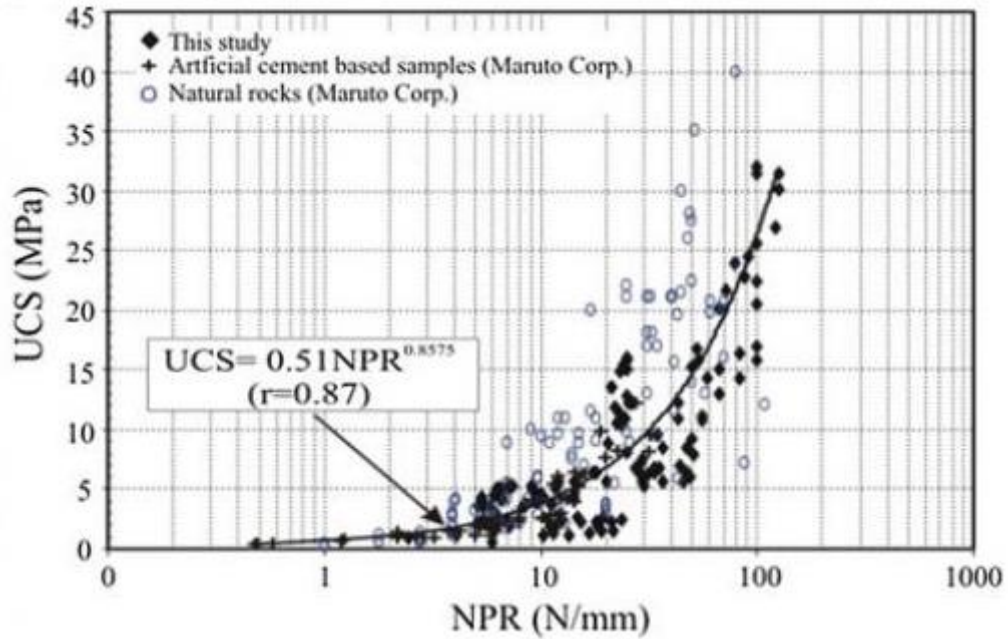
Ayrıca kaya sert ve 10 mm'lik batma miktarı gerçekleşmeden önce batma kuvveti 100 N'a ulaşmışsa, deneye devam edilmemelidir. 100 N'a ulaştığı andaki batma derinliği değeri göz önüne alınır ve ona göre hesaplama yapılır.

Yük değeri (F) = 100 N

Batma derinliği (D) ≤ 10 mm

İğne batma indeksi = 100 / D (2)

Yapılan hesaplamalardan dolayı olarak tek eksenli basınç dayanımını bulmak için Ergüler ve Ulusay (2007) tarafından önerilen grafikten yararlanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanımı ve iğne batma (penetrasyon) indeksi arasındaki ilişki (Ergüler ve Ulusay, 2007).

## 1.5. Önceki Çalışmalar

Andriani ve Walsh, (2002), sedimanter kayaçların çimento ve matris içeriğinin, porozitenin, şeklin ve boyutun petrofiziksel ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediğini ele almıştır.

Leucci ve Giorgi, (2006), kaya kütle parametreleri ve sismik özellikleri arasındaki ilişkileri, kırıklarda boyuna (P) ve enine (S) dalga hızları artışını araştıran laboratuvarında yapılan deneysel çalışmaları ele almıştır.

Ioannou vd., (2009), Vuggy kireçtaşının su ve etanol ortamlarındaki davranışını test etmiştir.

Dal, (2010), çalışmasında kullanılan taşların öncelikli olarak oluşabilecek mekanik deformasyonlar, aşınma, ısı, su, nem, güneş ve atmosfer etkilerinin sayısal değerlerinin kullanılabilirlik limitleri içinde olduğu görüldükten sonra kullanılması gerektiğini vurgulamıştır.

Ngan-Tillard vd., (2011), iğne batma testini zayıf ve çok zayıf kalkarenitlerden karbonat kumlarını ayırt etmek için kullanmıştır. Maastrichtian kireçtaşları için UCS ( tek eksenli basınç dayanımı ) ve NPR ( iğne penetrasyon direnci ) arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir.

Ziyaettin ve Tanaçan, (2011), Kıbrıs koşullarında kullanılmakta olan Karpaz, Meluşa ve Buri taşlarının yapıda kullanılabilirliğinin, dayanıklılığının ve hizmet ömrünün artırılması olanaklarını araştırmıştır. Alınan numunelerin kireçtaşı olduğu, hava kirliliği ve atmosferik etkiler sonucunda fiziko-kimyasal bir bozulmaya uğradığı belirlenmiştir. Ayrıca, kimyasal uygulanan numunelerin, yapılan eskitme deneylerinden kimyasal uygulanmayan numunelere göre daha az etkilendikleri görülmüştür.

Azadan ve Ahangari, (2014), zayıf çökel kayaçların mekanik özelliklerini incelemiş almış oldukları 65 farklı örnek üzerinde DNPR (dinamik iğne penetrasyon direnci) ve UCS testleri yapıp aralarındaki ilişkiyi incelemiştir.

Ulusay vd., (2013), kayaçların yapı ve kararlılıklarının değerlendirilmesi için sağlam kayaçların mekanik özelliklerinin tahmini gerekli olduğundan hazırlanan örnekler üzerinde NPI (iğne batma indeksi) değerlerini belirlemiştir. NPI değerleriyle kayaçların UCS değerleri de tahmin etmiştir.

Vasanelli vd., (2013), yumuşak, zayıf dayanımlı kayaçlar üzerinde ultrasonik hız, schmidt çekici, basınç dayanımı testleri yapmıştır.

Brotons vd., (2014), İspanya’da tarihi yapılarda ana malzeme olarak kullanılan San Julián’s taşının farklı sıcaklıklarda ısıtılıp statik ve dinamik modülleri arasındaki ilişkilerden bahsetmiştir.



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışmanın amacı için yapılan ön çalışmalar sonucu, kayacın normal (doğal) ortamda ve farklı sıcaklıklara tabi tutulduktan sonra dayanım özelliklerinin nasıl değiştiğinin belirlenmesi amacıyla farklı laboratuvarların deney olanaklarından yararlanılmıştır. Farklı sıcaklıklara tabi tutulan kayacın dayanım özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı, Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarından yararlanılmıştır.

### 2.2. Numune Hazırlama

Bu kapsamda biyomikritik kireçtaşı üzerinde yapılacak olan deneyler için karot numuneleri ISRM (2007)'ye göre hazırlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. (a) Kaya bloğundan karot alma işlemi ve (b) alınan karotlar

### 2.3. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Karot numunelerinin çapı (D) ve boyu (L), kompasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülmüş ve bunların ortalaması alınmıştır. Silindirik numunenin boy ve çap değerlerinden faydalanılarak numunelerin hacim değerleri hesaplanmıştır. Numunenin kütlesi 0,01 gr hassaslıktaki terazide tartılmıştır (Şekil 7). Bu ölçümler için ISRM (2007)'de önerilen yöntemler dikkate alınmıştır.

Belirlenen değerlerden faydalanarak, her numunenin yoğunluğu (d) ve birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır.

$$d = m / V \quad (3)$$

$$\gamma = 9,81 d \quad (4)$$

$$V = (D / 2)^2 \pi L \quad (5)$$

Burada;

d: Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )

$\gamma$  : Birim hacim ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ )

V : Numunenin hacmi ( $\text{cm}^3$ )

D : Karot çapı (mm)

L : Karot boyu (mm)

m : Kütle (g) değerlerini göstermektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen doğal yoğunluk ve doğal birim hacim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 7. (a) Karotların çap - boy ölçümü ve (b) hassas terazide tartılması

Tablo 1. Karot numunelerinin doğal yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri

Numune No	Doğal kütle (g)	Doğal yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Doğal birim hacim ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ )
K-1	269,63	1,36	13,34
K-2	277,37	1,40	13,73
K-3	269,85	1,38	13,54
K-4	254,81	1,31	12,85
K-5	293,52	1,46	14,32
K-6	279,39	1,39	13,64
K-7	266,06	1,35	13,24
K-8	293,51	1,47	14,42
K-9	263,30	1,35	13,24
K-10	291,90	1,45	14,22
K-11	260,63	1,34	13,15
K-12	255,83	,34	13,15
K-13	263,55	1,31	12,85
K-14	273,43	1,38	13,54
K-15	208,73	1,37	13,44



## 2.4. Disk Makaslama Deneyi

Bu deney; standartlara uygun şekilde numune hazırlanamayan ve özellikle zayıf, kırıklı ve içerdiği sık aralıklı süreksizlikler nedeniyle dilimler halinde ayrılabilen kayalardan hazırlanmış disk şeklindeki numunelerin disk makaslama indeksi (BPI) değerinin belirlenmesiyle dolaylı olarak tek eksenli basınç dayanımının saptanmasında kullanılır (Kantarcı 2009).

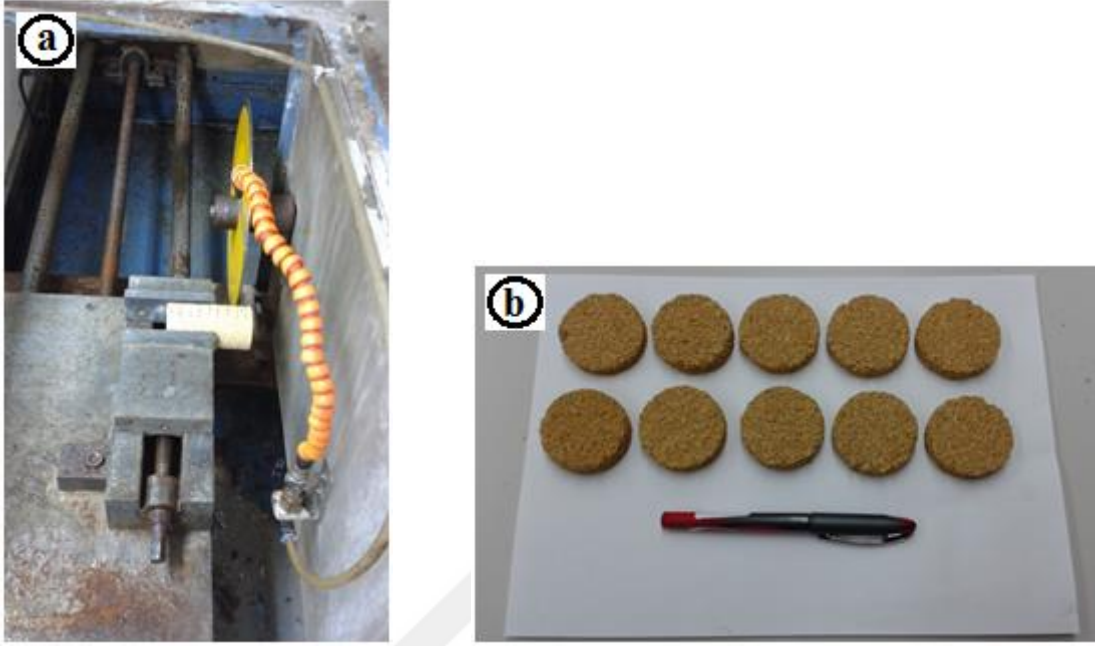
Kaya malzemesi dayanımı, özellikle tek eksenli sıkışma dayanımı, kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde ve değişik türde kaya mühendisliği tasarımlarında önemli bir değişkendir. Dayanımın tayini için standartların veya önerilmiş yöntemlerin önerdiği boyutlarda silindirik numunelerin hazırlanması gerekmektedir. Ancak kayaların sık aralıklı tabakalanma, lamina, şistozite yüzeyi vb. gibi süreksizliklerle bölünmüş olması halinde, dayanım deneyleri ve hatta nokta yükleme deneyi için bile uygun boyutlarda numune hazırlanamamaktadır.

Yukarıda belirtilen numune hazırlamayla ilgili güçlük ve sınırlamaları giderebilecek ve daha küçük numunelerin kullanılabilceği indeks deneyler her zaman ilgi çekici olmuştur.

Bu amaçla, Hollanda'nın Delft Üniversitesi'nde yapılan bir düzenekle DMİ deneyi ilk kez gündeme gelmiştir (van der Schrier,1988). Ancak ince disk şeklindeki numunelerin kullanıldığı bu araştırmada, az sayıda kaya türü üzerinde çalışılmıştır.

### 2.4.1. Numune Hazırlama

Laboratuvarda kaya bloklarından karot alma makinesiyle alınmış karotlardan kalınlığı 10 ile 11 mm ve çapları da 45 ile 47 mm arasında değişen disk şekilli numuneler hazırlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. (a) Disk makaslama deneyi için numune kesimi ve (b) elde edilen numuneler

Numunelerin alt ve üst yüzeylerinin mümkün olduğunca birbirlerine paralel ve yan yüzeylerinin çıkıntılardan arındırılmış olmasına dikkat edilmelidir. Gerekirse, aşındırma diski kullanılarak yüzeyler düzlenmeli ve birbirlerine paralel hale getirilmelidir.

Numunelerin üst yüzeyi ile disk makaslama bloğu arasına herhangi bir plaka konulmamalıdır. Numunelerin çapları ( $D$ ) ve kalınlıkları ( $t$ ) birbirine dik iki yönde ve 0,1 mm duyarlılıkla ölçülerek, bu değerlerin ortalamaları çap ve kalınlık olarak deney formuna kaydedilmelidir.

#### 2.4.2. Deneyin Yapılışı

Numune, nokta yükleme dayanım indeksi deney aletine monte edilmiş olan disk makaslama düzeneğinin alt tablası ile sabitleme plakalarının arasına ortalanarak yerleştirilmiştir. Daha sonra metal kelepçeler örneğe temas ettirildikten sonra vidalar sıkıştırılıp numune sabitlenmiştir.

Numune, nokta yükleme dayanım indeksi deneyi için ISRM (2007) tarafından önerildiği gibi, 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde nokta yükleme aletinin pompasının kolu yavaşça hareket ettirilerek yüklenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. (a) Disk makaslama deneyi aleti ve (b) yükleme işlemi

Deneyin geçerli olabilmesi için, yükleme sonucunda numunenin, deney düzeneğinin yükleme başlığının kenarlarına paralel şekilde ve düzgün biçimde üç parçaya ayrılması gerekir (Şekil 10). Deneyin bu şekilde sonuçlanması halinde, yenilme anında herhangi bir  $D$  çapında ve  $t$  kalınlığındaki numuneye uygulanan kuvvet ( $F_{t,D}$ ) yük göstergesinden okunarak kaydedilir. Eğer numune, yukarıda belirtilen şekilde bir yenilmeye maruz kalmak yerine, paralel kırıklar gelişmeksizin düzensiz bir yenilme gösterirse deney iptal edilir.

Nokta yükleme deneyinde olduğu gibi, bu deneyde de standart bir çap ve kalınlık esas alınmakta ve çap ile kalınlık için boyut düzeltmesi yapılmaktadır. Standart çap ( $D$ ) 50 mm, kalınlık ( $t$ ) ise 10 mm'dir. Düzeltilmiş BPI değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla ve MPa birimi cinsinden hesaplanmıştır.

$$BPI_c = 3499D^{-1,3926} t^{-1,1265} F_{t,D} \quad (6)$$

Burada;

$D$  : çap (mm)

$t$  : kalınlık (mm)

$F_{t,D}$  : standart boyutta olmayan herhangi bir örneğe yenilme anında uygulanan yük (kN) değerlerini göstermektedir.

Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) ve disk makaslama indeksi (BPI) arasında çok yüksek bir korelasyon katsayısına sahip doğrusal bir ilişki olup, aşağıdaki eşitlik yardımıyla BPI,  $\sigma_{ci}$  değerinden itibaren dolaylı olarak hesaplanabilmektedir. (Ulusay vd., 2001).

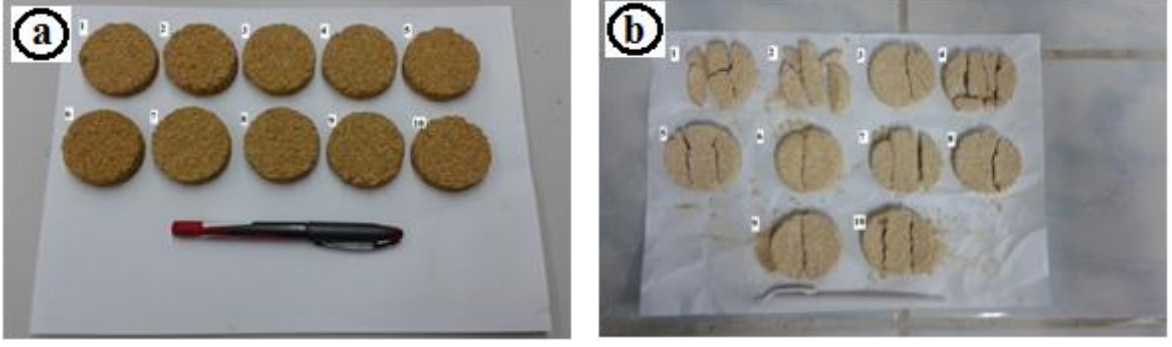
$$\sigma_{ci} = 5,1 \text{ BPI}_c \quad (7)$$



Şekil 10. Deney sonucu örneklerdeki düzenli ve düzensiz yenilme

Tablo 2. Disk makaslama deneyi sonuçları

Deney no	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Yenilme yükü (kN)	BPI <sub>c</sub> (MPa)	$\sigma_{ci}$ (MPa)
1	11	47	0,6	0,66	3,366
2	10	45	0,5	0,65	3,315
3	11	45	0,75	0,88	4,488
4	11	47	0,45	0,5	2,55
5	10	46	0,6	0,76	3,876
6	10	45	0,7	0,91	4,641
7	10	46	0,4	0,51	2,601
8	10	45	0,5	0,65	3,315
9	10	45	0,9	1,17	5,967
10	11	45	0,6	0,7	3,57



Şekil 11. (a) Disk makaslama deneyi öncesi ve (b) sonrası disk şekilli numunelerdeki değişim

Şekil 11’de görüldüğü gibi yapılan disk makaslama deneyi sonucu numuneler düzenli ve düzensiz olarak yenilmişlerdir. Standartlar gereği düzenli yenilme gösteren numuneler (5, 7, 10) dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Buna göre düzenli yenilme gösteren numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerinin aritmetik ortalaması 3,349 MPa olarak hesaplanmıştır.

## 2.5. İğne Batma Deneyi

Alınan karot numuneleri üzerinde dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımını belirlemek için iğne batma (penetrasyon) deneyi yapılmıştır (Şekil 12). Belirlenen iğne penetrasyon direnci (NPI) değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemek için Ergüler ve Ulusay (2007) tarafından önerilen ilişkiden yararlanılmıştır.

$$NPI = F / D \quad (8)$$

$$\sigma_{ci} = 0.51 NPI^{0.8575} \quad (9)$$



Şekil 12. Karot numunesine iğne batma penetrasyon deneyinin uygulanması

Tablo 3. İğne batma deneyiyle dolaylı olarak belirlenen tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Numune No	İğne Batma Direnci (N/mm)	$\sigma_{ci}$ (MPa)
K-1	60/10	2,37
K-2	50/10	2,02
K-3	70/10	2,70
K-4	45/10	1,85
K-5	80/10	3,03
K-6	50/10	2,02
K-7	60/10	2,37
K-8	70/10	2,70
K-9	60/10	2,37
K-10	50/10	2,02
K-11	45/10	1,85
K-12	70/10	2,70
K-13	80/10	3,03
K-14	70/10	2,70
K-15	70/10	2,70

## 2.6. Ultrasonik Hız Deneyi

Ultrasonik yöntem 1945'den bu yana hayli gelişme kaydetmiş hasarsız bir deney yöntemidir. Yöntem; kayaç içerisinde geçirilen ultrasonik dalga boyu hızının ölçülmesi esasına dayanır. Bu yöntem kullanılarak, ölçümler; dayanım deneylerinden daha pratik, ekonomik, hızlı ve en önemlisi yerindeki kayaç üzerinde doğrudan doğruya yapılabilmektedir (Altuğ 2012).

Numunelerin yüksek sıcaklığa bağlı bozunum dereceleri, ultrasonik ölçüm (Pundit Plus) aleti kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 13). Ölçümlerde 54 kHz'lik transdüserler kullanılmıştır. Sinyal puls süreleri ise 0,1 µs olarak seçilmiştir.

Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç gereç; sinyal üretici ve elektronik sinyalleri mekanik sinyallere dönüştüren gönderici ile mekanik sinyalleri elektrik sinyallerine dönüştürücü alıcı ve dijital göstergeden oluşan deney aleti ve jel kullanılmıştır. Bu deney, ISRM (2007) deney standartları gözetilerek yapılmıştır.

Deney cihazı kendine ait kalibre aparatı yardımıyla kalibre edilir. Numunenin alt ve üst yüzeyleri ile aletin gönderici ve alıcıları arasındaki temasın artırılarak tam temas sağlamak için numunelerinin tabanlarına ince bir şekilde jel sürülmüştür. Sonra cihazın dijital göstergesinden  $P$  - Dalgasının örnekten geçiş süresi mikro saniye (µs) olarak ölçülmüştür (Şekil 13). Ölçülen bu değerler aşağıda verilen eşitliklerde yerine konarak numunelerin  $P$  dalga hızı ( $V_p$ ) değeri hesaplanmıştır.

$$V_p = L / T \quad (10)$$

Burada;

$V_p$ : elastik ses dalgasının boyuna yayılma hızı (m/s)

$T$ :  $P$  dalgasının ölçülen yayılma zamanı (µs) göstermektedir.



Şekil 13. (a) Ultrasonik hız deney aleti ve (b) numuneye uygulanması

Kayacın kuru ve doymun hallerdeki boyuna dalga hızları arasındaki ilişkiyi görmek amaçlı olarak iki aşamada ultrasonik hız deneyi yapılmıştır. Doğal haldeki karot numuneleri ilk olarak 24 saat etüvde kurutulup boyuna dalga hızları ( $V_p$  kuru) bulunmuştur. Daha sonra aynı karot numuneleri 24 saat saf suda bekletilerek doymun hale getirilip bu durumda boyuna dalga hızları ( $V_p$  doymun) bulunmuştur (Şekil 14).



Şekil 14. (a) Karot numunelerinin etüvde kurutulması ve (b) saf suda bekletilmesi

Tablo 4. Karot numunelerinin kuru ve doymun hallerdeki boyuna dalga hızları

Numune No	27.11.2015 Kuru Kütle (g)	Geçiş Süresi (kuru) ( $\mu$ s)	$V_p$ (kuru) (m/s)	02.12.2015 Doymun Kütle (g)	Geçiş Süresi (doymun) ( $\mu$ s)	$V_p$ (doymun) (m/s)
K-1	267,80	74,9	1512,82	325,66	94,1	1204,14
K-2	266,37	76,7	1467,53	324,84	94,6	1189,85
K-3	258,44	79,7	1403,39	318,18	102,2	1094,42
K-4	265,55	75,3	1486,32	323,73	79,2	1413,13
K-5	269,85	87,3	1290,84	332,38	95,0	1186,21
K-6	263,80	95,8	1174,11	327,46	101,8	1104,91
K-7	261,16	79,3	1419,17	321,64	83,0	1355,90
K-8	263,82	79,4	1416,75	326,74	99,1	1135,12
K-9	259,39	77,1	1448,25	318,87	92,6	1205,83
K-10	268,61	76,8	1457,03	331,11	81,8	1367,97
K-11	252,91	83,8	1332,10	315,52	104,1	1072,33
K-12	256,33	76,1	1454,66	314,95	80,3	1378,58
K-13	269,99	77,1	1470,04	330,27	92,4	1226,62
K-14	263,50	75,4	1485,41	323,85	94,1	1190,22
K-15	270,53	74,5	1491,81	332,34	78,4	1417,60



Elde edilen sonuçlara göre korelasyon tabloları oluşturulmuş ve Özdamar (2009)'un Pearson korelasyon katsayısına göre değişkenler tablosu (Tablo 5) doğrultusunda Bölüm 3'te yorumlaması yapılmıştır.

Tablo 5. Pearson korelasyon katsayısına göre değişkenler arası ilişkinin sınıflandırılması (Özdamar, 2009).

<b>R</b>	<b>İlişki</b>
0,00-0,25	Çok zayıf
0,26-0,49	Zayıf
0,50-0,69	Orta
0,70-0,89	Yüksek
0,90-1,00	Çok yüksek

## **2.7. Sıcaklığın Dolaylı Olarak Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Hız Değerine Etkisi**

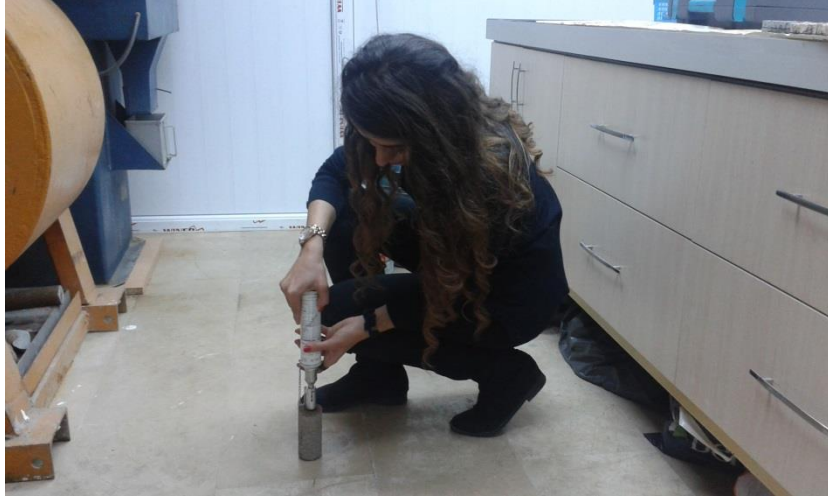
Üzerinde çalışılan kaya malzemesi, daha sonraki zamanlarda farklı kullanım amaçlarına uygun olabilmesi için giderek artan yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış ve her bir sıcaklık değeri uygulaması sonunda yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, sıcaklığın söz konusu değerlere ne şekilde etkimiş olduğu noktasında değerlendirmeler yapılmıştır.

Karot numuneleri her bir sıcaklık değeri için Protherm kül fırınında 1 saat bekletilmiş ve süre sonunda oda sıcaklığında soğutulularak yukarıda sözü edilen deneyler gerçekleştirilmiştir. Maruz bırakılan sıcaklık değerleri; 105°C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C'dir.

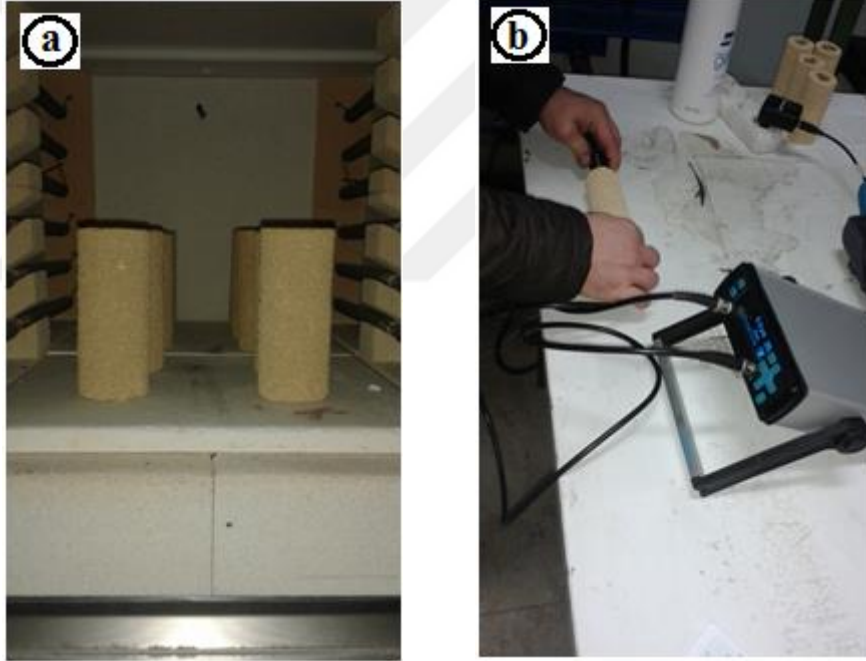
### **2.7.1. 105 °C Sonrası Yapılan İşlemler**

Hazırlanan karot numuneleri Protherm kül fırınında 1 saat, 105°C'de bekletilmiştir. Süre sonunda numunelerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiş ve daha sonra numunelerin üst yüzeyine dik olacak şekilde iğne batma ve karot numunesi boyunca ultrasonik hız deneyleri uygulanmıştır (Şekil 15-16).

Numunelerde 1 saat sonunda fiziksel olarak önemli sayılacak derecede bir değişiklik gözlenmemiştir.



Şekil 15. 105 °C sonrası yapılan iğne penetrasyon deneyi



Şekil 16. (a) 105 °C sonrası görüntü ve (b) ultrasonik hız deneyinin yapılışı

Tablo 6. 105 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları

Numune No	İğne batma direnci (N/mm)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	Geçiş süresi ( $\mu$ s)	$V_p$ (m/s)
N-1	60/10	2,37	75,4	1508,36
N-2	60/10	2,37	87,6	1260,27
N-3	50/10	2,02	74,7	1463,72
N-4	50/10	2,02	81,2	1355,66

Tablo 6'nın devamı

N-5	50/10	2,02	80,5	1386,71
N-6	95/10	3,51	72,9	1473,25
N-7	50/10	2,02	80,8	1367,57
N-8	80/10	3,03	93,2	1183,80
N-9	50/10	2,02	83,6	1337,68
N-10	50/10	2,02	78,2	1406,65

### 2.7.2. 200 °C Sonrası Yapılan İşlemler

Karot numuneleri Protherm kül fırınında 1 saat, 200°C'de bekletilmiştir (Şekil 17). Süre sonunda numunelerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiş ve daha sonra numunelere iğne batma ile ultrasonik hız deneyleri uygulanmıştır.

Numunelerde 1 saat sonunda hafif bir renk değişikliği gözlenmiştir.



Şekil 17. 200 °C sonrasında karotların görünümü

Tablo 7. 200 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları

Numune No	İğne batma direnci (N/mm)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	Geçiş süresi ( $\mu$ s)	$V_p$ (m/s)
N-1	50/10	2,02	94,4	1204,77
N-2	60/10	2,37	94,7	1165,79
N-3	70/10	2,70	94,7	1154,59
N-4	40/10	1,67	88,4	1245,25
N-5	80/10	3,03	99,2	1125,30
N-6	80/10	3,03	78,8	1362,94
N-7	80/10	3,03	100,7	1097,32
N-8	60/10	2,37	99,2	1112,20
N-9	50/10	2,02	103,1	1084,68
N-10	70/10	2,70	99,9	1101,10

### 2.7.3. 300 °C Sonrası Yapılan İşlemler

Karot numuneleri Protherm kül fırınında 1 saat, 300°C'de bekletilmiştir (Şekil 18). Süre sonunda numunelerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiş ve daha sonra numunelere iğne batma deneyi ile ultrasonik hız deneyi uygulanmıştır.

Numunelerdeki renk değişimi 1 saat sonunda gözle görülür şekilde belirginleşmiştir.



Şekil 18. 300 °C sonrasında karotların görünümü

Tablo 8. 300 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları

Numune No	İğne batma direnci (N/mm)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	Geçiş süresi ( $\mu$ s)	$V_p$ (m/s)
N-1	60/10	2,37	105,7	1075,97
N-2	80/10	3,03	134,1	823,27
N-3	60/10	2,37	105,6	1035,42
N-4	60/10	2,37	112,4	979,36
N-5	50/10	2,02	107,2	1041,32
N-6	70/10	2,70	100,9	1064,42
N-7	80/10	3,03	108,4	1019,37
N-8	70/10	2,70	154,8	712,73
N-9	60/10	2,37	111,9	999,37
N-10	70/10	2,70	110,4	996,38

#### 2.7.4. 400 °C Sonrası Yapılan İşlemler

Karot numuneleri Protherm kül fırınında 1 saat, 400°C'de bekletilmiştir (Şekil 19). Süre sonunda numunelerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiş ve daha sonra numunelere iğne batma deneyi ile ultrasonik hız deneyi uygulanmıştır.

Numunelerde 1 saat sonunda tamamen fark edilen bir renk değişikliği gözlenmiştir.



Şekil 19. 400 °C sonrasında karotların görünümü

Tablo 9. 400 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları

Numune No	İğne batma direnci (N/mm)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	Geçiş süresi ( $\mu$ s)	$V_p$ (m/s)
N-1	80/10	3,03	118,7	958,13
N-2	70/10	2,70	162,1	681,06
N-3	70/10	2,70	118,4	923,48
N-4	50/10	2,02	176,6	623,33
N-5	85/10	3,19	142,8	781,72
N-6	70/10	2,70	132,7	809,34
N-7	75/10	2,87	123,7	893,29
N-8	60/10	2,37	125,3	880,53
N-9	60/10	2,37	122,3	914,39
N-10	70/10	2,70	121,5	905,35

#### 2.7.5. 500 °C Sonrası Yapılan İşlemler

Karot numuneleri Protherm kül fırınında 1 saat, 500°C'de bekletilmiştir (Şekil 20). Süre sonunda numunelerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiş ve daha sonra numunelere iğne batma deneyi ile ultrasonik hız deneyi uygulanmıştır.

Numunelerde 1 saat sonunda ileri derecede bir renk değişikliği gözlenmiştir.



Şekil 20. 500 °C sonrasında karotların görünümü

Tablo 10. 500 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları

Numune No	İğne batma direnci (N/mm)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	Geçiş süresi ( $\mu$ s)	$V_p$ (m/s)
N-1	60/10	2,37	177,5	640,73
N-2	60/10	2,37	152,6	723,46
N-3	80/10	3,03	Alınamadı	-
N-4	40/10	1,67	216,9	507,51
N-5	50/10	2,02	Alınamadı	-
N-6	70/10	2,70	Alınamadı	-
N-7	60/10	2,37	Alınamadı	-
N-8	50/10	2,02	Alınamadı	-
N-9	60/10	2,37	Alınamadı	-
N-10	50/10	2,02	Alınamadı	-

#### 2.7.6. 600 °C Sonrası Yapılan İşlemler

Karot numuneleri Protherm kül fırınında 1 saat, 600°C'de bekletilmiştir (Şekil 21). Süre sonunda numunelerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiş ve daha sonra numunelere iğne batma deneyi ile ultrasonik hız deneyi uygulanmıştır.

Numunelerde 1 saat sonunda daha ileri derecede bir renk değişikliği gözlenmiş olup deneylerin uygulanması sonucu ufalanma ve kırılmalar oluşmuştur.



Şekil 21. 600 °C sonrasında karotların görünümü

Tablo 11. 600 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları

Numune No	İğne batma direnci (N/mm)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	Geçiş süresi ( $\mu$ s)	$V_p$ (m/s)
N-1	40/10	1,67	378,5	300,48
N-2	70/10	2,70	224,2	492,42
N-3	50/10	2,02	330,4	330,93
N-4	30/10	1,30	436,6	252,13
N-5	40/10	1,67	387,3	288,23
N-6	50/10	2,02	336,3	319,36
N-7	50/10	2,02	636,9	173,50
N-8	50/10	2,02	223,0	494,75
N-9	40/10	1,67	225,7	495,48
N-10	40/10	1,67	370,8	296,66

#### 2.7.7. 700 °C Sonrası Yapılan İşlemler

Karot numuneleri Protherm kül fırınında 1 saat, 700°C’de bekletilmiştir (Şekil 22). Süre sonunda numunelerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiş ve daha sonra numunelere iğne batma deneyi ile ultrasonik hız deneyi uygulanmıştır.

Numunelerde 1 saat sonunda ilk halleriyle benzeşmeyen bir renk değişikliği gözlenmiştir. Renk değişikliği açık sarıdan koyu kahverengiye doğru olmuştur. Giderek artan sıcaklıklara maruz bırakılan numunelerin üst yüzeylerinde, özellikle son sıcaklıklarda, iğne batma ve ultrasonik hız deneylerinin uygulanmasıyla ufalanma ve kırılma meydana gelmiştir.





Şekil 22. 700 °C sonrasında karotların görünümü

Tablo 12. 700 °C sonrasında karot numuneleri üzerinde yapılan iğne batma ve ultrasonik hız deney sonuçları

Numune No	İğne batma direnci (N/mm)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	Geçiş süresi ( $\mu$ s)	$V_p$ (m/s)
N-1	50/10	2,02	224,9	505,69
N-2	50/10	2,02	441,1	250,28
N-3	55/10	2,20	209,8	521,16
N-4	50/10	2,02	Kırıldı	Kırıldı
N-5	40/10	1,67	207,3	533,67
N-6	40/10	1,67	261,5	410,71
N-7	70/10	2,70	Kırıldı	Kırıldı
N-8	55/10	2,20	200,7	549,73
N-9	30/10	1,30	Alınamadı	Alınamadı
N-10	50/10	2,02	494,6	222,40

Uygulanan farklı sıcaklıklar sonucu karot numunelerinin son hali Şekil 23'te verilmiştir.



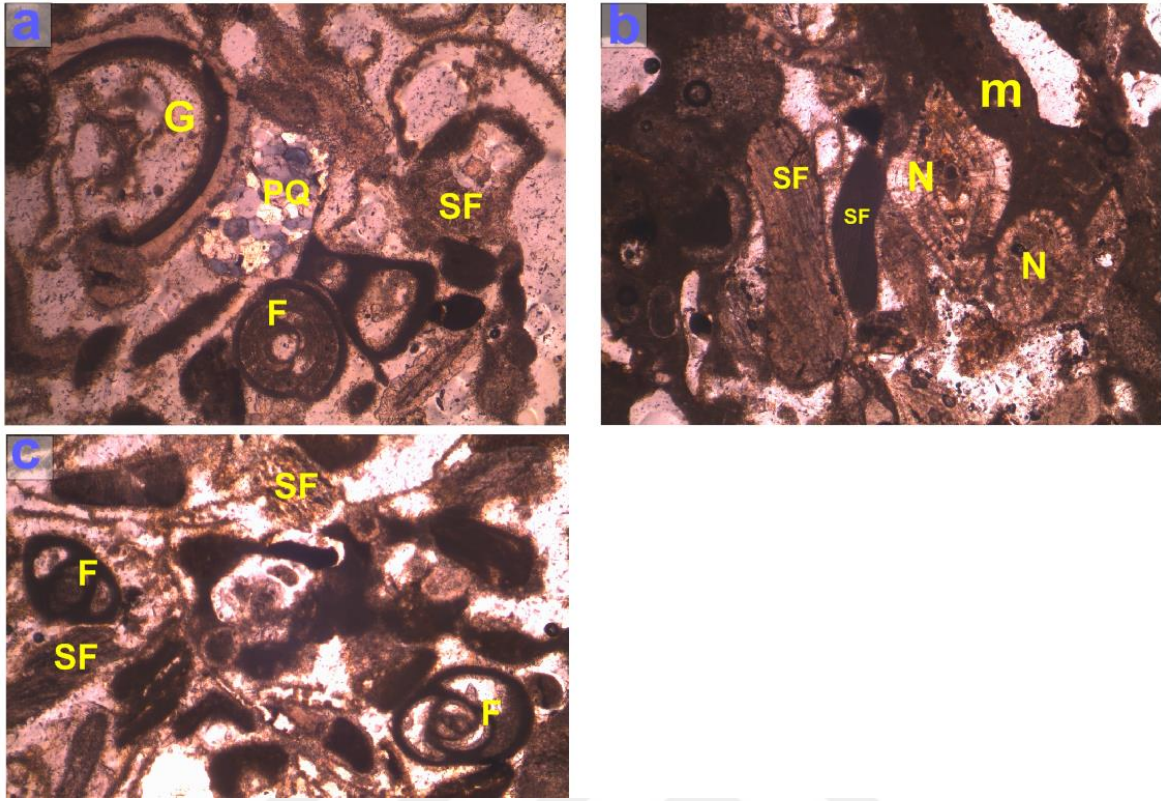
Şekil 23. Tüm sıcaklıklar sonunda yapılan deneyler sonrasında karotların görünümü

### **3. BULGULAR VE İRDELEMELER**

#### **3.1. Petrografik ve Kimyasal Özellikler**

Bu çalışmada kullanılan kayacın özelliklerinin belirlenebilmesi için ve çalışmanın güvenilirliği açısından elde edilen numunelerin homojen olmasına ve atmosferik koşullardan etkilenmemiş olmasına dikkat edilmiştir.

Kayacın tam olarak adlanmasının yapılabilmesi amacıyla, petrografik incelemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla, kayaçtan hazırlanan ince kesit yardımıyla mikro-petrografik özellikleri değerlendirilmiştir. Kayacın son derece zayıf olması, ince kesit hazırlanması aşamasında zorluklarla karşılaşılmasına neden olmuştur. Söz konusu ince kesit ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda kayaç; sarı renkli, taneli, nadiren koyu renkli kum boyu silis parçalarından oluşan hafif ve gevşek karbonat kaya olarak tanımlanmıştır. Detay adlama aşamasında ise Folk (1959) sınıflamasına göre Biyomikrit olarak sınıflandırılmıştır (Ocakoglu, 2012, sözlü görüşme).



Şekil 24. Kayacın ince kesit görüntüsü

a) Foraminifer (F) ve Gastropod (G) kavkuları, mikrit matris içinde yuvarlaklaşmış polikristalli kuvars (PQ) b) Nummilites (N) ve mikrit matris içindeki kavkılar (SF) c) kavkı (SF) ve Foraminifer (F)

Kayaca ait kimyasal kompozisyonun belirlenmesi amacıyla ACME (Kanada) laboratuvarında ana oksit bileşen analizi yaptırılmıştır. Tablo 13'te söz konusu analiz sonuçları sunulmuştur. Tablo 13'ten de görüldüğü üzere kayaç CaO bakımından son derece zengindir. Bu nedenle 'kireçtaşı' hatta içinde bulundurduğu fosil kalıntıları nedeniyle 'biyomikritik kireçtaşı' olarak isimlendirilmesi uygun görülmüştür. Kalsiyum bileşeni yanı sıra, az miktarda silis, magnezyum ve demir bileşenlerinin de kayaç bünyesinde yer aldığı görülmektedir.

Tablo 13. Kayaca ait ana oksit bileşen analizi sonuçları

SiO <sub>2</sub> (%0,01)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%0,01)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%0,01)	MgO (%0,01)	CaO (%0,01)	Na <sub>2</sub> O (%0,01)	K <sub>2</sub> O (%0,01)	Ti <sub>2</sub> O (%0,01)
2,71	0,45	1,24	1,63	51,98	0,09	0,11	0,03

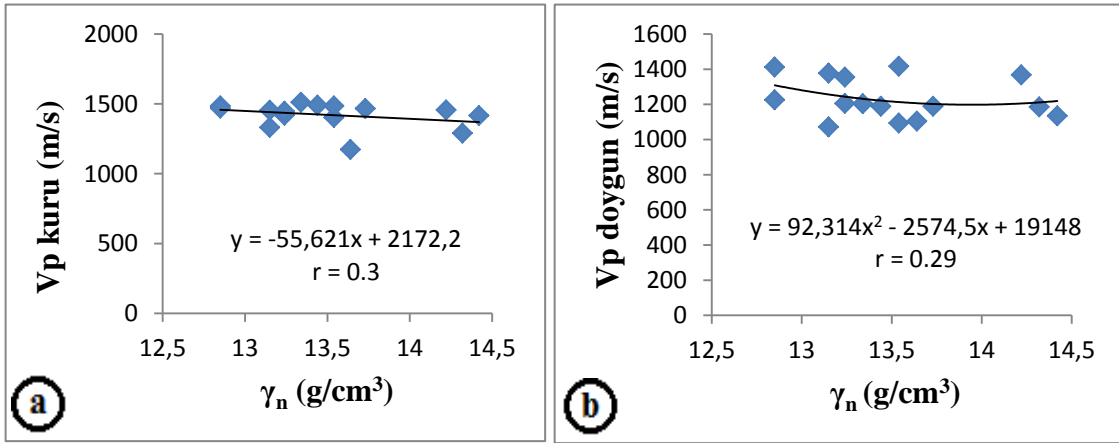
### 3.2. Deney Sonuçları ve Korelasyon Grafikleri

Tez çalışması kapsamında materyal olarak kullanılan kayaca ilişkin oda sıcaklığında karot numunelerine uygulanan deneylerin sonuçları aşağıda sunulan Tablo 14'te verilmiştir. Tablodaki  $\sigma_{ci}$  değerine, karot numunelerine uygulanan iğne batma deneyi ile dolaylı olarak ulaşılmıştır. Tablodaki veriler dikkate alınarak, veriler arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını irdelemek amacıyla iki değişkenli korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 25-29).

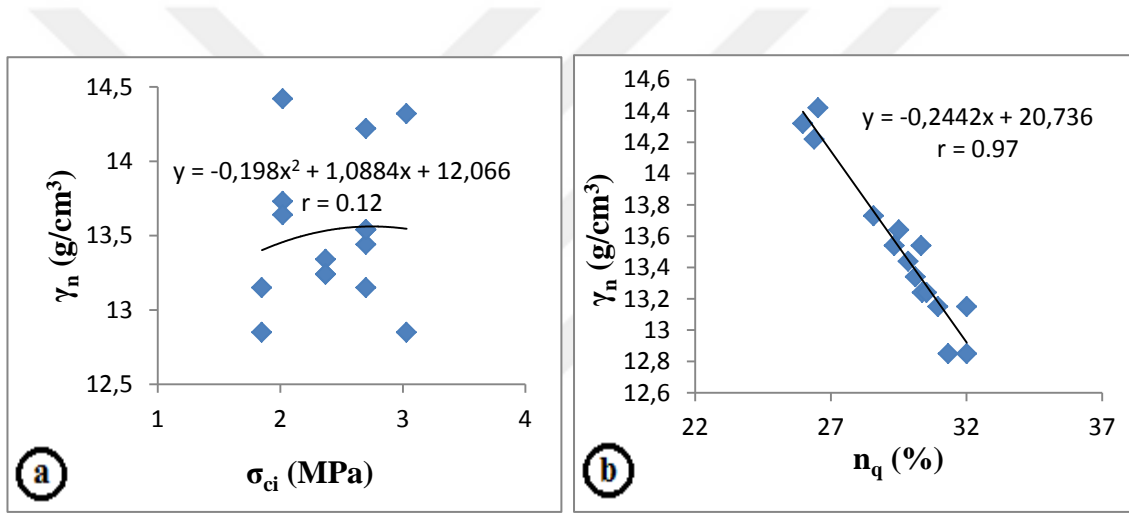
Tablo 14. Oda sıcaklığında karot numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları

Numune No	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$V_P$ (kuru) (m/s)	$V_P$ (doygun) (m/s)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$n_q$ (%)
K-1	13,34	1512,82	1204,14	2,37	30.12
K-2	13,73	1467,53	1189,85	2,02	28.58
K-3	13,54	1403,39	1094,42	2,70	29.34
K-4	12,85	1486,32	1413,13	1,85	31.33
K-5	14,32	1290,84	1186,21	3,03	25.97
K-6	13,64	1174,11	1104,91	2,02	29.51
K-7	13,24	1419,17	1355,90	2,37	30.37
K-8	14,42	1416,75	1135,12	2,02	26.53
K-9	13,24	1448,25	1205,83	2,37	30.53
K-10	14,22	1457,03	1367,97	2,70	26.39
K-11	13,15	1332,10	1072,33	1,85	32.01
K-12	13,15	1454,66	1378,58	2,70	30.95
K-13	12,85	1470,04	1226,62	3,03	32.01
K-14	13,44	1491,81	1190,22	2,70	29.85
K-15	13,54	1485,41	1417,60	2,70	30.33
<b>Ortalama</b>	13,51	1420,682	1236,189	2,43	29,588

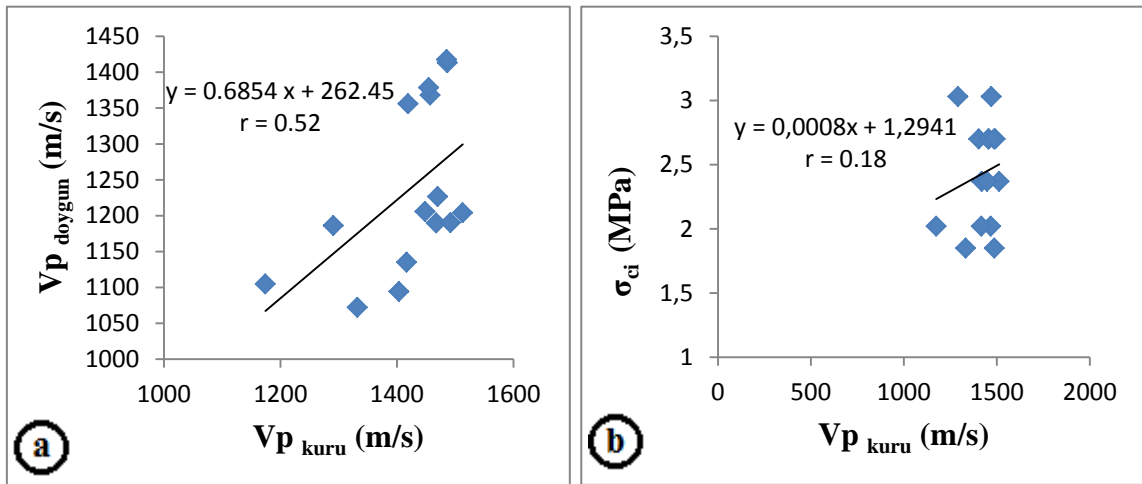
Bu analizler uyarınca, porozite ve BHA parametreleri arasında çok güçlü ilişki olduğu gözlenmiştir ( $r = 0.97$ ) (Şekil 26b). Ancak diğer parametreler arasında yapılan korelasyon analiz sonuçları dikkate alındığında Pearson korelasyon katsayısına göre genellikle zayıf ve çok zayıf sınıfta yer aldıkları görülmüştür. Öte yandan  $V_p$  (kuru) ve  $V_p$  (doygun) arasında elde edilen korelasyon katsayısı ( $r = 0.52$ ) Pearson'a göre orta sınıfa girmektedir (Şekil 27a).



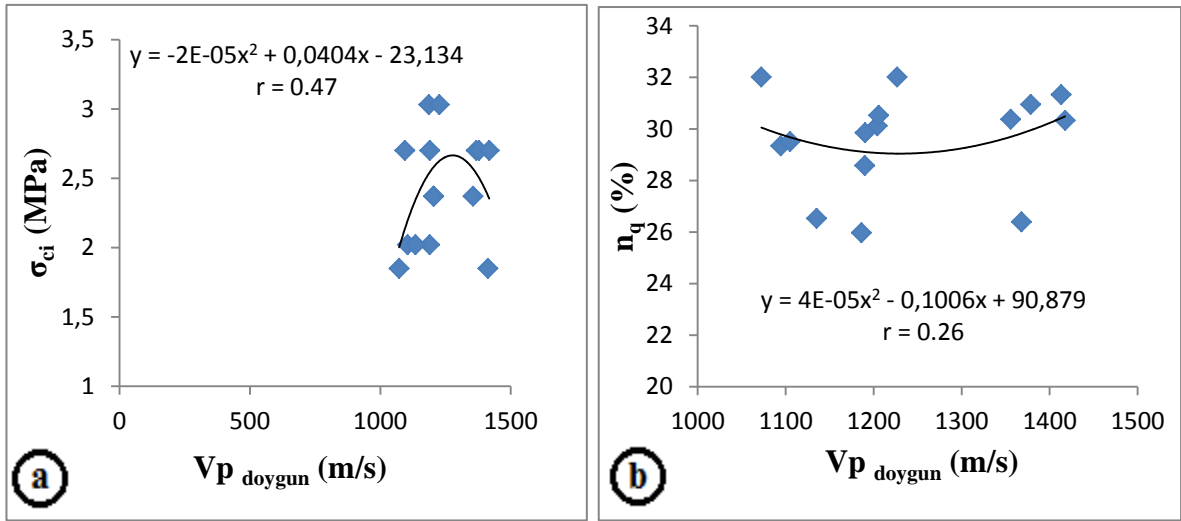
Şekil 25. Birim hacim ağırlık ( $\gamma_n$ ) ve boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) arasındaki ilişki



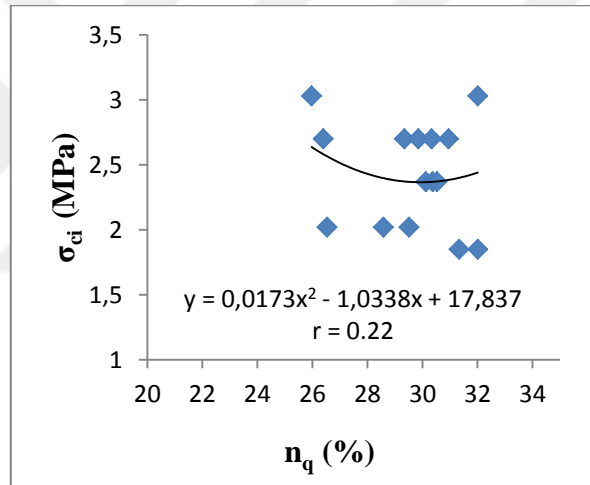
Şekil 26. Birim hacim ağırlığın ( $\gamma_n$ ), tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve porozite ( $n_q$ ) ile ilişkisi



Şekil 27.  $V_p$  (kuru)'nun,  $V_p$  (doygun) ve tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ile ilişkisi



Şekil 28.  $V_p$  (doygun) 'nun, tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve porozite ( $n_q$ ) ile ilişkisi



Şekil 29. Porozite ( $n_q$ ) ve tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) arasındaki ilişki

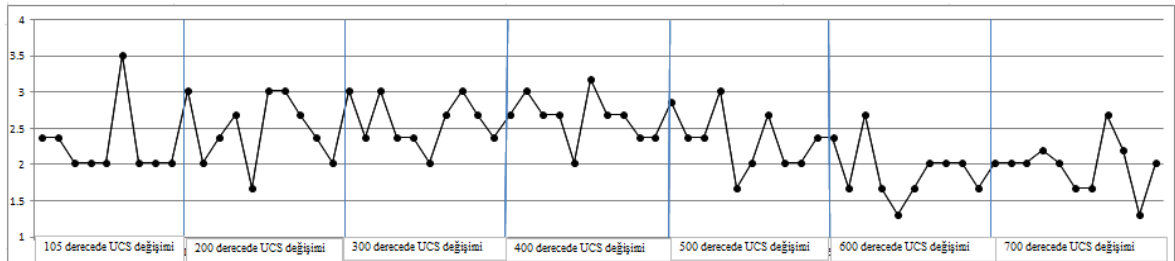
### 3.3. İncelenen Örneklerin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları

#### 3.3.1. Sıcaklığın $\sigma_{ci}$ Üzerindeki Etkisi

Bu tez kapsamında, sıcaklık artışının karbonatça zengin kayaç numuneleri üzerindeki etkilerini araştırmak için farklı sıcaklıklarda ( $105 - 700 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ısıtılan numuneler üzerinde iğne batma (NPI) ve ultrasonik hız deneyleri yapılmıştır (Tablo 6-12). NPI'den dolayı yoldan  $\sigma_{ci}$  değerleri elde edilmiş ve değişen sıcaklık değerleri ile  $\sigma_{ci}$  arasında nasıl bir ilişki olduğuna yönelik değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 30). Şekil 30'dan görüleceği üzere

sıcaklık arttıkça  $\sigma_{ci}$  değerlerinde kısmen düşüş olduğu görülmektedir. Ancak verilerin gelişigüzel dağılmasından dolayı sağlıklı bir yorum yapılamadığından her sıcaklık aralığı için yapılan deneylerin aritmetik ortalaması alınmış ve grafik yeniden düzenlenmiştir (Şekil 31). Artan sıcaklık, örnekleri gevşek hale getirmiş ve içerdiği nemi, suyu en aza indirerek boşluk hacmini artırmıştır. Bunun sonucunda artan sıcaklık değerlerinin çalışılan kayada dayanımı olumsuz yönde etkilediği düşünülmüştür. Sıcaklık artışının  $\sigma_{ci}$  değerlerinde düşüşe neden olduğu duruma farklı araştırmacılar literatürde de değinmiş, genel olarak sıcaklık artışıyla kaya dayanımında azalış görüldüğü bildirilmiştir (Syağa vd. 2014; Siriapai, vd. 2012).

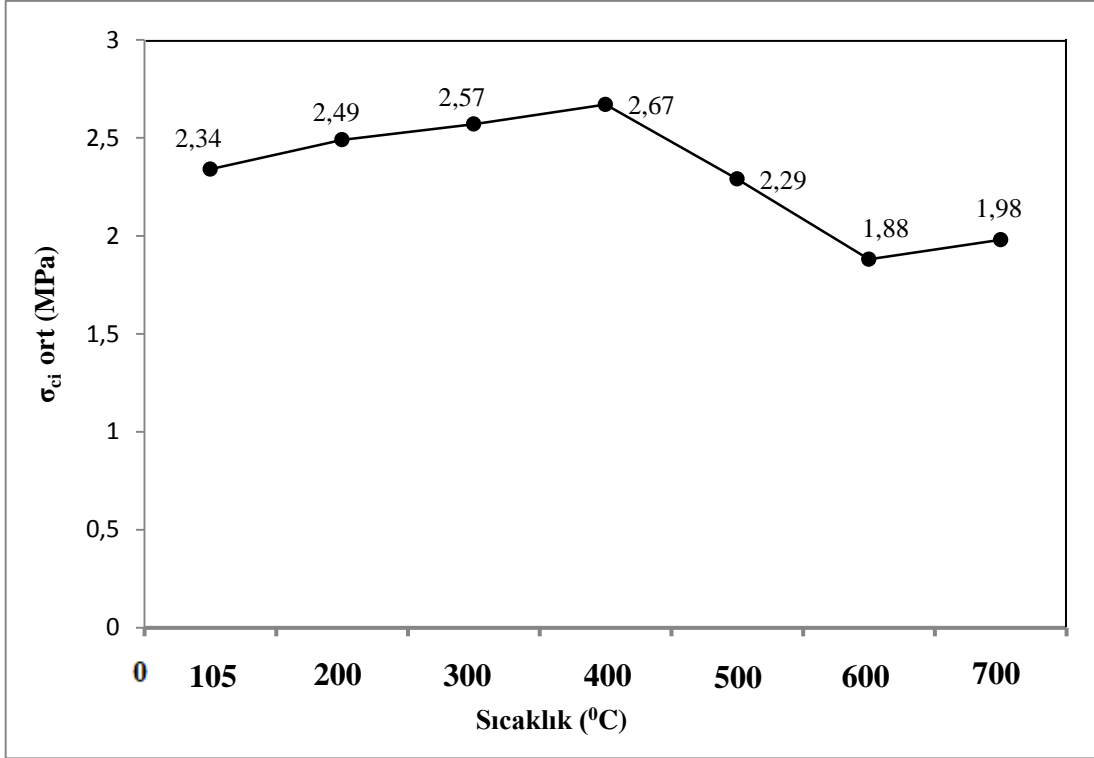
Syağa vd. (2014) çeşitli kayalar (kumtaşı, serpantin, granit gnays, kireçtaşı) üzerinde yüksek sıcaklıklarda tek eksenli sıkışma dayanımını belirlemiştir. Özellikle karbonat sedimanter kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı giderek artan sıcaklıklarda azalan bir değişim göstermiştir. Siriapai vd. (2012) ise, tuz örneklerine uygulanan farklı sıcaklıklar (273-467 K) sonucu sıkışma ve çekme dayanımını belirlemiştir. Yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçlarından giderek artan sıcaklıklarda azalan bir grafik elde edildiği görülmüştür.



Şekil 30. Artan sıcaklığa bağlı olarak  $\sigma_{ci}$  değişimi

Her sıcaklık için aritmetik ortalaması alınan UCS değerlerinin 105- 400°C arasında % 0,65 artış, 400-600°C arasında % 2,37 azalma olarak değiştiği görülmüştür. Son sıcaklık değişiminde ise % 0,6'lık bir azalma görülerek ilk sıcaklıkla son sıcaklık arası genel değişim % 3,62 oranında bir azalma göstermiştir.

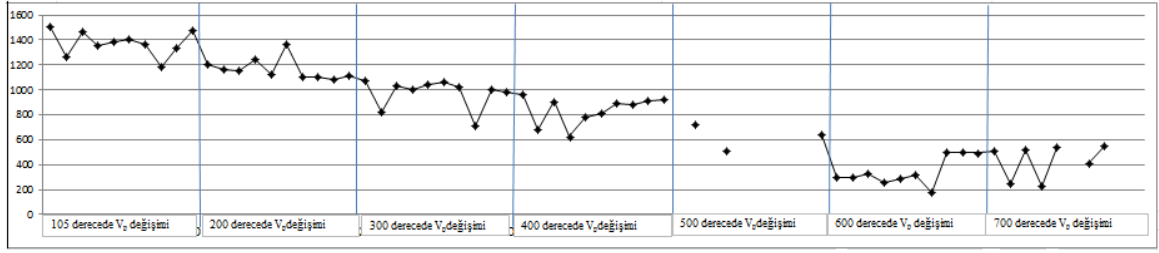




Şekil 31. Her sıcaklık için  $\sigma_{ci}$  ortalama değerleri karşılaştırılması

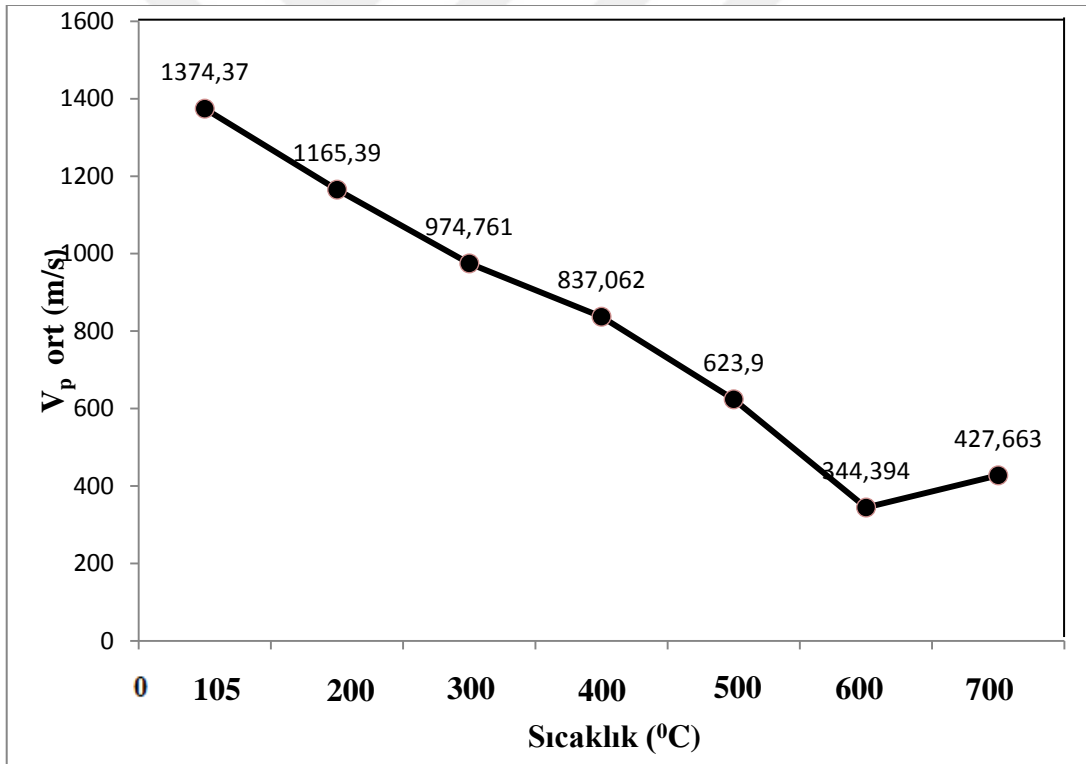
### 3.3.2. Sıcaklığın Ultrasonik Dalga Hızı ( $V_p$ ) Üzerindeki Etkisi

Giderek artan sıcaklıklara maruz kalan numunelerin boyuna dalga hızlarının değişimi aşağıda verilmiştir (Şekil 32). Genel anlamda artan sıcaklığa bağlı olarak numunelerin  $V_p$  değişimi azalma göstermiş, hatta uygulanan bazı sıcaklıklar sonrası yapılan deneylerden sonuç alınamamıştır. Elde edilen hız değerlerinin gelişigüzel dağılmasından dolayı sağlıklı bir yorum yapılamadığından her sıcaklık aralığı için yapılan deneylerin aritmetik ortalaması alınmış ve grafik yeniden düzenlenmiştir (Şekil 33). Kayacın ultrasonik hız deneyi yardımıyla bulunan P dalga hızı değeri başlangıç sıcaklığında ( $105^\circ\text{C}$ ), ileri sıcaklıklarda giderek kuruyan örnekler göre daha yüksek çıkmıştır. Bu da giderek ısınan örneklerin hız değerlerinin azaldığını gösterir.



Şekil 32. Artan sıcaklığa bağlı olarak  $V_p$  değişimi

Her sıcaklık için boyuna dalga hızlarının aritmetik ortalaması alınan örneklerin grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 33). Grafik kısmen  $\sigma_{ci}$  değerlerinin değişimine benzese de burada daha düzenli bir azalma görülmektedir. Başlangıç sıcaklığından (105°C) son sıcaklığa (700°C) kadar olan değişim % 16,47 olarak bulunmuştur.



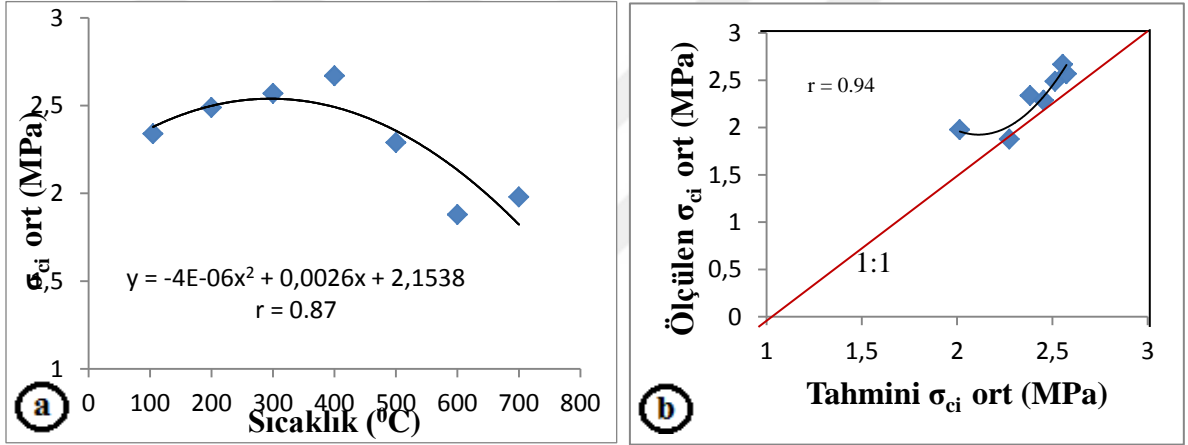
Şekil 33. Her sıcaklık için  $V_p$  dalga hızı ortalama değerleri karşılaştırılması

### 3.4. $\sigma_{ci\ ort}$ ve $V_{p\ ort}$ Değerlerinin Tahmini Değerleriyle Karşılaştırılması

Parametreler arasındaki ilişkileri daha ayrıntılı incelemek için elde edilen sonuçların tahmini değerleri de grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 34-35).

Her sıcaklık için ölçülen  $\sigma_{ci\ ort}$  değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak  $\sigma_{ci\ ort}$  – sıcaklık değeri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 34a). Değerler dalgalı değişim göstermiş, ancak Pearson korelasyon katsayısı ( $r = 0,87$ ) tablosuna göre aralarındaki ilişkinin yüksek sınıfında yer aldığı görülmüştür.

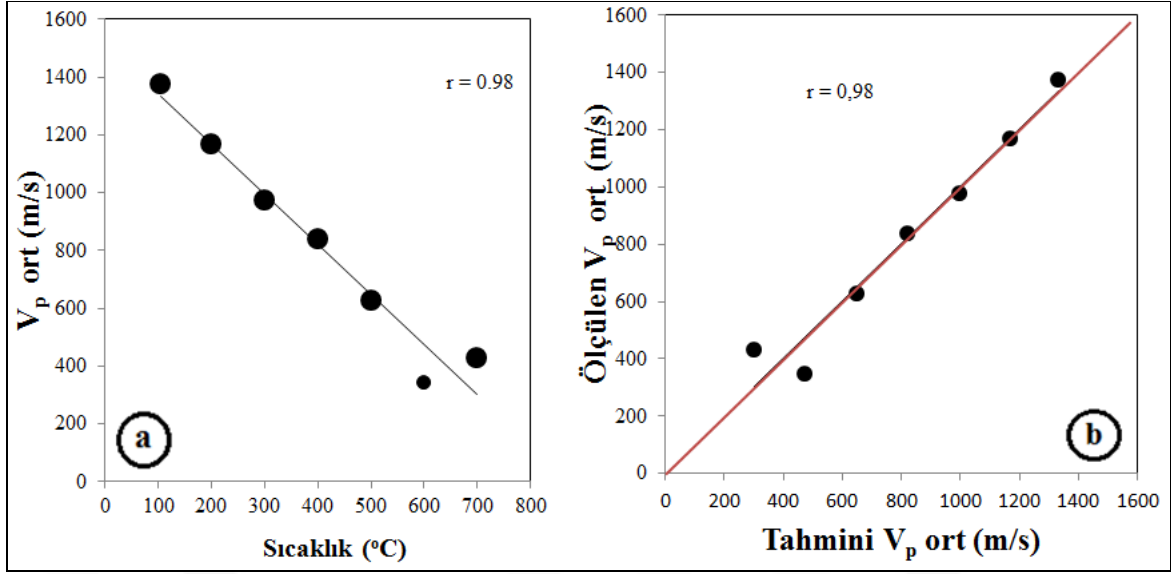
Ölçülen ve tahmini  $\sigma_{ci\ ort}$  değerlerinin oluşturduğu grafiğe bakıldığında, değerler bir arada toplanmış ve korelasyon katsayısına ( $r = 0,94$ ) göre aralarındaki ilişki çok yüksek sınıfa girmiştir (Şekil 34b).



Şekil 34.  $\sigma_{ci\ ort}$  değerlerinin tahmini değerleri ve sıcaklıkla ilişkisi

Ayrıca her sıcaklık için ölçülen  $V_{p\ ort}$  değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak da  $V_{p\ ort}$  – sıcaklık değeri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 35a). Değerler doğrusal ilişki göstermiş, Pearson korelasyon katsayısı ( $r = 0,98$ ) tablosuna göre aralarındaki ilişkinin çok yüksek sınıfında yer aldığı görülmüştür.

Ölçülen ve tahmini  $V_{p\ ort}$  değerlerinin oluşturduğu grafiğe bakıldığında ise, değerlerin 1:1 doğrusu etrafında veya tam üzerinde olduğu görülmüş ve ayrıca korelasyon katsayısına ( $r = 0,98$ ) göre aralarındaki ilişkinin çok yüksek sınıfa girdiği anlaşılmıştır (Şekil 35b).



Şekil 35.  $V_{p\text{ ort}}$  değerlerinin tahmini değerleri ve sıcaklıkla ilişkisi

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma kapsamında zayıf dayanımlı karbonat içerikli biyomikritik kireçtaşı kayacının dayanım özellikleri, zarar vermeyen yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra kayaca ait yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri de bulunmuştur.

Kayaç, yapılan detay mikroskobik incelemeler sonucunda biyomikritik kireçtaşı olarak adlanmıştır.

Çalışılan kayacın normal ortamda ve artan sıcaklığa (105 - 700 °C) bağlı olarak; tek eksenli sıkışma dayanımı ve ultrasonik (boyuna dalga) hızları belirlenmiştir. İlave olarak disk makaslama dayanım indeksi deneyine bağlı tek eksenli sıkışma dayanımı da sadece doğal koşullardaki numuneler üzerinde belirlenmiştir. Deney çalışmaları sonucunda elde edilen bilgi, gözlem ve tespitler aşağıda sıralanmıştır.

Doğal koşullardaki numunelere uygulanan iğne penetrasyon deneyi sonuçlarına göre NPI'den itibaren tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 1,85 ile 3,03 MPa arasında değişmektedir. Ultrasonik hız deneyi numunelerin kuru ve doymuş olma koşullarında uygulanmış, numunelerin kuru haldeki P- dalga hız değerlerinin 1174,11 ile 1512,82 m/s arasında, doymuş haldeki P- dalga hız değerlerinin ise 1072,33 ile 1417,60 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Sıcaklık artışına bağlı olarak bozunumun arttığı, bunun da ultrasonik dalga hızı ölçümleri ile belirlenebileceği görülmüştür. Kayacın hangi sıcaklıkta nasıl bir renk değişimine uğradığı gözlenmiştir. Genel olarak bütün numuneler 105 °C'de hafif biçimde renk değiştirirken, sıcaklığın artışıyla renklerde gittikçe artan bir koyulaşma görülmüştür. Numunelerin başlangıç ve son halleri arasındaki renk değişiminin bu anlamda oldukça fazla olduğu belirlenmiştir.

Kayacın hangi sıcaklığa kadar dayanım göstereceği belirlenmiş ve kayaç en son 700 °C ye kadar ısıtılmıştır. Kayaç fiziksel açıdan daha yüksek sıcaklıklara dayanabilir olsa da 700 °C de uygulanan deneylerin sonuçları çok sağlıklı olmamıştır. Bu yüzden ısıtma işlemine devam edilmemiştir.

Artan sıcaklık deneyi yapılan örneklerin iğne penetrasyon değerleri 1,30 ile 3,51 MPa arasında değişim göstermiştir. Numuneler üzerinde yapılan ultrasonik hız deneyi

sonucu elde edilen P- dalga hız değerlerinde giderek azalma görülmüştür. Hız değerlerinin 173,50- 1508,36 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Normal ortamdaki ve artan sıcaklıklara maruz bırakılan karot numunelerine uygulanan deneylerin sonuçları arasındaki ilişkileri görmek amacıyla korelasyon grafikleri oluşturularak yorumlanmıştır. Sıcaklığın tek eksenli sıkışma dayanımı değeri üzerindeki etkisi olumsuz yönde olmuş, sıcaklık artışının UCS değerlerinde düşüşe neden olduğu farklı araştırmacılar tarafından da desteklenmiştir. Sıcaklık artışının ultrasonik dalga hızı değerini de giderek düşürdüğü yapılan deneyler sonucu görülmüştür.



## 5. KAYNAKLAR

- Altuğ M., Sıcaklığın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaçlar Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2012.
- Andriani G. F., Walsh N., Physical Properties and Textural Parameters of Calcarenite Rocks: Qualitative and Quantitative Evaluations, *Engineering Geology* 67, 5-15, 2002.
- Azadan P., Ahangari K., Evaluation of the new dynamic needle penetrometer in estimating uniaxial compressive strength of weak rocks, *Arab J Geosci* 7, DOI 10.1007/s12517-013-0921-6, s. 3205-3216, 2014.
- Brotons V., Tomás R., Ivorra S., Grediaga A., Relationship Between Static and Dynamic Elastic Modulus of Calcarenite Heated at Different Temperatures: The San Julián's Stone, *Bull Eng Geol Environ*, DOI 10.1007/s10064-014-0583-y, 2014.
- Dal M., Trakya Bölgesi Tarihi Yapılarında Kullanılan Karbonatlı Taşların Bozulma Nedenleri, *Vakıflar Dergisi*, Sayı 34, s. 47-59, 2010.
- Ergüler Z. A., Ulusay R., Kil İçeren Zayıf Kayalarda İğne Penetrasyon Direnci Kullanılarak Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Kestirimi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Ergüler Z. A., Ulusay R., Estimation of uniaxial compressive strength of clay-bearing weak rocks using needle penetration response. In: *Proceedings of 11th Congress on Int. Soc. Rock Mechanics*, Lisbon, vol 1, pp 265–268, 2007.
- Folk, R. L., Practical Petrographic Classification of Limestones: *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 43/1, p. 1-38, 1959.
- Hakyemez H., Y., Turhan N., Sönmez İ., 2002. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Jeolojisi, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 18-19.
- Hakyemez A., Kuzey Kıbrıs Oligosen-Pliyosen İstiflerinin Planktonik Foraminifera Biyostratigrafisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004.
- Ioannou I., Andreou A., Tsikouras B., Hatzipanagiotou K., Application of the Sharp Front Model to Capillary Absorption in a Vuggy Limestone, *Engineering Geology* 105, 20-23, 2009.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J. A. Hudson (eds.), Suggested Methods Prepared by the Commission on

Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, 628 p., 2007.

Kantarıcı O., Yumuşak Kayalar İçin Disk Makaslama İndeksi Deneyinin Kaya Kütle Sınıflama Sistemlerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Şehir İçi Sığ tünellerde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.

Leucci G., Giorgi L. D., Experimental Studies on the Effects of Fracture on the P and S Wave Velocity Propagation in Sedimentary Rock ('Calcarene del Salento'), Engineering Geology 84, 130-142, 2006.

Ngan-Tillard D.J.M., Verwaal W., Mulder A., Engin H.K., Ulusay R., Application of the Needle Penetration Test to a Calcarene, Maastricht, the Netherlands, Engineering Geology 123, s.214-224, 2011.

Ocakoğlu, F., (2012). Sözlü görüşme

Özdamar K., Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, Kaan Kitabevi, 2009.

Sriapai T., Walsri C., Fuenkajorn K., Effect of Temperature on Compressive and Tensile Strengths of Salt, Research Article, doi: 10.2306/scienceasia 1513-1847.2012.38.166, pp. 166-174, 2012.

Sygala A., Bukowska M., Janoszek T., High Temperature Versus Geomechanical Parameters of Selected Rocks- The Present State of Research, Journal of Sustainable Mining Vol. 12, No. 4, pp. 45-51, 2014.

Ulusay R., Gökçeoğlu C., Sülükçü S., Draft ISRM suggested method for determining block punch strength index (BPI), International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 38, 1113–1119, 2001.

Ulusay R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, 5. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 38, Ankara, 2010.

Ulusay R., Aydan Ö., Ergüler Z., A., Ngan-Tillard D., J., M., Seiki T., Verwaal W., Sasaki Y. ve Sato A., ISRM Suggested Method for the Needle Penetration Test, Rock Mech Rock Eng, DOI:10.1007/s12517-013-0921-6, 2013.

Vasenelli E., Sileo M., Calia A., Aiello M. A., Non-destructive techniques to assess mechanical and physical properties of soft calcarenitic stones, Procedia Chemistry 8, s. 35-44, 2013.

Van der Schrier S. J., The block punch index test, Bulletin International Association Engineering Geology, 38, 121-126, 1988.

Ziyaettin N., Tanaçan L., Kimyasal uygulamalarının Kuzey Kıbrıs yapı taşlarının dürabilitesi üzerine etkisi, itüdergisi/a, Cilt 10, Sayı 2, s. 39-50, 2011.



## ÖZGEÇMİŞ

Nurcan TURAN 1988 yılında Niksar'da doğdu. İlkokul eğitimini Karamürsel'de, orta ve lise eğitimini ise Niksar'da tamamladı. 2008 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

