



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜMÜŞHANE İL MERKEZİNDEKİ MAGMATİK KÖKENLİ KAYALARIN
JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ALKAN

HAZİRAN 2017
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜMÜŞHANE İL MERKEZİNDEKİ MAGMATİK KÖKENLİ KAYALARIN
JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ALKAN

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.05.2017
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 08.06.2017

HAZİRAN 2017



KABUL ve ONAY



Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ danışmanlığında Fatih ALKAN tarafından hazırlanan “GÜMÜŞHANE İL MERKEZİNDEKİ MAGMATİK KÖKENLİ KAYALARIN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:

Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA

Üye (Danışman)

:

Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ

Üye

:

Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

ONAY

Bu tez 18./07/17 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

:

Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu çalışma GÜBAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 15.F5114.02.03

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Gümüşhane İl Merkezindeki Magmatik Kökenli Kayaların Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması" isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

30/05/2017



Fatih ALKAN

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜMÜŞHANE İL MERKEZİNDEKİ MAGMATİK KÖKENLİ KAYALARIN
JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Fatih ALKAN

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ
2017, 81 sayfa

Bu çalışmada, Gümüşhane il merkezindeki magmatik kökenli kayaların jeomekanik özellikleri belirlenmiş ve bu özellikler arasındaki görgül ilişkiler araştırılmıştır. Bu amaçla farklı alanlardan boyutları yaklaşık 20x30x40 cm olan toplam 30 adet blok örnek alınmış, bu örneklerden ISRM tarafından önerilen yöntemlere göre deney numuneleri hazırlanmış, indeks, mekanik ve elastik özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır. 33 adet örnek üzerinde petrografik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Petrografik tayinler sonucunda monzogranit olarak adlandırılan kayalarda % 30-37.30 kuvars, % 30-36.60 ortoklas, % 18.20-25 plajiyoklas, % 6-12 mafik mineral yüzdesi tespit edilmiştir. Andezitlerde ise modal analiz yapılamamıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda, andezitlerde birim hacim ağırlık değerlerinin 24.37-25.73 kN/m³, ağırlıkça su emme değerlerinin % 0.78-1.86, hacimce su emme değerlerinin % 2.02-4.77 arasında değiştiği belirlenmiştir. Granitlerde ise birim hacim ağırlık değerlerinin 25.45-25.97 kN/m³, ağırlıkça su emme değerlerinin % 0.24-0.96, hacimce su emme değerlerinin % 0.63-2.50 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte andezitlerde doygun koşullar için P dalga hızının 3961-5451 m/sn, S dalga hızının ise 2171-3310 m/sn arasında, granitlerde ise P dalga hızının 3850-5812 m/sn, S dalga hızının ise 2151-3115 m/sn arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Andezitlerde kuru koşullarda P dalga hızının 3669-5462 m/sn, S dalga hızının 2205-3011 m/sn arasında, granitlerde ise P dalga hızının 2857-5251 m/sn, S dalga hızının ise 1793-2904 m/sn arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Andezitlerde tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 54.09-214.36 MPa, elastisite modülü 19.80-53.16 GPa ve Poisson oranı 0.11-0.46, granitlerde ise tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 24.60-140.15 MPa, elastisite modülü 22.22-76.92 GPa ve Poisson oranı değeri 0.03-0.50 arasında değişim göstermiştir.

İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda, en yüksek korelasyon katsayısı değerleri andezitlerde 0.90 ve granitlerde 0.94 değeri ile P ve S dalga hızı ölçümlerine ait verilerden elde edilmiştir. En düşük korelasyon katsayısı değeri ise granitlerde kuvars/alkali feldispat oranı ile gözeneklilik arasında tespit edilmiştir. Özellikle istatistiksel olarak anlamlı yüksek korelasyon katsayısı değerine sahip eşitlikler, ilgili parametrelerin dolaylı tahminlerinin belirlenmesi gereken durumlarda kullanılabilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Andezit, Granit, İstatistiksel Analiz, Jeomekanik Özellikler, Petrografik Özellikler

ABSTRACT

MS THESIS

**INVESTIGATION OF THE GEOMECHANICAL PROPERTIES OF MAGMATIC
ORIGIN ROCKS IN GÜMÜŞHANE PROVINCE**

Fatih ALKAN

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Serhat DAĞ

2017, 81 pages

In this study, investigation of the geomechanical properties of magmatic origin rocks in the Gümüşhane province and empirical relations between these properties were investigated. For this purpose, 30 block samples from different areas whose approximate sizes are 20x30x40cm were collected; test specimens from these samples were prepared in accordance with ISRM suggested methods, the tests to determine the index, mechanical and elastic properties were done. Petrographical investigations were carried out on the 33 samples. As a result of the petrographical assessments, the quartz 30-37.30 %, orthoclase 30-36.60 %, plagioclase 18.20-25 %, mafic mineral 6-12 % were determined in rocks called as monzogranite. However, modal analysis was not able to be done in the andesites.

At the end of the experimental studies, it was determined that in the andesites unit volume weight values vary between 24.37-25.73 kN/m³, water absorption by weight values between 0.78-1.86 %, water absorption by volume values between 2.02-4.77 %. As for granites, it was determined that unit volume weight values vary between 25.45-25.97 kN/m³, water absorption by weight values between 0.24-0.96%, water absorption by volume values between 0.63-2.50 %. In addition to this, in andesites P wave velocity for the saturated conditions varies between 3961-5451 m/sec and S wave velocity between 2171-3310 m/sec while in granites P wave velocity ranges between 3850-5812 m/sec and S wave velocity between 2151-3115 m/sec. It is determined that while in andesites in dry conditions P wave velocity varies between 3669-5462 m/sec and S wave velocity between 2205-3011 m/sec, in granites P wave velocity varies between 2857-5251 m/sec and S wave velocity between 1793-2904 m/sec.

In andesites, the uniaxial compressive strength values varied between 54.09-214.36 MPa, modulus of elasticity 19.80-53.16 GPa and Poisson's ratio value 0.11-0.46; as for granites the uniaxial compressive strength value varied between 24.60-140.15 MPa, modulus of elasticity 22.22-76.92 GPa and Poisson's ratio value 0.03-0.50.

As a result of the statistical assessments, the highest correlation coefficient values which are 0.90 in andesites and 0.94 in granites were obtained from the data of the P and S wave velocity measurements. The lowest correlation coefficient values were determined between quartz/alkaline feldspar ratio and porosity in granites. Especially, equations which are statistically meaningful and have high correlation coefficient value can be used to determine indirect predictions of related parameters.

Keywords: Andesite, Granite, Statistical Analyses, Geomechanical Properties, Petrographical Properties

TEŞEKKÜR

“Gümüşhane İl Merkezindeki Magmatik Kökenli Kayaların Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması” isimli bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmaya GÜBAP 15.F5114.02.03 numaralı proje ile finansal destek sağlayan Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmanın başlangıç aşamasından, sonuçlandırma aşamasına kadar geçen sürede çalışmalarımı yönlendiren, manevi desteğini ve değerli vaktini ayıran, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda, emeğini ve özverisini esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ’a desteğinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresince maddi desteğini ve bilgisini esirgemeyen değerli Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI’ya teşekkür ederim. Rize’de gerçekleştirdiğim deneysel çalışmalarda bilgi ve tecrübesini aktaran misafirperverliğiyle ön planda olan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA’ya çok teşekkür ederim. Ayrıca arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Jeoloji Müh. Enes TÜRK ile laboratuvar çalışmalarım süresince farklı aşamalarda yardımlarda bulunan Jeoloji Yük. Müh. Zarife SOYSAL ve Jeoloji Müh. Tanju AYDURMUŞ’a teşekkür ederim.

Çalışma sırasında tecrübelerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ’a, petrografik çalışmalarda yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR ve Yrd. Doç. Dr. M. Ali GÜCER’e, aynı zamanda Arş. Gör. Kadir SÜNNETÇİ’ye ve bölümdeki birbirinden kıymetli tüm hocalarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Son olarak her zaman yanımda olan hiçbir zaman maddi-manevi desteğini eksik etmeyen, bana güvenen evlatları olmaktan onur duyduğum babam ve anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, kardeşlerim, arkadaşlarım, Burak ALKAN ve Akif GÜNBAŞ’a teşekkür ederim.

FATİH ALKAN
Gümüşhane, 2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	3
1.4. Önceki Çalışmalar	9
1.4.1. Bölgesel Çalışmalar.....	9
1.4.2. Kaya Mekaniği Çalışmaları.....	11
1.5. Bölgesel Jeoloji	16
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	19
2.1. Kaya Mekaniğine Yönelik Çalışmalar	19
2.1.1. Arazi Çalışmaları.....	19
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları	20
2.1.2.1. Özgül Ağırlık.....	21
2.1.2.2. Birim Hacim Ağırlık	23
2.1.2.3. Ağırlıkça Su Emme	24
2.1.2.4. Hacimce Su Emme	24
2.1.2.5. Sonik Hız Deneyi	25
2.1.2.6. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı	28
2.1.2.7. Elastisite Modülü ve Poisson Oranının Tayini.....	29
2.1.2.8. Nokta Yük Dayanımı Deneyi.....	34
2.1.2.9. Dolaylı Çekilme Dayanımı.....	37
2.2. Petrografik Çalışmalar.....	38

2.3.	İstatistiksel Çalışmalar	39
3.	BULGULAR	41
3.1.	Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi	41
3.1.1.	Gümüşhane Granitoyidi	41
3.1.2.	Şenköy Formasyonu	43
3.1.3.	Berdiga Formasyonu	44
3.1.4.	Kermutdere Formasyonu	45
3.1.5.	Kabaköy Formasyonu.....	45
3.1.6.	Gözeler Graniti	45
3.1.7.	Alüvyon	46
3.2.	Çalışılan Andezit ve Granitlerin Petrografik Özellikleri.....	46
3.3.	Magmatik Kayaların Fiziko-Mekanik ve Elastik Özellikleri	54
3.3.1.	Giriş	54
3.3.2.	Magmatik Kayaların Fiziksel Özellikler	54
3.3.2.1.	Özgül Ağırlığın Belirlenmesi	54
3.3.2.2.	Birim Hacim Ağırlığın Belirlenmesi	55
3.3.2.3.	Ağırlıkça Su Emmenin Belirlenmesi.....	55
3.3.2.4.	Hacimce Su Emmenin Belirlenmesi.....	55
3.3.2.5.	Ultrasonik Hız Ölçümleri	56
3.3.3.	Magmatik Kayaların Dayanım Özellikleri	59
3.3.3.1.	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Belirlenmesi.....	59
3.3.3.2.	Nokta Yüğü Dayanım İndeksinin Belirlenmesi	59
3.3.3.3.	Dolaylı Çekilme Dayanımının Belirlenmesi	61
3.4.	Elastik Özelliklerin Belirlenmesi	63
3.5.	İstatistiksel Değerlendirmeler.....	63
4.	TARTIŞMA.....	70
5.	SONUÇLAR	73
6.	KAYNAKLAR.....	76
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	4
Şekil 1.2. Gümüşhane ili pafta bölümlenmesi	5
Şekil 1.3. Gümüşhane il merkezi ve çevresini kapsayan kontur haritası.....	6
Şekil 1.4. Gümüşhane ili deprem haritası	8
Şekil 1.5. Gümüşhane ili ve çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti	18
Şekil 2.1. Blokların laboratuvarından genel genel görünümü ve karot kesim işleme	20
Şekil 2.2. Deneyde kullanılan aletler ve öğütülmüş numuneler	22
Şekil 2.3. Etüv ve kür havuzundan bir görünüm	25
Şekil 2.4. Boyuna dalga hızı (V_p) ölçümü.....	26
Şekil 2.5. Enine dalga hızı (V_s) ölçümü frekans grafiği.....	27
Şekil 2.6. Tek eksenli sıkışma dayanımı deney örnekleri.....	29
Şekil 2.7. Birim deformasyon ölçerlerin örnek üzerine yapıştırılması	30
Şekil 2.8. Deformasyon ölçerli tek eksenli sıkışma dayanım cihazı.....	31
Şekil 2.9. Gerilme-eksenel birim deformasyon eğrilerinden farklı elastisite modülü değerlerinin belirlenmesi.	32
Şekil 2.10. Nokta yük dayanımı deneyinin belirlenmesinde kullanılabilecek farklı örnek türleri.	35
Şekil 2.11. Nokta yük deney deney aleti ve silindirik karot örnekler.....	36
Şekil 2.12. Disk şeklinde hazırlanan deney örnekleri.....	38
Şekil 2.13. Dolaylı çekilme (Brazilian) deney aleti.....	37
Şekil 3.1. Çalışma alanını kapsayan bölgenin stratigrafik kolon kesiti.....	42
Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası ve jeolojik kesiti.....	43
Şekil 3.3. Andezitlerin çift nikolde mikroskopik görüntüleri	48
Şekil 3.4. Granitlerin çift nikolde mikroskopik görüntüleri	50
Şekil 3.5. Granitlerin çift nikolde mikroskopik görüntüleri	51
Şekil 3.6. Modal analiz sonuçlarının KAP diyagramında dağılımı	53
Şekil 3.7. Andezitlerin basit regresyon analizlerine ilişkin grafikler.....	66
Şekil 3.8. Granitlerde basit regresyon analizlerine ilişkin grafikler	67

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Gümüşhane ili meteorolojik verileri	7
Tablo 2.1. Farklı kaya türlerine ait elastik sabitler	34
Tablo 3.1. Gümüşhane ve çevresine ait volkanik kayaçların modal analiz sonuçları	52
Tablo 3.2. Magmatik kayaların fiziksel özellikleri	56
Tablo 3.3. Andezitlerde ultrasonik hız deneyi sonuçları	57
Tablo 3.4. Granitlerde ultrasonik hız deneyi sonuçları	58
Tablo 3.5. Magmatik kayaların deformasyon ölçümlü tek eksenli sıkışma dayanım değerleri	60
Tablo 3.6. Andezit ve granit örneklerine ait nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerleri	61
Tablo 3.7. Andezit ve granit örneklerine ait çekilme (σ_t) dayanımı değerleri	62
Tablo 3.8. Korelasyon katsayısı değerleri ve anlamlılıklarına ilişkin değerlendirmeler	65

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_v	: Hacimce su emme
A_w	: Ağırlıkça su emme (%)
D	: Örnek çapı (cm)
D_e	: Nokta-Yük deneyi örnek çapı (cm ²)
D_0	: Örneğin başlangıçtaki çapı (mm)
E	: Elastisite modülü (MPa)
E_{st}	: Statik elastisite modülü (MPa)
F	: Örneğinin Yenilmesi Anındaki Yük (kg)
g	: Yer çekimi ivmesi (9.81m/sn ²)
G_s	: Özgül ağırlık
I_s	: Düzeltilmemiş Nokta-Yük Dayanımı (kg/cm ²)
$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş Nokta-Yük Dayanımı (kg/cm ²)
ISRM	: Uluslararası kaya mekaniği birliği
L	: Örneğin boyu (m)
L_0	: Örneğin başlangıçtaki boyu (mm)
M	: Örnek kütlesi (g)
MPa	: Megapaskal
n	: Gözeneklilik (%)
P	: Deney Esnasında Örneği Kıran Yük (kg)
t	: Örnek kalınlığı (cm)
S_r	: Doygunluk derecesi
T	: Dalganın örneğe geçme zamanıdır (sn.)
v	: Örneğin hacmi (cm ³)
V	: P ve S dalga hızları (m/sn)
V_p	: P dalgasının yayılma hızı (m/s)
V_s	: S dalgasının yayılma hızı (m/s)
V_v	: Boşluk hacmi
W	: Su muhtevası
W_d	: Örneğin doymuş ağırlığı (g)
W_1	: Piknometre+Su (g)
W_2	: Piknometre+Su+Zemin (g)
W_k	: Örneğin kuru ağırlığıdır (g)
ν	: Poisson oranı
ρ	: Yoğunluk (g/cm ³)
ρ_n	: Doğal yoğunluk (g/cm ³)
ρ_k	: Kuru yoğunluk (g/cm ³)
ρ_d	: Doygun yoğunluk (g/cm ³)
σ	: Eksenel gerilme (MPa)
σ_c	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
σ_t	: Örneğin çekilme dayanımı (kg/cm ²)
ΔD	: Çaptaki değişim miktarı (mm)

Δl	: Aksenal değişim miktarı (mm)
ε	: Birim deformasyon
ε_a	: Aksenal birim deformasyon
ε_d	: Çapsal birim deformasyon
γ	: Birim hacim ağırlık (kN/m ³)
γ_n	: Doğal hacim ağırlık (kN/m ³)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (kN/m ³)
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlık (kN/m ³)



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kaya mekaniği, kaya ortamın ilk durum girdilerini belirleyerek, teknik çalışmalardan önce ve sonra oluşacak yeni durumu ile kaya ve yapı arasındaki ilişkileri deneysel metotlarla belirlemektedir. Jeoteknik ve mühendislik çalışmalarında kullanılan kaya sınıflama sistemlerinde kayaların oluşum kökenlerinden çok dayanıklılıkları, dokusal ve fiziksel özellikleri önem kazanmaktadır.

Yeraltı ve yerüstü çalışmalarında, kaya kütlelerinin mekanik davranışlarında en etkili unsur gerilme durumlarıdır. Bilindiği gibi yer kabuğundaki gerilmeler doğal ve yapay gerilmelerden oluşmaktadır.

Yapay gerilmeler yer kabuğunda insan eliyle veya açılan boşluklar yüzünden meydana gelmektedir. Doğal gerilmeler ise kaya kütlelerinin kendi ağırlıkları, her türlü tektonik hareket, kimyasal, fiziksel bozunma ve diğer jeolojik olaylara bağlı oluşan gerilmelerdir. Mühendislik çalışmalarında bu gerilme durumlarının bilinmesi gerekir. İçsel gerilmeler karot almada güçlükler ve tünel duvarlarında kaya patlamalarına sebep olmaktadır.

Kaya malzemesinin dayanımı tüneller, şevler ve barajlar gibi pek çok mühendislik çalışmalarında ve kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin belirlenmesinde temel girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Özellikle sık eklemli, kırık çatlak takımı içeren, ince tabakalı kaya malzemelerinden yüksek kaliteye sahip deney örnekleri ve numune hazırlamak çoğu kez mümkün olamamaktadır. Gerek bu sınırlamayı aşmak gerekse daha pratik deneylerle kaya malzemesinin dayanımına yaklaşım yapabilmek amacıyla, literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin mekanik parametrelerden olan kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri gerek yer üstü gerekse yeraltı yapılarının tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Tünel ve baraj gibi mühendislik projelerinde kaya durumunun belirlenmesinde ve doğal yapı taşlarının ekonomik olarak değerlendirilmesinde tek eksenli sıkışma dayanımı değeri en önemli veridir (Bieniawski, 1974).

Kaya mekaniğinde diğer bir güçlük kaya kütlelerini teşkil eden en küçük kaya ünitelerinin dahi büyük olmasıdır. Meselâ; çeliği ve zeminleri teşkil eden iri tanelerin büyüklükleri 0.01 -10 cm, çakıl ve betonda 2-10 cm arasında değiştiği halde kayada kütleli

teşkil eden en küçük homojen bloklar 5-50 cm arasında bir boyuta sahiptir. Dolayısıyla üzerinde deney yapılacak kaya numunelerinin boyutlarının büyük olması gerekir. Kayaların mühendislik çalışmaları için gerekli mekanik özelliklerinin arazide tespiti toplam kaya mekaniği çalışmalarını kapsamakta, laboratuvar deneylerine göre daha güvenilir ve daha gerçeğe yakın değerler vermektedir. Laboratuvar deneyleri için büyük kaya kütlelerini temsil edebilecek nitelikte numuneler alınabilmelidir.

Mekanik deneylerden olan tek eksenli sıkışma dayanımı yaygın olarak kullanılan deneylerden birisidir: Ancak bazı durumlarda bu deney örneklerinin hazırlanması ve deneyin yapılması pahalı ve zaman alıcıdır. Bu nedenle nokta yükü dayanımı, breziyan ve sonik hız gibi basit deney yöntemleri tek eksenli basınç dayanımını dolaylı tesbit etmek için kullanılmaktadır (Başarır vd. 2004; Kılıç ve Teymen, 2007). Bu deney yöntemleri oldukça basit, hızlı ve maliyeti çok düşüktür. Aynı zamanda detaylı ve uzun süre gerektiren numune hazırlama aşaması yoktur.

1.2. Çalışmanın Amacı

Kaya ortamları heterojen ve anizotrop ortamlardır. Kayaların yapısal özellikleri, mineralojik bileşimi, tanelerin boyutu, dizilişi, şekli, tortul kayalarda çimentonun türü, magmatik kayalarda kristallenme derecesi ve ayrışma durumu gibi özellikleri kaya davranışlarını etkilemektedir. Bu nedenle aynı tür kayalarda bile farklı alanlar için aynı sonuçları elde etmek zordur. Buradan hareketle her ne kadar literatürde benzer çalışmaların varlığı söz konusu olsa da Gümüşhane’de yüzeyleyen magmatik kökenli kaya grupları için petrografik, fiziksel, mekanik ve elastik özellikler arasındaki görgül (ampirik) ilişkileri matematiksel eşitliklerle ifade eden çalışmalar bulunmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı; Gümüşhane il merkezindeki magmatik kökenli kayaların jeomekanik özelliklerinin araştırılmasıdır. Çalışma Gümüşhane ve yakın çevresinde yüzeyleme veren Erken-Geç Karbonifer yaşlı granitler ve Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu’na ait andezitler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmaya konu olan kaya grupları için araziden yaklaşık boyutları 20x30x40cm olan blok örnekler alınmıştır. Daha sonra bu bloklardan laboratuvarda ISRM (2007) tarafından önerilmiş yöntemlerde belirtilen uygun boyutlarda kesilerek silindirik karot örnekler hazırlanmıştır. Aynı zamanda alınan blok örneklerden kayaların petrografik

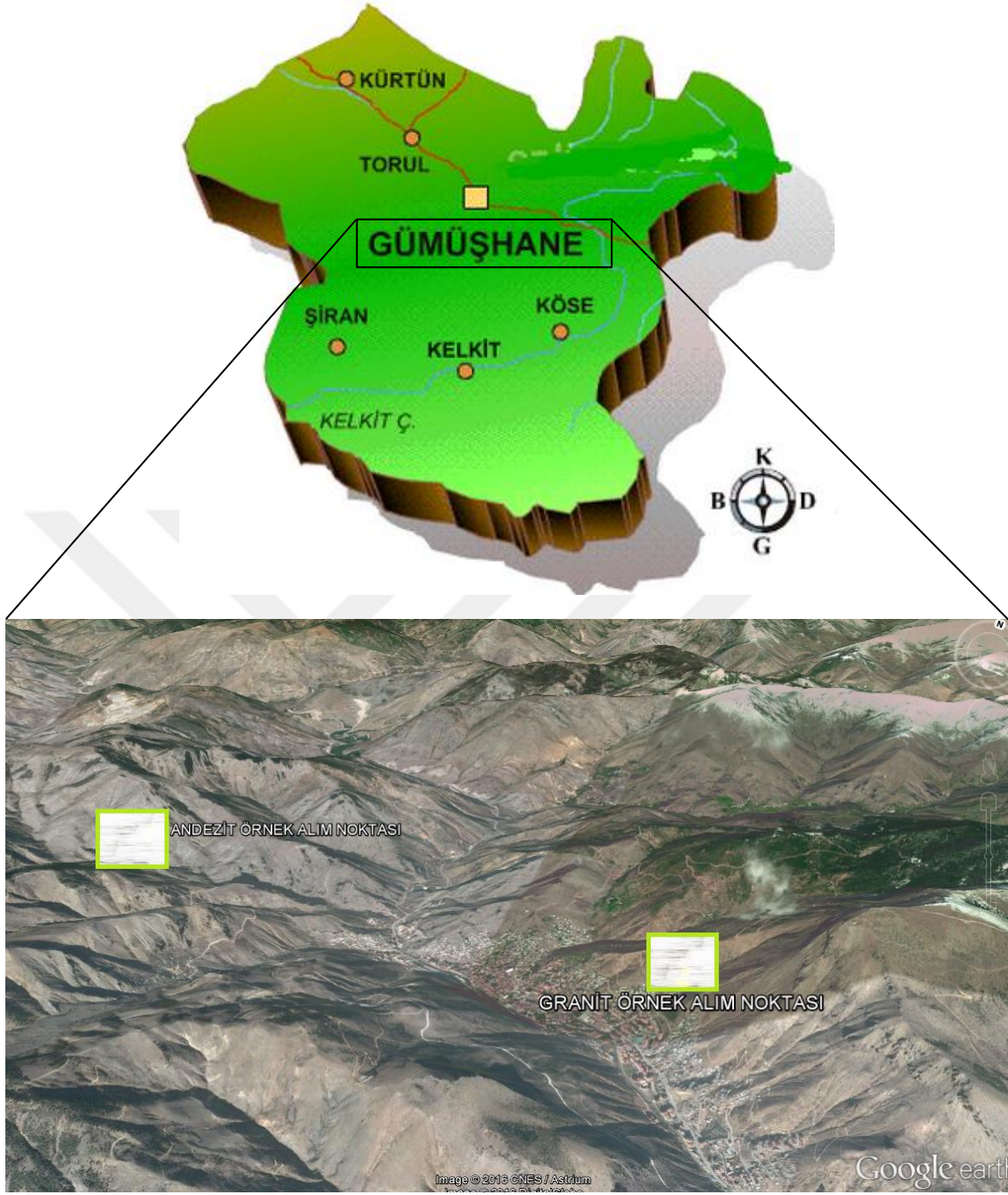
özellikleri ve mineralojik bileşimlerini tespit etmek için her bir örneğin ince kesitleri hazırlanmış olup modal analizleri yapılmıştır.

ISRM tarafından önerilen deney yöntemleri kullanılarak kayaların özgül ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, doymun birim hacim ağırlığı, doğal su içeriği, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, gözeneklilik, boşluk oranı, doymunluk derecesi, ultrasonik boyuna ve enine dalga hızı gibi fiziksel özellikleri bilirlenmiştir. Nokta yükü dayanımı, tek eksenli sıkışma dayanımı, dolaylı çekilme dayanımı gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca kaya malzemelerinin elastik özellikleri hem dalga hızı ölçümlerine bağlı olarak (dinamik elastisite modülü, dinamik poisson oranı) hem de deformasyon ölçümleri alınarak gerçekleştirilen sıkışma dayanımı deneyi ile (statik elastisite modülü, statik poisson oranı) tespit edilmiştir.

Elde edilen deney sonuçları arasında çok sayıda regresyon analizleri gerçekleştirmiş olup belirlenen korelasyon katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları test edilmiştir. Aralarında en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan özellikler arasındaki görgül ilişkiler doğrultusunda önerilen eşitlikler literatürde daha önce belirlenen görgül eşitliklerle karşılaştırılarak uyum ve farklılıklar irdelenmiştir.

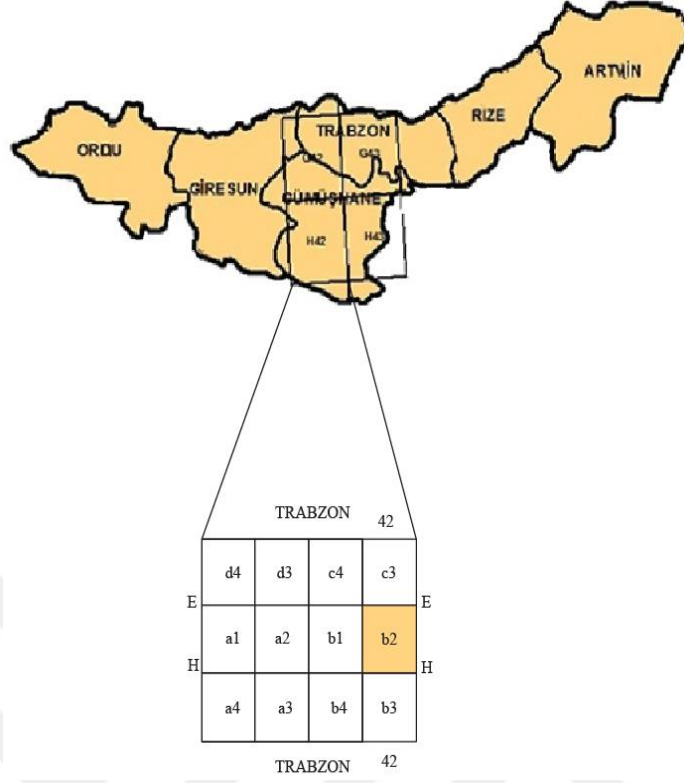
1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Çalışma sahası Doğu Pontidlerin Güney Zonu'nda yer alan Gümüşhane Merkez ve Eski Gümüşhane civarını içine alan ortalama 13km²'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1). Harşit Çayı sahadaki Harşit Vadisi boyunca uzanan ana drenaj hattıdır. Çalışma alanına ulaşım, şehir merkezinden geçen ve birçok anlamda yöreye hayat veren Trabzon-Erzurum devlet karayolundan sağlanmaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (Google Earth)

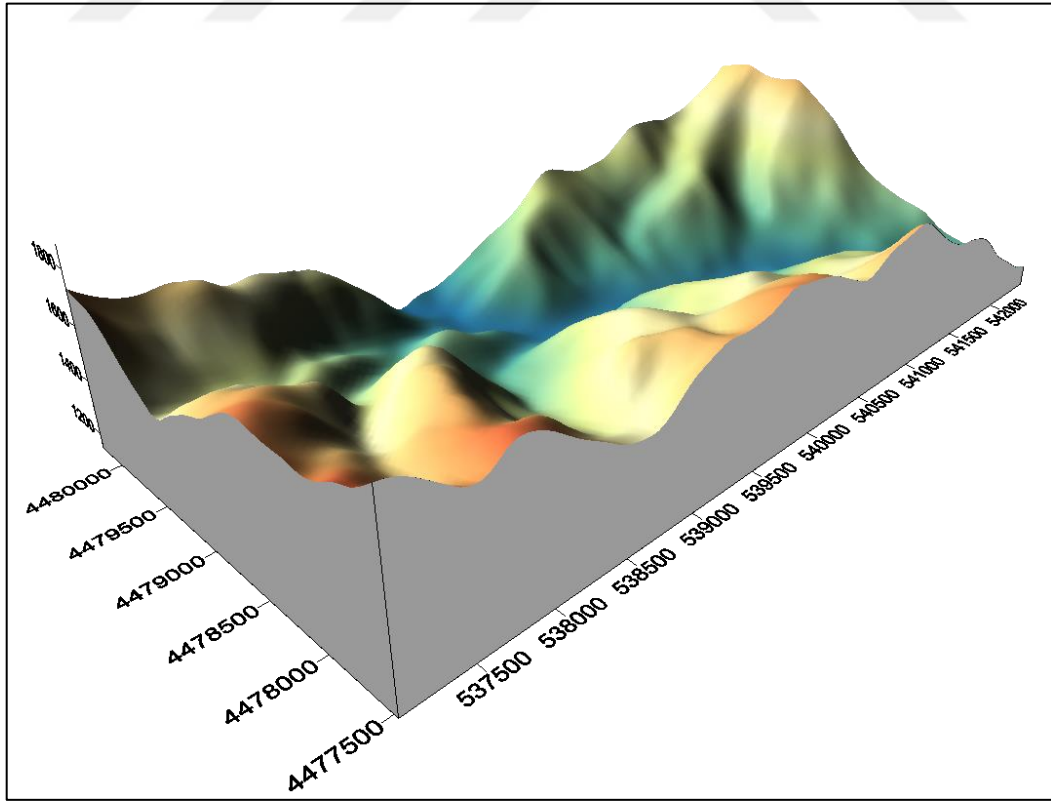
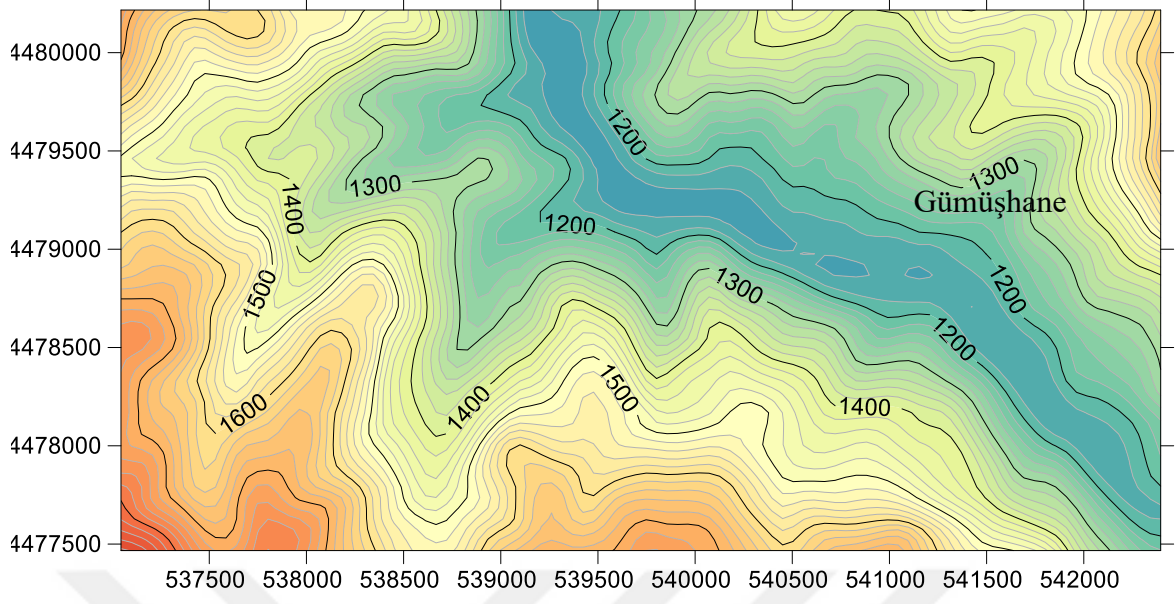
Ülkemizin pafta bölümlenmesi dikkate alındığında inceleme alanı Trabzon H42-b2 paftası içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.2). Gümüşhane ilinin yüzölçümü 6575 km² olup deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1210 metredir. Bu durumu daha açık şekilde gösteren çalışma alanı ve çevresine ilişkin kontur haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 1.3). Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer alan ilin batısında Giresun, güneyinde Erzincan, doğusunda Bayburt, kuzeyinde Trabzon ili bulunmaktadır.



Şekil 1.2. Gümüşhane ili pafta bölümlenmesi

İnceleme alanında topoğrafya oldukça engebelidir. Derin vadiler ve yüksek tepelerden oluşan bir topoğrafya hâkimdir. Yeryüzü şekilleri bakımından Köse, Kelkit ve Şiran ilçelerinin yer aldığı güney kesimi yüksek bir plato özelliği gösterirken, Merkez dar ve derin vadilerle birbirinden ayrılmıştır. İl'in en yüksek noktası 3331 metre ile Abdal Musa Tepesi'dir. Yükselti ortalama 1000 m ile 2000 m arasında değişir. En yüksek tepeler Vangıntaş Tepe (2102 m), Mezra Kayaları (1980 m), Kavaklı Tepe (1868 m), Kalacık Tepe (1848 m), Haneze Tepe (1801 m), Yellikirse Tepe (1785 m), Maden Tepe (1750 m), Fındıklı Tepe (1729 m), Karataş Tepe (1646 m), Aynif Tepe (1662 m), Parmaklık Tepe (1633 m), Karahisar Tepe (1601 m), Kale Tepe (1550 m) ve Şahin Tepe (1528 m)' dir (Çed, 2014).

Gümüşhane yöresinin % 60'ını dağlar, % 29'unu platolar ve % 11'ini ovalar teşkil etmektedir (Çed, 2014). Gümüşhane iklim ve bitki örtüsü özellikleri bakımından Doğu Anadolu ile Karadeniz Bölgesi'nin özelliklerini yansıtmaktadır. Yüksek Zigana duvarları ile Karadeniz'in bunaltıcı nemli havasına set çeken Kop engeliyle de Doğu Anadolu'nun şiddetli soğuklarının gelmesini engellemektedir. İl Doğu Karadeniz Bölgesi'nin iç kısmında 39-41° Doğu Boylamları, 40-41° Kuzey Enlemleri arasında yer almaktadır.



Şekil 1.3. Gümüşhane il merkezi ve çevresini kapsayan kontur haritası

İl genelinde hem karasal hem de Karadeniz ikliminin genel özellikleri görülmesine rağmen birbirine yakın kesimlerde bile iklimde büyük farklılaşmalara rastlanır. Bölgeye ait meteorolojik veriler tabloda verilmiştir (Tablo1.1).

Tablo 1.1. Gümüşhane ili meteorolojik verileri (OSİB. 2014-2016).

Meteorolojik Veriler		Açıklamalar
Ortalama Yerel Basınç (hPa)	879.60	
En Düşük Yerel Basınç (hPa)	853.00	
En Yüksek Yerel Basınç (hPa)	897.80	
Ortalama Rüzgâr Hızı (m/sn)	9.90	Rüzgâr batı yönünde esmektedir
Sis ve Nem Rasat süresi (yıl)	55.00	Yıl boyunca
Ortalama sisli günler sayısı (%)	4.90	
Ekim ayı sisli günler sayısı (%)	0.70	
Ağustos ayı sisli günler sayısı (%)	0.20	
Sıcaklık (°)	30.3-0.1	En sıcak Ağustos, en soğuk Ocak
Buharlaşma rasat süresi (yıl)	19.00	
Ortalama buharlaşma (mm)	952.30	
Günlük en çok buharlaşma (mm)	12.50	
Ortalama yıllık yağış miktarı (mm)	409.20	

Gümüşhane de açık ve güneşli geçen gün sayısı ortalaması 79 gündür. Kapalı geçen gün sayısı ortalaması ise 68 gündür. En bol güneşlenme Temmuz, en az güneşlenme Ocak ve Aralık aylarında olmaktadır. İlde kış ve bahar ayları yağışlı mevsimlerdir. Ancak kışları genellikle yağışlar kar şeklinde, baharları ise yağmur şeklindedir. 2100 metre rakıma kadar olan kısımlarında; çam, göknar, ladin, mazı, meşe, titrek kavak ve Özbek kavağı, büyük yapraklı ıhlamur, dağ akça ağacı, aksöğüt, adi ceviz, sakallı kızılağaç, kiraz, yabani elma, mahlep, sarıçam, kadran ardıcı, bodur ardıç, boyacı sumacı, erik ılgın, yabani fındık, kuşburnu, alıç ve tespiti yapılamayan yüzlerce odunsu bitki bulunmaktadır. Meyve, söğüt ve kavak ağaçlarından oluşan bitki topluluğu daha çok akarsu vadileri boyunca göze çarpar. Daha yüksek kesimlerde ise çam ve meşe türü ağaçlardan oluşan ormanlar yer almaktadır.

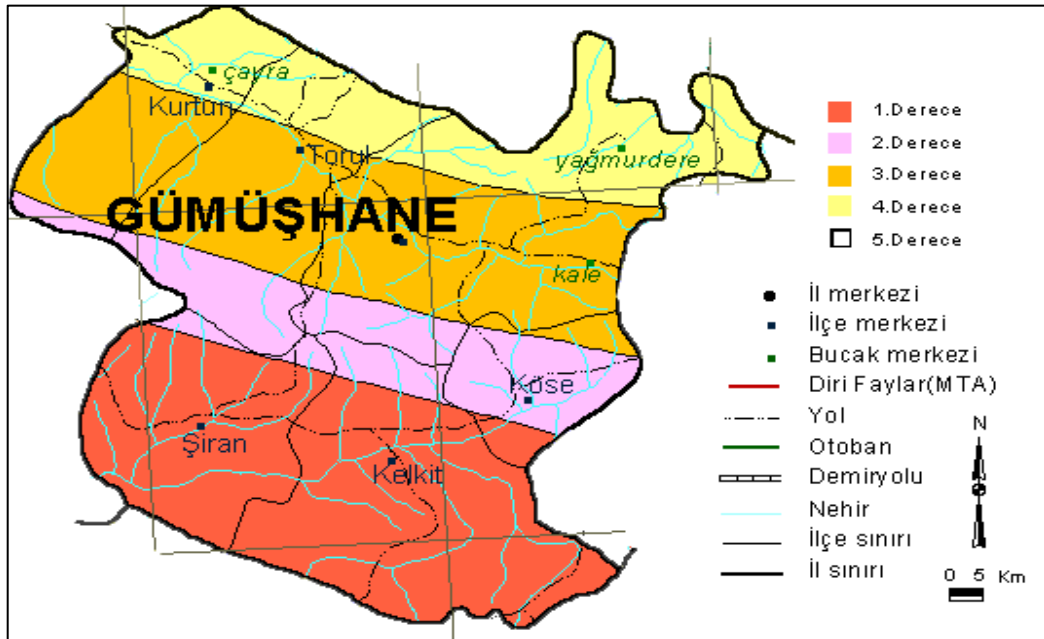
Gümüşhane ilinde yer alan Harşit Çayı vadisinde oluşmuş olan ortalama (20.00 – 30.00m) kalınlığındaki; siltli, killi, kumlu, çakıllı, bloklu alüvyon akifer özelliğindedir. Akiferde beslenme Harşit Çayı'ndan ve yüzeysel akıştan süzülme ile olmaktadır. Harşit Çayı'nda yılda 106 m³ su akifere süzülmemektedir. Gümüşhane'nin yer aldığı Doğu

Karadeniz Havzası'nın yeraltı suyu potansiyeli yaklaşık 436 x 106 m³/yıl olup tamamı işletme rezervini oluşturmaktadır (Çed, 2014).

Sahada oldukça gelişmiş bir akarsu şebekesi görülür. Hemen hemen her mevsim su taşıyan dereler vardır. Bunlardan en önemlilerinden biri Gümüşhane ilinin içinden geçen Harşit Çayı (Gümüşhane Deresi)'dir. Sahada yer alan diğer akarsular Harşit Çayı'nın kolları olup başlıcaları; Arzular Deresi, Turna Dere, Sarı (Haneze) Dere, Eski Gümüşhane Deresi, Hazine Mağara Deresi, Alemdar Dere, Hudra Dere, Limon Dere, Hasara Dere ve Manastır Dere'dir.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü (1996) tarafından hazırlanan Türkiye'nin mevcut tektonik deprem bölgeleri haritasında, (Şekil 1.4) Gümüşhane il merkezi 3. Derece deprem bölgesi iken, Kuzey Anadolu Fay kuşağına yakın Köse, Şiran ve Kelkit ilçeleri I. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Gümüşhane daha çok yaklaşık 80 km uzakta bulunan Kuzey Anadolu Fay kuşağının ürettiği depremlerin etki sahasındadır. 1939 yılında 7.9 ve 1992 yılında 6.8 büyüklüğünde Erzincan'da meydana gelen depremler ilimizde de hissedilmiştir.

Gümüşhane sınırları içerisinde 1979 yılında 5 ve 1985 yılında 5.1 büyüklüklerinde depremler olmuştur. Ayrıca 2008 ile 2010 yılları arasında Köse, Şiran ve Kelkit'i içine alan bölgelerde büyüklükleri 2.6 ile 3.3 arasında değişen küçük depremler meydana gelmiştir.



Şekil 1.4. Gümüşhane ili deprem haritası (1996)

1.4. Önceki Çalışmalar

Literatürde günümüze kadar birçok araştırmacı bölgeyi orojenik gelişim esasını göz ardı etmeden genel jeoloji mineroloji–petrografik ve maden yatakları açısından irdemişlerdir. (Ketin, 1966; Coğulu, 1970; Yılmaz, 1972; Tokel, 1972; Coğulu, 1975; Özer,1984; Bektaş vd., 1987; Çağatay ve Çopuroğlu, 1990; Bektaş vd.,1995; Taslı vd.1996; Arslan vd.,1997; Okay vd.,1997; Topuz, 2000; Yılmaz, 2002; Yenice, 2002; Sipahi, 2005; Eyüboğlu vd., 2006; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Saydam Eker 2008; Akaryalı, 2010; Eyüboğlu, 2010; Topuz, 2010; Vural ve Erdoğan, 2014; Kaygusuz vd., 2011, 2012, 2016; Sipahi vd., 2014)

Kayalarda fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlendiği ve bu özellikler arasındaki ilişkilerin araştırıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur (Tuğrul ve Zarif, 1999; Yaşar vd., 2002; Başarır vd., 2004; Singh ve Sharma, 2008; Ocak, 2008; Ersoy vd., 2009; Kanık, 2010; Tomasic vd., 2011; Alemdağ ve Gürocak, 2011; Altuğ, 2012; Babacan vd., 2012; Karaman ve Kesimal, 2012; Gürocak vd., 2012; Dağ vd., 2013; Dağ vd., 2015; Dağ, 2016).

1.4.1. Bölgesel Çalışmalar

Gümüşhane ili ve çevresi maden yatakları açısından zengin olup pek çok sayıda maden ve çevherleşme ürünleri bulundurmaktadır. Doğu–Batı istikametinde farklı tiplerde gelişim gösteren maden yatakları bölgenin jeolojik oluşumu ile ilgili zenginlik oluşturmakta ve birçok çalışmalara konu olmaktadır.

Özer (1984), Doğu Pontidlerin stratigrafik olarak Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer yaşta olduğunu belirtmiştir. En yaşlı birimlerin Permokarbonifer öncesi düşük metamorfizma geçirmiş şistler olduğunu belirtmiştir. Mesozoyik yaşlı kayaçların ise volkano-tortul seri ile başladığını, üzerine ise yaşlı, kalın tabakalı yer yer kumlu birimler ile dolomit ve kireçtaşlarından oluşan bir birimin geldiğini belirtmiştir. Birimlerin Paleosen sonunda çok fazla aşınmaya maruz kaldığı kanısına vararak Eosen birimlerinin yanal geçişli taban konglomerası ile başlayan volkano-tortul bir istif olduğunu ve deniz ortamından kurtulduğunu ifade etmiştir.

Bektaş vd., (1987), “Doğu Pontidler’de Jura volkanizması ve jeotektoniği” adlı çalışmalarında Erken Kretase yaşlı ofiyolitik serinin Triyas-Liyas yaş aralığına sahip

olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmada Erken Kretase’de belirgenleşen volkanik olayların Erken Kretase yaşlı ofiyolitik istifi şekillendirdiğini belirtmişlerdir.

Arslan vd., (1997), Doğu Pontidler’de yaptıkları çalışmada Doğu Pontidleri Liyas, Üst Kretase ve Eosen olmak üzere üç temel evreye bölmüşlerdir. Her bir evreyi petrografik ve jeokimyasal açıdan incelemişlerdir. Evreleri birbirleriyle karşılaştırmışlar ve volkanik kayaların ada yayında oluşuklarını ifade etmiştir.

Okay vd., (1997), “Doğu Pontidler’in Jeolojisi” adlı çalışmalarında bölgenin stratigrafisini incelemiş ve birimlerin volkanik ve volkanoklastik birimlerce zengin olduğunu belirtmiştir. Bölgedeki tektonik ilişkilere bağlı olarak Mesozoyik- Tersiyer dizisini tanımlamıştır. Çalışma alanında yitimlere, riftleşmelere bağlı olarak toleyitik, subalkalen ve kalkalkalen dizilerin rejyonel gerilmelerle ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

Yılmaz (2002), “Gümüşhane-Bayburt yöresindeki Mesozoyik havzalarının tektono sedimantolojik etken ve özellikleri” adlı çalışmasında Doğu Pontidlerde yer alan Gümüşhane ve Bayburt illerindeki metamorfite ve bunları keserek yükselen granitik kayaların Hersiniyen’in temelini oluşturduğunu ifade etmiştir. Mesozoyik’teki ani fasiyes değişimleri ve farklı kalınlıkların tipik rift ürünleri olduklarının bir göstergesi olduğunu belirtmiştir.

Sipahi (2005), Gümüşhane ve çevresinde yapmış olduğu çalışmada bölgeye hakim olan Kretase yaşlı volkanitlerin hidrotermal ayrışmalarını incelemiş az ayrışmış kayaktan çok ayrışmış kayaca doğru illitleşme, kloritleşme, kaolinitleşmenin arttığı, karbonatlaşmanın ise azaldığının kanısına varmıştır. Ayrışma yaşını potasyum-argon (K-Ar) yöntemine göre belirlemiştir.

Dokuz ve Tanyolu (2006), Doğu Karadeniz’de Yusufeli (Artvin) yöresinde Erken Jura ve Geç Kretase yaşlı kırıntılı kayalar ve tektonik ortamların gelişimleri, hidrolik ayrışma ve dönüşüm süreçlerini değerlendirmek amacı ile detaylı çalışma yapmışlardır.

Saydam Eker (2008), Gümüşhane ili ve çevresinde volkaniklastik ve silisiklastik karakterli Eosen yaşlı kumtaşlarını sedimantolojik ve petrografik olarak incelemiştir. Elde ettiği veriler sonucu Gümüşhane ve civarının yay gerisi havza olduğunu destekler nitelikte veriler öne sürmüştür.

Akaryalı (2010), Arzular yöresinin cevherleşmesi, Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu içinde KD-GB doğrultulu KB’ya eğimli ve yaklaşık DB doğrultulu fay ve kırık zonlara yerleşmiş olan cevherleşmeleri, cevher yapılarını gözlemlemiş ve detaylı bir şekilde çalışmıştır. Eosen yaşlı andezitlerde sıvı kapanımı ile izotop çalışmaları yaparak

cevherleşmenin kökenini ve oluşum sıcaklığını belirlemiştir. Elde edilen verileri irdeleyerek cevherleşmenin hidrotermal damar tipide epitermal sistemde oluştuğunu ortaya koymuştur.

Eyüboğlu (2010), Doğu Pontidler orojenik kuşağında yapmış olduğu çalışmada Doğu Pontidlerin yay gerisi havzasının doldurulması esnasında 2 farklı Geç Kretase döneminde yüksek K volkaniklerinin oluştuğunu, ilk evrenin yüksek Na₂O ve K₂O içeren piroklastiklerle ve trakiandezitlerle, ikinci evrenin ise analsim içeren yani daha önceden var olan mineralin kimyasal değişiklikler göstermesiyle oluşan 2. sınıf bir mineralden meydana gelen alkali bazlı volkanik kayalarla temsil edildiğini belirtmiştir. Yazar, iki volkanik evrenin de benzer jeokimyasal özellikler gösterdiğini, benzer manto kaynağından zenginleştiklerini ve Geç Kretasede doğu Pontid magmatik yayının yay gerisi havza ortamında aynı jeotektonik olaylarla oluştuğunu öne sürmektedir.

Kaygusuz vd. (2011), Doğu Pontidlerdeki Eosen yaşlı Torul volkanitlerinin bazaltik andezit, andezit, trakiandezit ve az oranda da trakidasit ve bunların piroklastiklerinden oluştuğunu, hornblendlerdeki K/Ar yaşlarının, 43.99 ila 33.45 My aralığında olduğunu ve volkanitlerin Orta-Üst Eosen zamanında oluştuklarını belirtmişlerdir.

Kaygusuz vd. (2012, 2016), Doğu Karadeniz Bölgesi Kuzey Zonu'nda ilk olarak Paleozoyik yaşlı granitlerin varlığını ortaya koymuştur. Bu Paleozoyik yaşlı kayalar, Tonya güneyi (Derinoba, Kayadibi, Şahmetlik ve Kızılağaç), Maçka güneyi (Soğuksu) ve Özdil yöresinde yüzeyleme verirler.

Vural ve Erdoğan (2014), Karadeniz tektonik biriminin güney bölümündeki Kırkpavli (Eski Gümüşhane) alterasyon sahasında 29 toprak örneğinin Pb, Zn, Cu, Mn, As iz element analizlerini gerçekleştirmiş olup, oluşturulan korsantrasyon haritalarında özellikle Pb, Zn, Cu, Mn, As elementlerinin alterasyon sahasında geniş anomaliye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Sahanın genel jeolojik özellikleri ve anomali geometrisine dayanarak sahadaki cevherleşmelerin K-KB/G-GD doğrultulu ve D-B doğrultulu bir yöneline sahip olduğunu tespit etmiştir.

1.4.2. Kaya Mekaniği Çalışmaları

Oluşum kökeni olarak kayalar; magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Mühendislik çalışmalarında kullanılan kaya sınıflamaları jeolojik sınıflamadan oldukça farklılıklar göstermektedir. Mühendislik ve kaya mekaniği

çalışmalarında kayaların kökenlerinden ziyade, dayanıklılıkları ve duraylılıkları daha çok önem arz etmektedir.

Kayalar mekanik özelliklerine bağlı olarak sınıflandırılırken hem mekanik hem de jeolojik özelliklerini irdeleyerek sınıflama yapılmıştır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda kayacın mekanik özelliklerinde, kayacı oluşturan mineraller, kristal yapıları ve diziliş şekillerinin etkili olduklarını göstermektedir. Yoğunluk, gözeneklilik v.b değişikliklerin fiziksel özellikleri dolayısı ile de kayaların mekanik özelliklerini değiştirdiği gözlenmiştir.

Tuğrul ve Zarif (1999), farklı bölgelerden aldıkları magmatik kökenli örneklerin mühendislik özellikleri ile petrografik özelliklerini ilişkilendirecek şekilde basit regresyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden derlenen magmatik kökenli örneklerde araştırmacılar test sonuçlarını dağılım, ortalama, standart sapma, varyans gibi istatistiksel parametrelerle irdelemiştir. Numunelerin mineralojik bileşimi kaya dayanımını etki eden önemli özelliklerdendir. Mineral bileşimi ile ilgili olarak, kuvars ve feldispat içeriği mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktördür. Kayadaki mineral bolluklarının farklı dayanımlara neden olduğunu ifade etmiştir. Tane boyutunun dayanıma etki eden birincil parametre olduğunu, küçük tane boyutuna sahip örneklerin yüksek dayanım sergilediğini belirtmiştir. Magmatik kökenli örneklerde artan kuvars içeriğinin toplam gözeneklilik ve kuru birim hacim ağırlık üzerinde önemli etkileri olduğunu kuvars/feldispat oranının artması ile kuru birim hacim ağırlık değerinin arttığını, toplam gözeneklilik değerinin ise azaldığını ortaya koymuşlardır.

Yenice (2002), Tortul kayalar üzerinde yapmış olduğu tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve dolaylı çekilme dayanımı deneyleri ve fiziksel özellikler arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Mekanik özellikler arasında oldukça anlamlı, yüksek korelasyon katsayılarına sahip ilişkiler elde etmiştir. Özellikle, tek eksenli sıkışma dayanımının tahmininde en çok kullanılan nokta yük dayanım indeksi ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip bir ilişki elde etmiştir. Bu ilişki kullanılarak kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarını, nokta yük dayanım indeksinden yola çıkarak belirlemiştir.

Yılmaz vd. (2002), Sivas bölgesindeki alçıtaşlarında tek eksenli sıkışma dayanımı, schmidt sertlik değerleri (N) ve elastisite modülleri (E) arasındaki ilişkileri deneysel çalışmalarla ifade etmişlerdir. Yapılan istatistiksel çalışmalar sonucunda ISRM

standartlarında önerilen metodlarda hazırlamış oldukları örnekleri deneye tabii tutmuşlardır. Güçlü korelasyon katsayıları elde etmişlerdir.

Yaşar vd. (2002), Adana ve çevresinde yapmış olduğu çalışmada inşaat sektöründe yapı kaplama taşlarının fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri istatistiksel olarak belirlemeye çalışmıştır. Altı farklı kaplama taşı üzerinde Schmidt çekici, sertlik indeksi belirleme, gözeneklilik, birim hacim ağırlığı, darbe dayanımı, eğilme dayanımı ve tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerini uygulamışlardır. Darbe dayanımı ve gözeneklilik değerlerinin istatistiksel ilişkilere bağlı olarak belirlenen korelasyon katsayılarının daha düşük olduğunu tespit etmiş ve bu durumun sebebini ise kaya içerisindeki boşluklara bağlamışlardır.

Başarır vd. (2004), kayaların mekanik özelliklerinden tek eksenli sıkışma dayanımlarını basit deney yöntemleriyle elde etmeye çalışmışlardır. Ankara ve çevresinde yaygın olarak bulunan ve üzerinde birçok önemli yapıların inşaa edildiği temel kaya olan Ankara dasitini seçip nokta yük dayanım indeksi, Schmidt çekici, sonik hız deneyleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında ilişkiyi belirlemişlerdir. Her bir bağımsız değişken için basit regresyon analizleri yapmıştır. Elde edilen ilişkiler arasında deneysel sonuçları en iyi temsil eden ilişkiyi belirlemişlerdir. Elde edilen ilişkilerin kuvvetleri biraz düşük olsa da hesaplanan tek eksenli sıkışma dayanımının mühendislik proje tasarım aşamasında kullanılmasının uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Chary vd. (2006), Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı gibi mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik yapmış oldukları çalışmada ultrasonik ölçümler ile elde ettikleri boyuna dalga hızı verilerinden yararlanarak kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri ile boyuna dalga hızları arasında istatistiksel bir ilişkinin olup olmadığını ortaya koymuşlardır.

Singh ve Sharma (2008), magmatik, tortul ve metamorfik kökenli kaya örneklerinde tek eksenli sıkışma dayanımı, suya dayanıklılık indeksi ve ultrasonik dalga hızı değerlerini ölçüm ve deneysel çalışmalarla belirlemiş ve istatistiksel analizler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak sıkışma dayanımı ve suya dayanıklılık değerlerinin dalga hızı değerlerine bağlı olarak belirlenebileceğini vurgulamışlardır. Elde ettikleri verileri irdeleyip istatistik yöntemlerden t testiyle karşılaştırmışlardır.

Ocak (2008), “Tek eksenli sıkışma dayanımını kullanarak kaya malzemesinin mekanik parametrelerinden olan elastisite modülünün tahmini” adlı çalışmasında farklı litolojilere ait örneklerde tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yaparak kayaların dayanımını ve elastisite modülü arasındaki ilişkiyi irdelemiştir. Çalışmada tünel ve

mühendislik yapılarının projelendirilmesinde ana parametrelerden birisi olan elastisite modülünü dolaylı yollarda elde etmeyi hedeflemiştir. Kayacın tek eksenli sıkışma dayanımından yola çıkarak elastisite modülünün büyük bir yaklaşıklıkla kestirilebildiğini öngörmüştür.

Ersoy vd. (2009), kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde ultrasonik dalga hızından yararlanmışlardır. Kayaçların önemli mühendislik özelliklerinin tahmininde çeşitli mekanik ve fiziksel özellikler arasındaki analitik ve ampirik ilişkiler belirlemişlerdir. Ultrasonik hız gibi basit deney yönteminin tek eksenli sıkışma dayanımını ve elastisite modülünü kestirmek amacıyla kullanımının oldukça yaygın olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda doğrudan ve dolaylı yöntemlerle belirlenen kaya özellikleri arasında anlamlı istatistiksel ilişkiler belirlemişlerdir.

Kanık (2010), ultrasonik hız ve gözeneklilik verilerinden yararlanarak traverten, oniks ve kireçtaşı gibi karbonatlı kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının tahminine yönelik eşitlikler geliştirmiştir. Eşitliklere ait regresyon katsayılarının diğer araştırmalarda elde edilenlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna göre analizlerin doğruluk oranının da yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Alemdağ vd. (2011), “Gümüşhane ve yakın çevresinde farklı ayrışma derecesine sahip kaya kütlelerinin kazılabilirlik özellikleri” adlı çalışmalarında ISRM standartlarını temel alarak dört farklı alan oluşturulmuş ve bu alanlardaki kaya kütleleri ayrışma derecelerine göre gruplandırılmıştır. Çalışmada 1, 2 ve 3 numaralı alanlardaki kaya kütlelerinin orta derecede ayrışmış, 4 numaralı alandaki kaya kütlelerinin ise ileri derecede ayrışmış kaya sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra kaya kütlelerinin RMR_{89} , Q ve GSI değerleri belirlenmiş ve kazılabilirlik açısından sınıflandırma yapılmıştır.

Tomasic vd. (2011), çalıştıkları volkanik örneklerde su emmenin bileşim, yapı, doku ve boşluklar gibi özelliklerinin petrografik özelliklere bağlı olduğunu belirtmişlerdir. İgnimbiritlere ait bazı örneklerde taneler arası kaynaşma oranı az, boşluk oranı fazla olan örneklerde suyun hareketi kolay emme süresi kısa iken, taneler arası kaynaşma oranı fazla, boşluk oranı az olan örneklerde ise suyun hareketi zor ve emme süresinin daha uzun olduğunun kanısına varmışlardır.

Alemdağ ve Gürocak (2011), bazaltlarda farklı bozunma derecelerine sahip birleşik ayrışma indeksi (UAI) ile birim hacim ağırlık, su emme, gözeneklilik ve P dalga hızı gibi fiziksel özellikler, tek eksenli sıkışma dayanımı gibi mekanik özellikler ve farklı kimyasal ayrışma indeksleri arasındaki ilişkileri regresyon analizleri ile incelemişlerdir. Regresyon

analizleri sonucunda, bozunma derecesi ile fiziksel ve mekanik özellikler arasında, bozunma derecesi ile kimyasal özellikler arasında kuvvetli ilişkiler elde etmişlerdir. İstatistiksel analizlerden elde ettikleri eşitliklerle, kolay belirlenebilen birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, gözeneklilik ve tek eksenli sıkışma dayanımı gibi deney parametrelerinin yardımıyla bozunma derecesinin belirlenebileceğini ifade etmişlerdir.

Altuğ (2012), “Sıcaklığın yapı malzemesi olarak kullanılan kayalara etkileri” adlı çalışmasında; Türkiye’nin farklı illerinden (Kayseri, Nevşehir, Konya, Kırşehir ve Erzurum) yapı taşı olarak kullanılan veya muhtemel olarak kullanılacak ignimbirit, granit ve traverten kaya türlerinden farklı renk ve dokuya sahip örnekleri almıştır. Bu kaya örneklerini yüksek sıcaklığa maruz bırakıp karakteristik yapılarındaki değişimleri analiz etmiştir. Sıcaklık etkisinde örneklerin fiziko-mekanik özelliklerindeki değişimi irdelenmiştir.

Karaman ve Kesimal (2012), magmatik, metamorfik ve tortul kökenli farklı kaya türlerinde eksenel ve çapsal nokta yük dayanım deneyleri ve görünür gözeneklilik değerlerini kullanarak basit regresyon analizleri gerçekleştirmiştir. Analizlere göre; çapsal nokta yükü dayanım değerinin eksenel yöntemle göre tek eksenli sıkışma dayanımı tahmininde istatistiksel eşitlikler ile daha güvenilir olduğunu belirlemiştir.

Gürocak vd. (2012), kayaların gerilme dayanımlarını tahmin etmek için 24 farklı bölgeden aldıkları örneklerde fiziko-mekanik deneyler gerçekleştirmişlerdir. Birim hacim ağırlık, schmidt sertliği ve nokta yükü dayanım indeksine bağlı olarak kayaların çekilme dayanımını belirlemede yapay sinir ağlarını kullanarak tahmin kapasitesi yüksek bir sigmoidal eşitlik ve modelleme önermişlerdir.

Dağ vd. (2013), Gümüşhane graniti örneğinde donma-çözülmenin jeoteknik özellikler üzerindeki etkisi adlı çalışmasında; Gümüşhane il merkezinde yüzeyleme veren Erken Karbonifer yaşlı ayrışmış granitlerde bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin donma-çözülme çevrimlerini incelemiştir. Bölgenin iklimsel özellikleride dikkate alınarak örnekler üzerinde 25 çevrim donma-çözülme deneyi yapmışlardır. Deney sonrasında tek eksenli sıkışma dayanım, P dalga hızı ve birim hacim ağırlığı değerlerinin azaldığı, ağırlıkça su emme ve görünür porozite değerlerinin ise arttığını belirlemiştir.

Ündül vd. (2014), Çanakkale bölgesinden aldığı örneklerde kayaların dayanım özelliklerinin mineral parajenezi ile ilişkili olup olmadığını irdelenmiştir. Çalışmada mineral dağılımı, mineral boyutları gibi sayısal petrografik parametrelerle mekanik

parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiş olup, mineralin kırılmaya ve çatlakların oluşmaya başlangıcı, hamur malzemesi, mineral içeriği ve mineralin kristallenme boyutunun elde edilen dayanım sonuçlarını doğrudan etkilediği kanısına varmıştır.

Dağ vd. (2015), Magmatik (andezit, granit) piroklastik (andezitik tuf) ve sedimanter (kireçtaşı, kumtaşı) kökenli beş farklı kaya grubundan deney standartına uygun şekilde 426 örnek kullanarak kayalarda gözeneklilik ile nokta yükü dayanım indeksi ve çekilme dayanımı arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını araştırmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda farklı kaya grupları için gözeneklilik değerlerinden yararlanılarak, nokta yük dayanım indeksi ve çekilme dayanımı değerlerinin dolaylı yoldan tahmin edilmesinde anlamlı eşitlikler önerilmiştir.

Dağ (2016), görünür gözeneklilik değerinden hareketle gözeneklilik değerinin kestiriminin söz konusu olup olmayacağını araştırmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmada Gümüşhane çevresinde yüzeyleyen granit, andezit, kireçtaşı, kumtaşı ve andezitik tuf karakterli 5 farklı kaya biriminden eşit sayıda olmak üzere hazırlanan toplam 200 adet silindirik deney örneği kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, çalışılan kaya türlerinde görünür gözeneklilik değerleri ile gözeneklilik değerleri arasında önemli bir farklılık olmadığı görülmüştür. Ayrıca belirlenen eşitlikler kullanılarak sağlıklı bir şekilde, görünür gözeneklilik değerlerinden yararlanarak gözeneklilik değerlerinin dolaylı tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

1.5. Bölgesel Jeoloji

Türkiye'nin orojenik gelişimi Kuzeyden Güneye -Doğu Pontidler, Anatoridler, Toridler ve Kenar kıvrımları kuşağı olmak üzere dört ana tektonik birliğe ayrılmıştır (Ketin, 1966). Gümüşhane il merkezi ve yakın çevresi Anadolu'nun tektonik birliklerinden Pontid Tektonik Birliği'nin Güney Zonu'nda yer almaktadır. Bölgede Paleozoyik'ten Eosen'e kadar değişik yaşta ve farklı litolojide birimler görülmektedir.

Birçok araştırmacı Doğu Pontidler'i kayaç oluşum özelliklerine bağlı olarak farklı şekillerde ayırmışlardır. Bunlardan (Bektaş vd., 1995) Doğu Pontidler'i Kuzey Zon, Güney Zon ve Eksen Zonu olmak üzere üç gruba ayırmışlardır. Kuzey Zon Geç Kretase ve Tersiyer yaşlı volkanik birimlerden oluşmaktadır. Güney zon da ise magmatik aktivitelerin azaldığı Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı sedimanter birimler, metamorfik birimler, ultramafik intruzyonları yani sokulumlar ile Geç Kretase yaşlı volkanitler, Erken Eosen yaşlı adakitler

ve Orta-Geç Eosen yaşlı andezitik-bazaltik volkanik kayaç yer almaktadır (Şekil 1.5). Eksen Zonu ise Kop Dağı ile Erzincan çevresinde yüzeyleyen ultramafik birimler ile Orta-Geç Kretase yaşlı ofiyolitik melanj ile temsil edilir. Her zon farklı doğrultulara sahip faylar ile ayrılmakta olup, faylar bölgedeki cevherleşmeyi kontrol eden tektonik yapılarıdır (Eyüboğlu vd., 2006).

Gümüşhane yöresinin en yaşlı temel kayaçlarını orta-yüksek dereceli bölgesel metamorfizmler oluşturur. Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda yaygın olarak yüzeyleme verirken, Kuzey Zon'da daha seyrek olarak gözlenir (Topuz, 2000). Özellikle temeli oluşturan metamorfizmler granodiyorit, kuvarslı mikrodiorit, granit ve dasitlerden oluşan Erken-Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Plütunu tarafından kesilmiştir. Çalışma alanının da içinde yer aldığı Doğu Pontidler'in Hersinyen tabanını temsil eden bu asidik magmatik sokulum kayaçları, Erken-Orta Jura yaşlı volkano-sedimanter istif tarafından uyumsuz olarak örtülür (Şenköy Formasyonu; Kandemir, 2004). Doğu Pontidlerde Geç Jura'dan itibaren geniş bir yüzeyleme alanına sahip bol fosilli dolomit ve dolomitik kireçtaşları Berdiga Formasyonu olarak bilinmektedir (Pelin, 1977)

Geç Kretase' den itibaren Doğu Pontid Kuzey ve Güney Zonu farklı litolojiler göstermeye baslar. Kuzey Zon yoğun bir magmatik aktivitenin etkisi altındayken, Güney Zon, magmatik aktiviteden uzak türbiditik karakterli bir istif özelliği göstermektedir. Gümüşhane yöresinde Üst Kretase istifi tabanda, ince-orta tabakalanmalı, sarı renkli kumlu kireçtaşları ve yer yer konglomeralardan oluşmaktadır.

Konglomeraların üzerine ise ince tabakalanmalı kırmızı-mor renkli mikritik kireçtaşları ile devam ederek, gri-yeşil renkli tuf ara seviyeleri içeren ince-orta tabakalanmalı kumtaşı, kiltası ve marn ardalanması ile son bulmaktadır. Bu birim Tokel (1972) tarafından Kermutdere Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu birimler Erken Eosen yaşlı Adakitik porfirler tarafından kesilir (Karlı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2011a ve 2013b) ve uyumsuz olarak Alibaba Formasyonu (Tokel, 1972) olarak adlandırılan andezit-bazalt lav ve bunların piroklastiklerinden oluşan birim tarafından örtülür. Gümüşhane ve çevresinde yüzeyleme veren tüm bu birimler yaşları henüz belirlenememiş bazaltik dayklar tarafından kesilmektedir. Yöredeki en genç birimleri ise Kuvaterner yaşlı alüvyon, taraça ve travertenler oluşturmaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kaya Mekaniğine Yönelik Çalışmalar

Literatür incelemelerinden de görülebileceği üzere genel anlamda kayaların mekanik davranışları kaya özellikleri ve çevre faktörlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık, zaman ve çevre basıncı mekanik özellikleri etkileyen çevresel parametreleri oluştururken, kayaların yapısal özellikleri, mineralojik bileşimi, tanelerin boyutu, dizilişi, şekli, tortul kayalarda çimentonun türü, magmatik kayalarda kristallenme derecesi ve ayrışma durumu gibi özellikleri kaya davranışlarını etkileyen kaya parametrelerini oluşturmaktadır. Bu parametreler bütünü ile ele alındığı zaman birbirini etkilemesi ve bunun kayaların dayanım, deformasyon gibi davranışlarına yansımaları beklenen bir durumdur. Bu çalışma ile yukarıda bahsedilen hususlar görgül ilişkilere dayandırılarak aralarında matematiksel bir eşitlikle ifade edilen ilişkiler sağlanmaya çalışılmıştır.

2.1.1. Arazi Çalışmaları

Etkin bir arazi çalışması için temel gerekliliğin iyi bilinip aynı zamanda arazi notlarının alınması ve arazideki birimlerin iyi tanınıp çalışma amacına uygun olarak örnekleme yapılması gerekir. Bu çalışmada ilk etapta arazideki birimlerin yapısal unsurlarını belirlemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca arazi çalışmaları esnasında çalışma alanında daha önce gerçekleştirilen genel jeoloji çalışmaları dikkate alınarak çalışma sahasının jeoloji haritası gözden geçirilmiştir. Birim sınırlarının uyumluluğu arazi çalışmaları ile kontrol edilmiş, 1/25000 ölçekli mevcut jeoloji haritası yeniden değerlendirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere taze ya da az bozunmuş yüzeylerden blok örneklerin alınmasına dikkat edilmiştir. Bölgede detaylı bir çalışma yapılarak andezit ve granit bloklarından yaklaşık boyutları 20x30x40cm olacak şekilde 30 civarında blok örnek alınmıştır.

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

Araziden alınan blok örnekler laboratuvara getirilmiştir. Daha sonra bu bloklardan laboratuvarda ISRM (2007) tarafından önerilmiş yöntemlerde belirtilen uygun boyutlarda silindirik karot örnekler alınarak deney için hazır hale getirilmiştir.

Karot alma ve numune hazırlama işlemi deneylerden sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için, standartlara uygun boyutta ve nitelikte örnek hazırlanacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Silindirik örneklerin hazırlanması aşamasında (Husqvarna dms-240) karot alma makinası, karot kesme ve düzeltme makinası, komparatör (0.001mm hassasiyette), kumpas gibi laboratuvar ekipmanları kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Blokların örnekler (a) ve karot kesim işleme (b)

Blok boyutunda örneklerden silindirik numune alma işlemi gerçekleştirilirken kaya blokları sabitlenmiş şekilde karot alma makinasının tabla kısmına yerleştirilmiştir. Karot makinesine 54 mm (NX karot) çapta olan karotiyer takılarak su ile karot alma işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlemin başlangıcında daha yavaş bir hız uygulanarak başlangıçta karot makinasının zorlanmamasına dikkat edilmiştir.

Delme işlemi tamamlandıktan sonra karot örneği V kanal tablasına yerleştirilerek örneğin kesilmesi işlemi ve daha sonrada örneklerin alt ve üst yüzeyleri aşındırıcı tozlar ile pürüzsüz hale getirilmiştir. Son olarak komparatör saati ile örneklerin alt ve üst yüzeylerinin birbirine paralel olması sağlanarak örnekler deney yapılmaya hazır hale getirilmiştir.

Kayaların petrografik ve mineralojik özelliklerini belirlemek için her bir numuneden ince kesit hazırlanmış ve seçilen örneklerde gerekli görüldüğü durumlarda modal analiz yapılmıştır.

Kaya malzemesinin fiziksel özelliklerini belirlemek için ISRM (2007) tarafından önerilmiş yöntemler esas alınmıştır. İlk olarak deney örneklerinin mevcut haldeki doğal kütleleri tartılarak belirlenmiştir. Karot örnekleri 105 °C' de 24 saat etüvde kurutulduktan sonra tartılarak kuru kütleleri bulunmuştur. Daha sonra 48 saat saf suda bekletilip tartılarak doygun kütleleri belirlenmiştir. Bu verilerden faydalanılarak kayaların fiziksel özellikleri arasındaki bağıntılardan hareketle birim hacim ağırlıkları, ağırlıkça su emme, hacimce su emme (görünür gözeneklilik) ve boşluk oranı değerleri belirlenmiştir.

Kaya malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemek için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem dikkate alınmıştır. Nokta yük dayanım indeksi için boy/çap oranı 1/1-1.4 olan silindirik örnekler kullanılarak çapsal yükleme gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı için standartlara uygun olarak örnekler hazırlanmış (L/D =2.5-3) ve 54mm çaplı NX örnekler kullanılmıştır.

Dolaylı çekilme dayanımlarının belirlenmesinde örnek boyutları çapı kalınlığının yaklaşık 2 katı olacak şekilde hazırlanarak yükleme esnasında yükleme yönünün zayıflık düzlemine dik olarak seçilmesi sağlanmıştır.

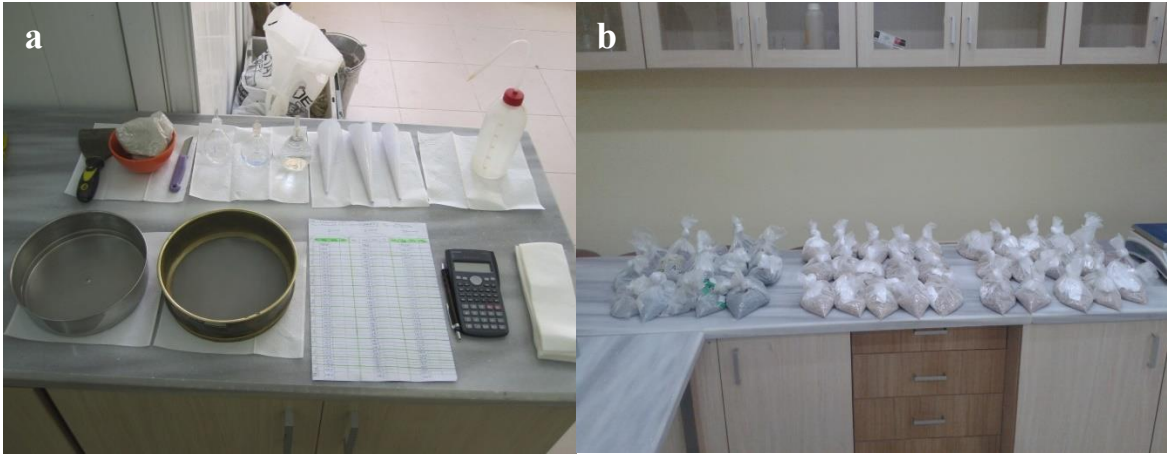
Ultrasonik hız deneyi ile boyuna dalga hızı (Vp) ve enine dalga hızı (Vs) değerleri belirlenmiş ve bu verilerden hareketle dinamik elastisite modülü ve dinamik poisson oranı değerleri tespit edilmiştir. Bulk modülü ve rijidite modülü değerleri ise bu değerlere bağlı olarak hesaplamalar sonucunda belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerin uygulanması mevcut laboratuvar imkanları kullanılarak sağlanmıştır.

Ayrıca statik elastisite modülü değerlerinin belirlenebilmesi için tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri, deney esnasında kayada meydana gelen eksenel ve çapsal deformasyonların belirlenmesi ilkesine dayanan, deformasyon ölçümleri de alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.1.2.1. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık herhangi bir hacimdeki tanelerin ağırlığının aynı hacimdeki su ağırlığına oranıdır. Özgül ağırlık tayini kayacın yoğunluğunun ölçümü ile ilgilidir. Çalışmada özgül ağırlığın belirlenmesindeki amaç örneklerin tane birim hacim ağırlığını

elde etmektir. Özgül ağırlığı belirlemek için ilk etapta her bir örneği temsil eden karotlar çeneli kırıcı ile 40 nolu elekten geçecek şekilde öğütülür. Öğütülen örnekler daha sonra değişmez kütleyle gelecek şekilde laoratuvar koşullarında kurutulur (ISRM, 2007). Kurutulan örnekler karıştırılarak kayayı oluşturan tanelerin homojen bir dağılım gerçekleştirmesi sağlanır. Deney yapılacak örnekler çeyreleme işlemine tabii tutulur. Özgül ağırlığı belirlenecek her bir örnek için 3 adet piknometre deneyi yapılarak deney sonucunda elde edilen özgül ağırlık değerlerinin ortalamasından hareketle örneğin özgül ağırlık değeri belirlenir.



Şekil 2.2. Deneyde kullanılan aletler (a) ve öğütülmüş numuneler (b)

Her bir örnek için yaklaşık 150-200 gram kadar öğütülmüş numune hazırlanır. Bu deneyde 3 adet piknometre (100 ml' lik), terazi (0.01 g hassasiyetli), kuru numune, saf su ve etüv kullanılmıştır.

Piknometre işaretli seviyeye kadar safsu ile doldurulur ardından hassas terazide tartılır (W_1). Özgül ağırlığını bulacağımız örnekten yaklaşık 8-12 g. olacak şekilde tartılır. Tartılan kuru numune (W_k) eksiltmeden piknometreye doldurulur ve piknometre numunenin üzerine kadar safsu ile doldurulur. Piknometre içerisindeki hava kabarcıklarının kalmaması sağlanır. Kademe kademe saf su ilave edilerek hava alma işlemi tamamlanır. Kuru bir bez ile etrafındaki su kurutulur ve tartılır (W_2). Aşağıdaki formül kullanılarak hesaplamalar yapılır. Bu deney en az üç defa tekrarlanmış ve bulunan değerlerin ortalaması alınmıştır.

$$G_s = \frac{W_k}{(W_1 - W_2 + W_k)} \quad (2.1)$$

Eşitlikte;

G_s : Özgül Ağırlık

W_1 : Piknometre+Su (g)

W_2 : Piknometre+Su+Zemin (g)

W_k : Kuru Zemin Ağırlığıdır (g)

2.1.2.2. Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlıkları örneklerin bileşim ve dokusuyla yakından ilgilidir. Düzenli bir geometriye sahip karot veya prizmatik örneklerin kütleli yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılır.

Düzensiz geometriye sahip silindirik örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kompasla birbirine dik yönde ölçülür ve hacimleri hesaplanır. Örneklerin kütleleri 0.01 g duyarlılıkta terazide tartılarak belirlenir. Örneğin o anki koşullardaki kütlelerinin belirlenmesi ile doğal yoğunluğu belirlenir. Kuru yoğunluk için örnek 105 °C' ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulup soğuması sağlandıktan sonra tartılarak kuru kütlesi (W_d) belirlenir. Doymun yoğunluk için ise örnek saf su dolu bir kap içerisinde yüzeyleri tamamen su alacak şekilde bekletilerek boşluklarının suya doymun hale gelmesi sağlanır. Pratik uygulamalarda 48 saat süre ile saf su içerisinde bekletilen örnek doymun hale ulaşır. Bu halde tartılan örneğin doymun kütlesi (W_s) ölçülmüş olur. Buradan hareketle de örneğin doymun yoğunluğu belirlenir. Doğal, kuru ve doymun yoğunluk değerleri (ρ_n , ρ_k , ρ_d) yer çekimi ivmesi (g) ile çarpılarak ilgili birim hacim ağırlık değerleri (γ_n , γ_k , γ_d) elde edilir.

$$\text{Yoğunluk, } (\rho) \text{ (g/cm}^3\text{)}, \quad \rho = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık, } (\gamma) \text{ (kN/m}^3\text{)}, \quad \gamma = \frac{m}{v} \times g = \rho \times g \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte;

ρ ; Yoğunluk (g/cm³)

m; Örnek kütlesi (g)

v; Örneğin hacmi (cm³)

g; Yer çekim ivmesi (9.81m/sn²)

γ ; Birim hacim ağırlık (kN/m³)

2.1.2.3. Ağırlıkça Su Emme

Ağırlıkça su emme değeri kaya ortamlarının ağırlıklarına oranla boşluklarının alabileceği su miktarını ifade etmektedir. Bu değerin belirlenmesinde düzenli bir geometriye sahip kaya örneklerinden (silindirik, kübik) yararlanılmaktadır. Ağırlıkça su emme değeri aynı zamanda kayacın su alabilme kapasitesini de gösteren önemli bir indeks parametredir. Ağırlıkça su emme değeri aşağıda eşitlik yardımıyla belirlenmektedir.

$$\%A_w = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (2.4)$$

Bu eşitlikte;

A_w : Ağırlıkça su emme (%)

W_d : Örneğin doymuş ağırlığı (g)

W_k : Örneğin kuru ağırlığıdır (g)

2.1.2.4. Hacimce Su Emme

Hacimce su emme değeri kaya içerisinde bulunan boşlukların durumunun bilinmesi ve boşlukların birbiri ile olan bağlantılarının ortaya konmasında oldukça önemlidir. Genel olarak kaya örnekleri çok az boşluk içermekte olup çoğu kaya numunelerinde gözeneklilik durumu belirlenirken hacimce su emme değeri dikkate alınmaktadır. Deney düzenli bir geometri gösteren kaya örneklerinde görünür gözenekliliğin tayin edilmesi amacı ile gerçekleştirilir. Deney işlemlerinin yapılmasında ISRM (2007)'de önerilen yöntemler gözönünde bulundurulmuştur. Deney örnekleri önce 105 °C' ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulup soğuması sağlandıktan sonra tartılarak kuru kütlesi (W_k) belirlenir. Daha sonra örnek saf su dolu bir kap içerisinde yüzeyleri tamamen su alacak şekilde bekletilerek boşluklarının suya doymuş hale gelmesi sağlanır (Şekil 2.3.). Bu aşamada örneğin gözenekleri içerisine nüfuz eden suyun buharlaşarak kaybolmasını önlemek için tartım aşaması hızlıca gerçekleştirilmelidir. Ayrıca su ile temas esnasında doymuş hale getirilen örneklerden kaya parçalarının kopması ve kırılması söz konusu olabileceği için bu duruma da dikkat edilmelidir. Bu şekilde örneğin doymuş kütlesi (W_d) belirlenir ve hacimce su emme değeri aşağıda (2.5 ve 2.6) nolu eşitlikler yardımı ile elde edilir.

$$V_v = \frac{W_d - W_k}{\gamma_w} \quad (2.5)$$

$$\%A_v = \frac{V_v}{V} \cdot 100 \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte;

V_v ; Boşluk hacmi

W_d ; Doygun kütle (g)

W_k ; kuru kütle (g)

γ_w ; Suyun birim hacim ağırlığı (g/cm³)

A_v ; Hacimce su emme

V ; Örneğin hacmidir. (cm³)



Şekil 2.3. Etüv ve kür havuzundan bir görünüm

2.1.2.5. Sonik Hız Deneyi

Bu deney kaya örneklerinin dinamik özelliklerinin (dinamik elastisite modülü, dinamik poisson oranı) laboratuvar koşullarında belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilir. Ultrasonik ölçümler kolay uygulanabilir olması ve deney örneklerinin ölçümler esnasında örselenmemesinden dolayı jeoteknik uygulamalarda yaygın bir kullanıma sahiptir. Sonik hız ölçümlerinin temeli bir transdüser tarafından örneğe iletilen sinyalin kaya numunesi içindeki yayılım süresinden hareketle diğer transdüserle iletilmesi esnasındaki hızın belirlenmesi esasına dayanır. Kaya numuneleri üzerinde ultrasonik hız ölçümleri yapılırken

kullanılan transdüser başlıkları ile numune alt ve üst yüzeyleri arasına jel sürülerek başlıkların numune yüzeyi boyunca temas ettirilmesi sağlanır.

Boyuna dalga hızı (V_p) ve enine dalga hızı (V_s) değerlerinin ölçümünde ISRM (2007)'de belirtilen test metodları uygulanmıştır. Ölçümler Pundit Plus test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5). Deney öncesinde sismik hız ölçüm cihazının kalibrasyonu yapılmıştır. P dalga hızı ölçümleri için 54 kHz, S dalga hızı ölçümleri için ise 250 kHz transdüserler kullanılmıştır. Deney öncesinde numune boyları ölçüm cihazına girildiğinden dolayı deney sonunda aşağıda 2.7 nolu eşitlikte verilen dalga hızı değerleri cihaz tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{T} \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte;

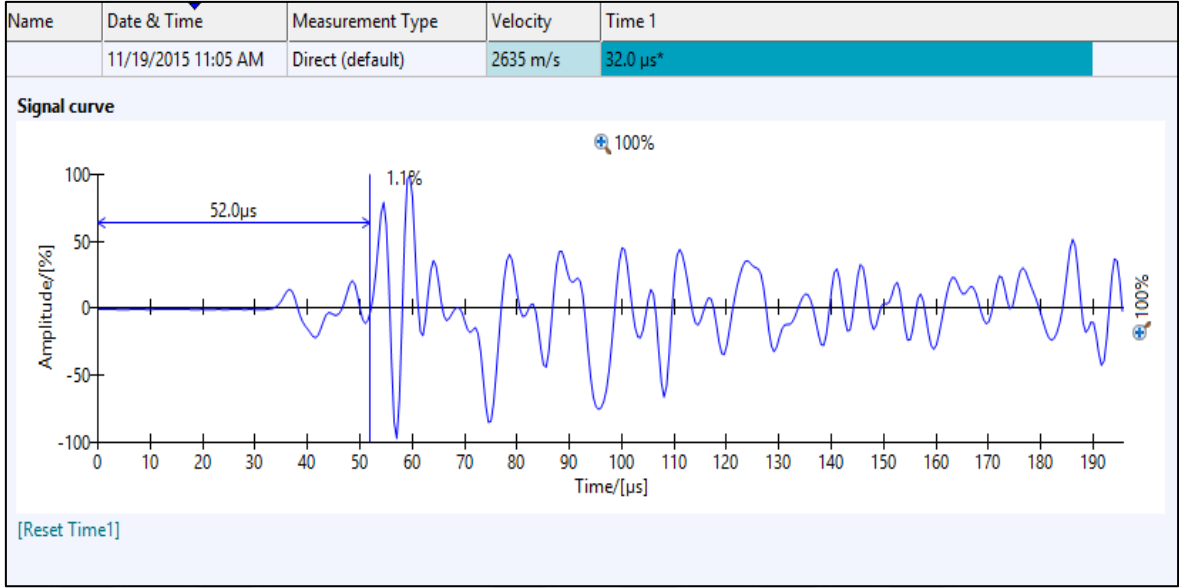
V; P ve S dalga hızları (m/sn)

L; Örneğin boyu (m)

T; Dalganın örneğe geçme zamanıdır (sn.)



Şekil 2.4. Boyuna dalga hızı (V_p) ölçümü



Şekil 2.5. Enine dalga hızı (V_s) ölçümü frekans grafiği

Doygun ve kuru örnekler üzerinde gerçekleştirilen ultrasonik hız deneyi sonucunda Boyuna dalga hızı (V_p) ve enine dalga hızı (V_s) değerleri belirlendikten sonra dinamik elastisite modülü (E_d) ve dinamik poisson oranı (ν_d) değerleri aşağıda 2.8-2.9 nolu eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E_d = 2\rho V_s^2(1 + \nu) \quad (2.8)$$

$$\nu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte;

E_d ; Dinamik elastisite modülü (MPa)

ν_d ; Poisson oranı

ρ ; Yoğunluk (kg/m^3)

V_p ; P dalgasının yayılma hızı (m/s)

V_s ; S dalgasının yayılma hızı (m/s)

2.1.2.6. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Bu deney küp veya silindirik şekle sahip kaya malzemesi örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılır. Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı değeri kaya kütlesi sınıflamalarında ve mühendislik yapı tasarımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ulusay vd., 2011).

Bu çalışmada kaya numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenirken ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Çalışmada boyu çapının 2.5-3 katı arasında olacak şekilde hazırlanan silindirik örnekler kullanılmıştır (Şekil2.6). Deneyde alt ve üst yüzeylerin birbirine paralel, yan yüzeylerin düz-pürüzsüz olmasına ve deney örneklerinin çatlak içermemesine dikkat edilmelidir. Deney sırasında örneğe sabit bir hızda ve sürekli olarak eksenel yükleme yapabilecek yeterli kapasitede hidrolik press kullanılır. Kaya numunelerinde kırılma ve yenilmenin 5-10 dakikada gerçekleşebilmesi için kaya dayanımına uygun yükleme hızı seçilmelidir. Bu nedenle dayanımı düşük olan kayalarda düşük yük aralığı seçilmiştir. Prese monteli başlıklar ve çelik silindirler düz bir şekilde yerleştirilmiş ve yüklemenin sağlıklı yapılmasına dikkat edilmiştir.

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

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$

Bu eşitlikte;

σ_c ; Tek eksenli sıkışma dayanımı

F: Yenilme anında deney örneğine uygulanan kuvvet

A; Yüklemenin yapıldığı örnek yüzeyinin alanı



Şekil 2.6. Tek eksenli sıkışma dayanımı deney örnekleri

2.1.2.7. Elastisite Modülü (E) ve Poisson Oranı (ν) Tayini

Kaya numunelerinin statik elastisite modülü ve poisson oranı değerlerinin belirlenmesinde ISRM (2007) tarafından önerilen deney yöntemi dikkate alınmıştır. Bu yöntem silindirik şekilli karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda gerilme-birim deformasyon eğrilerinin çizilmesi ve bu eğriler yardımı ile statik elastisite modülü ve poisson oranının belirlenmesini esas almaktadır.

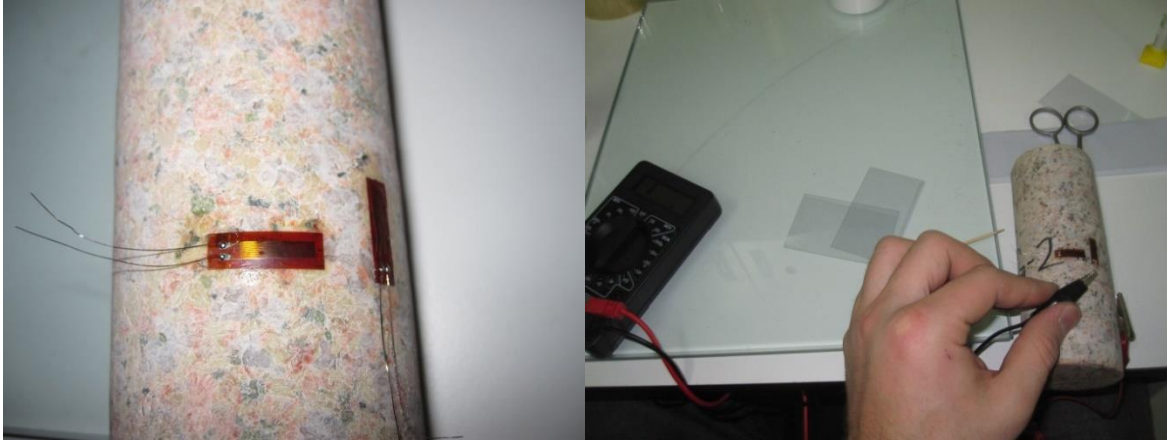
Deney için Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı imkânlarından yararlanılmıştır. Deneyde veri kaydedici (data logger), hidrolik yükleme cihazı (press), birim deformasyon göstergesi, bağlantı kablosu, 120 ohm dirençli birim deformasyon ölçerler ve diğer bağlantı aparatları ile tek eksenli sıkışma dayanımı için hazırlanan deney örnekleri kullanılmaktadır. Genel olarak birim deformasyon ölçerler deney örneklerinin silindirik yüzeylerinin orta noktasına yatay ve düşey yönde olacak şekilde yapıştırılır (Şekil 2.7).

Labotaruvarında hazırlanan örneklerin çatlak ve kırık takımı içermemesine dikkat edilir. Birim deformasyon ölçerlerin örnekler üzerine yapıştırılması işleminde zımpara kâğıdı, Aseton, 120 ohm dirençli, 10mm uzunluğunda deformasyon ölçerler, yapıştırıcı, lehim teli, lehim pastası, lehim aleti (havya), kâğıt peçete, pamuk, aseton, makas, bıçak, cımbız, elektrik bandı ve Ohmmetre kullanmıştır.

Örnekte deformasyon ölçerlerin yapıştırılacağı yüzeyler zımpara kâğıdı ile zımparalanır uygun düz ve pürüzsüz yüzeyler elde edilir. Daha sonra zımparalanan

yüzeyde toz kalmaması için çubuğa takılı pamuk veya peçete asetona batırılarak birim deformasyonların yapıştırılacağı yüzey iyice temizlenir.

Örneklerin merkez noktasından geçecek şekilde eksenler çizilir ve birim deformasyonların yapıştırılacağı alanlar belirlenir. Ohmmetre kullanılarak birim deformasyonlar ölçülerek sağlam olup olmadığı kontrol edilir. 120 ± 2 değer gösteren birim deformasyonlar karot örnekleri üzerine yapıştırıcı sürdükten sonra el değmeden cımbız yardımıyla yapıştırılır. Birim deformasyonların yapıştırıcısıyla iyi nüfuz etmesi ve tamamen yapışması sağlanır. Yapıştırılan birim deformasyonlar tekrar ohmmetre ile ölçülür yapıştırma esnasında bir problem olup olmadığı kontrol edilmiş olur.



Şekil 2.7. Birim deformasyon ölçerlerin örnek üzerine yapıştırılması

Örnek üzerine yapıştırılan birim deformasyon ölçerlerin kontrolü yapıldıktan sonra veri kaydedici (data logger) kablosu ve birim deformasyon ölçerler lehim yapılır. Lehim yapılan deformasyon ölçerler ve bağlantı kabloları dikkatli bir şekilde bantla yapıştırılır ve birbirinden etkilenmemesine özen gösterilir.

Pratik uygulamalarda yaygın olarak deney örneğine biri yatay ve diğeri düşey yönde olacak şekilde iki adet birim deformasyon ölçer (strain gauge) yapıştırılmaktadır. Bununla beraber ISRM (2007) tarafından en az ikişer adet çapsal ve eksenel birim deformasyon ölçerinin kullanılması önerilmektedir. Çalışmada bu durum göz önünde bulundurulmuştur.

Bu şekilde hazırlanan deney numuneleri Şekil 2.8. de gösterilen deformasyon ölçerli deney cihazına bağlanarak yükleme hızı ve gerekli ayarlar yapıldıktan sonra örnekler kırılır. Sabit yükleme altında belirli yük düzeylerinde düşey ve yatay birim deformasyonlar kaydedilir.



Şekil 2.8. Deformasyon ölçerli tek eksenli sıkışma dayanım cihazı

Deformasyon ölçerli tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ile kaya numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanımı değerine ilaveten malzemeye ilişkin önemli elastik parametreler de belirlenir. Bu parametrelerin başında statik elastisite modülü (E_{st}) ve statik poisson oranı (ν_s) değerleri gelmektedir.

Elastisite modülü; kaya örneğine uygulanan gerilmenin, uygulanan gerilme yönündeki birim deformasyona oranı olarak ifade edilir. Silindirik karot örnekler eksenel yönde yüklendiği için elastisite modülü değerinin belirlenmesinde eksenel birim deformasyon değeri (ϵ_a) kullanılmaktadır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_a} \quad (2.11)$$

Bu eşitlikte;

E; Elastisite modülü (MPa)

σ ; Eksenel gerilme (MPa)

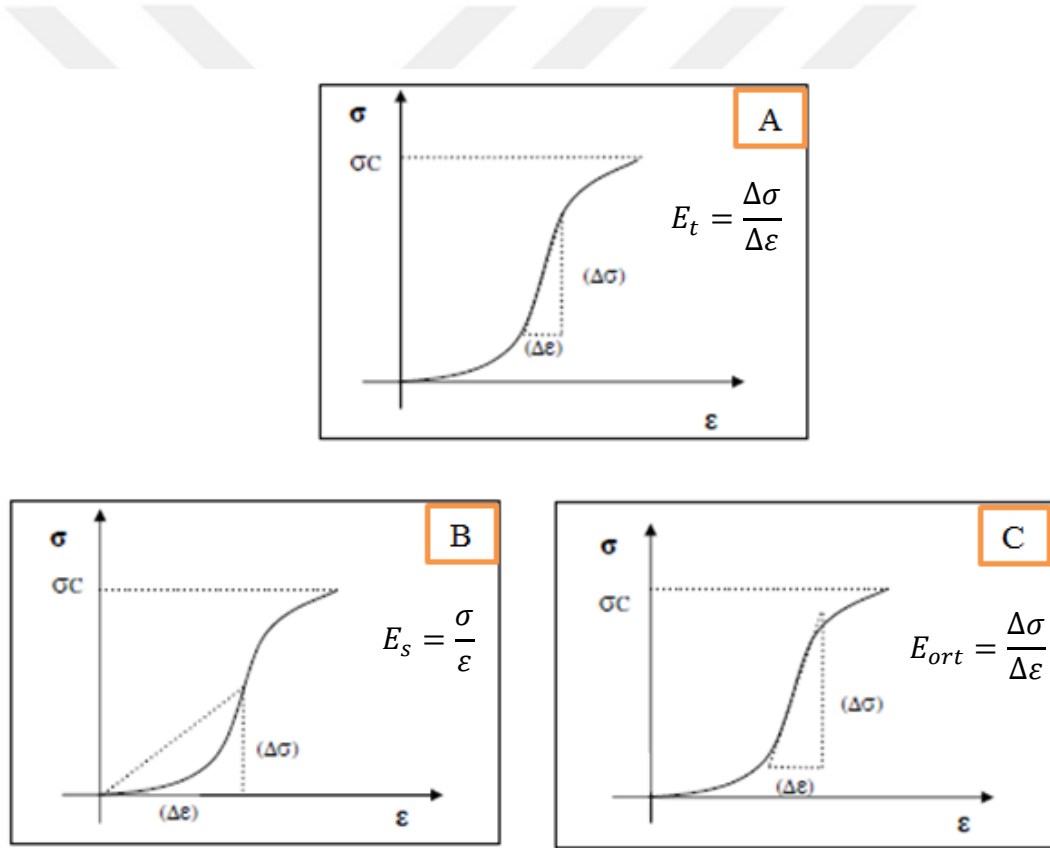
ϵ_a ; Eksenel birim deformasyon değeridir.

Elastisite modülünün belirlenmesinde gerilme-birim deformasyon eğrisinden yararlanılmaktadır. Literatür çalışmaları incelendiğinde her ne kadar Teymen (2005) tarafından 4 farklı elastisite modülü tanımlamasından bahsedilmiş olsa da gerilme-birim deformasyon eğrisi dikkate alındığında yaygın bir kullanım olarak 3 tür elastisite modülünden söz etmek mümkündür. Bunlar;

1- *Teğet Elastisite Modülü (E_t)*; Kaya numunesinin tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin %50'sine karşılık gelen gerilme değeri için gerilme-eksenel birim deformasyon (σ - ε_a) eğrisine teğet olan doğrunun eğimidir (Şekil 2.9a).

2- *Kiriş (Sekant) Elastisite Modülü (E_s)*; Bu değer gerilme-eksenel birim deformasyon eğrisinin (σ - ε_a) başlangıç noktası ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin %50'sine karşılık gelen gerilme değerinin eğriyi kestiği noktayı birleştiren doğru parçasının eğimi olarak ifade edilir (Şekil 2.9b).

3- *Ortalama Elastisite Modülü (E_{ort})*; Gerilme-eksenel birim deformasyon (σ - ε_a) eğrisinin doğrusal kısmının eğimi ortalama elastisite modülü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.9c).



Şekil 2.9. Gerilme-eksenel birim deformasyon eğrilerinden farklı elastisite modülü değerlerinin belirlenmesi.

Poisson oranı (ν) çapsal birim deformasyonun (ε_d) eksenel birim deformasyona (ε_a) oranı olup aşağıda 2.12 nolu eşitlik yardımı ile belirlenmektedir.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_a} \quad (2.12)$$

Bu eşitlikteki çapsal birim deformasyon (ϵ_d) ve eksenel birim deformasyon (ϵ_a) değerleri şu şekilde belirlenmektedir.

$$\epsilon_d = \frac{\Delta D}{D_0} \quad (2.13)$$

$$\epsilon_a = \frac{\Delta l}{L_0} \quad (2.14)$$

Bu eşitliklerde;

ν ; Poisson oranı

ϵ_d ; Çapsal birim deformasyon

ϵ_a ; Eksenel birim deformasyon

ΔD ; Çaptaki değişim miktarı (mm)

D_0 ; Örneğin başlangıçtaki çapı (mm)

Δl ; Örneğin eksenel boyundaki değişim miktarı (mm)

L_0 ; Örneğin başlangıçtaki boyudur (mm).

Literatürde farklı araştırmacılar tarafından (Rahn (1986), Johnson ve De Graff (1988), Goodman (1989), Walthan (1999) ve Duncan (1999)) gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Tablo 2.1) farklı kaya türleri için statik elastisite modülü (E_{st}), dinamik elastisite modülü (E_d) ve poisson oranı (ν) değerlerinin geniş aralıklarda değişim gösterdikleri görülmektedir. Bu değişim kaya türleri arasındaki mineral yapıları, gözeneklilikleri, çimentolanma ve belli kaya türlerindeki anizotropi özellikleri gibi kaya özelliklerine bağlı olarak gelişmektedir.

Tablo 2.1. Farklı kaya türlerine ait elastik sabitler

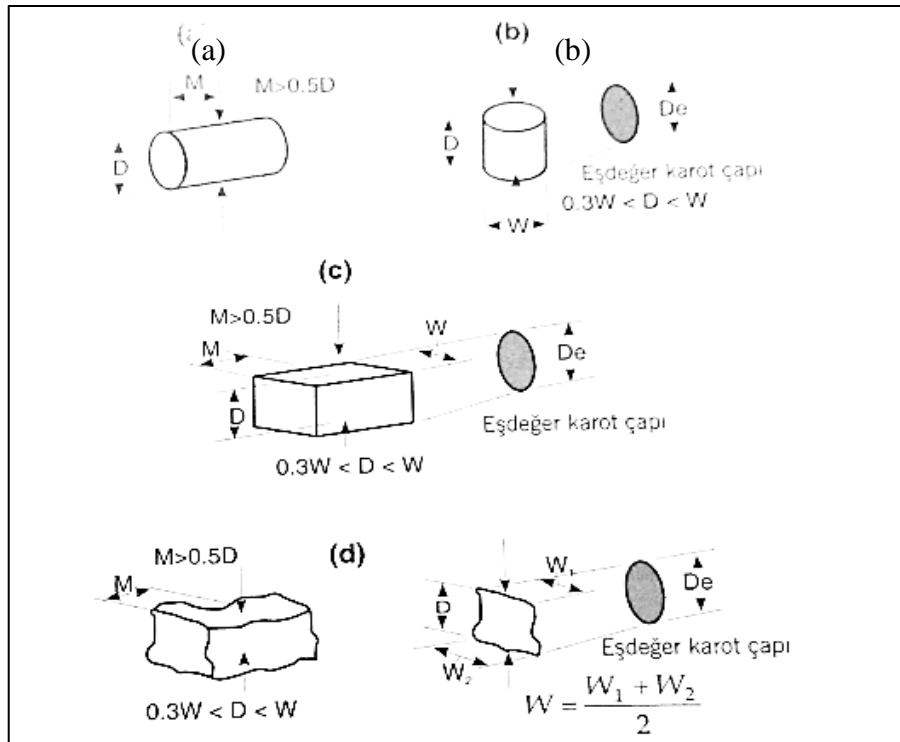
Kaya Türü	Statik Elastisite Modülü E_{st} (GPa)	Dinamik Elastisite Modülü E_d (GPa)	Poisson Oranı (ν)
Andezit	30-40		0.23-0.32
Amfibolit	13-92	46-105	
Anhidrit	1.5-76		
Bazalt	32-100	41-87	0.19-0.38 (0.25)
Diyabaz	69-96	60-98	0.28
Diyorit	2-17	25-44	
Dolomit	4-51	22-86	0.29-0.34
Gabro	10-65		0.12-0.20
Gnays	17-81 (53-55)	25-105	0.08-0.4 (0.20-0.30)
Granit	17-77	10-84	0.1-0.4 (0.18-0.24)
Gri Kumtaşı	47-63	23-107	
Alçıtaşı	15-36		
Kalker	15-90 (29-60)	8-99	0.12-0.33 (0.25-0.30)
Mermer	28-72		0.1-0.4 (0.23)
Marn	4-34	10-49	
Mikaşist	1-20		
Çamurtaşı	3-22	10-70	0.25-0.29
Kuarsit	22-100 (42-85)		0.08-0.24 (0.11-0.15)
Tuz	5-20		0.22
Kumtaşı	3-61	5-56	0.1-0.4 (0.24-0.31)
Şist	6-39 (20)		0.01-0.31 (0.12)
Şeyl	5-30		
Silttaşı	53-75	7-65	0.25
Tüf	3-76		0.24-0.29

2.1.2.8. Nokta Yük Dayanımı Deneyi

Nokta yük dayanımı deneyi ilk olarak bazı çalışmacılar tarafından düzgün olmayan parçaların mukavemetinin tayininde kullanılmıştır (Bilgin, 1979). Bu deney oldukça pratik, ucuz ve arazide de uygulanılabilir olması nedeni ile kaya mekaniğine yönelik çalışmalar gerçekleştiren araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu deney, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yük dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılmıştır. Nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır. Nokta-yük dayanımı deneyinin gerçekleştirilmesi esnasında ISRM (2007) tarafından önerilen standartlara uyulmuştur.

Standart nokta yükleme aleti; yükleme pompası, yükleme kolu, yük paneli, konik başlıklar ve ölçüm cetvelinden oluşmaktadır. Deney silindirik karot örnekleri kullanılarak gerçekleştirilebildiği gibi aynı zamanda blok ve düzensiz şekilli örnekler üzerinde de yapılabilmektedir (Şekil 2.10). Silindirik karot örnekleri üzerinde yapılan deneylerde çapsal veya eksenel yükleme yapılmaktadır. Bu çalışmada kaya örneklerinin nokta yükü dayanım indeksi belirlenirken çapsal deney gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.11). Bu deney için karot örneğinin uzunluğunun çapına oranı (L/D) 1.0-1.4 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Herbir kaya türü için en az 10 örnek üzerinde gerçekleştirilen deneyde örneklerin 10-60 saniye arasında yenilmesini sağlayacak şekilde yükleme yapılmıştır. Örneğin kırılması anındaki yük değeri göstergeden okunarak kaydedilmiştir.



Şekil 2.10. Nokta yük dayanımı deneyinin belirlenmesinde kullanılacak farklı örnek türleri (Ulusay vd., 2011'den alınmıştır).



Şekil 2.11. Nokta yük deney aleti ve silindirik karot örnekler

Nokta yükü dayanımı indeksinin hesaplanmasında aşağıdaki 2.15 nolu eşitlik kullanılmış ve elde edilen sonuçlar 50 mm çaplı standart örneğe göre düzeltilmiştir (Eşitlik 2.16). Düzeltme faktörü 2.17 nolu eşitlikte verilmektedir.

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (2.15)$$

$$I_{s(50)} = FxI_s \quad (2.16)$$

$$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45} \quad (2.17)$$

Bu eşitliklerde;

I_s ; Düzeltilmemiş Nokta-Yük Dayanımı (MPa)

$I_{s(50)}$; Düzeltilmiş Nokta-Yük Dayanımı (MPa)

P; Deney Esnasında Örneği Kırın Yük (kg)

De; Örnek çapı (cm²)

F; Düzeltme faktörüdür.

2.1.2.9. Dolaylı Çekilme Dayanımı

Mühendislik çalışmalarında çekilme direnci değerlerine tek eksenli basınç direnci değerlerinden daha az ihtiyaç duyulmasına karşın, özellikle kayaçların kazılabilirliğinde, yer altı kazılarında, patlayıcı madde kullanımında ve sökülebilirlikte çekilme direncinin bilinmesi gerekmektedir. Literatürde ifade edilen çekilme direnci malzemenin gerçek çekilme dayanımından daha büyüktür. Bu metodla saptanan çekilme direnci birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; numunenin gerçek boyutu, cinsi ve geometrik boyutu, numunenin içyapısı önemli etkindir.

Bu çalışmada kaya örneklerinin çekilme dayanımı belirlenmesinde Brazilian deney yönteminden yararlanılmıştır. Brazilian deneyi disk şeklinde hazırlanan kaya örneklerinin çapsal yükleme koşulları altında dolaylı yoldan çekilme dayanımlarının belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilir (Şekil 2.12).

Deney için yükleme çeneleri, kumpas, yükleme presi kullanılmıştır. Deneyde kalınlığı (t) çapının (D) yarısı olan örnekler kullanılmıştır. Deney örnekleri yan yüzeylere yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde yükleme başlığının altına konan çenelerinin arasına yerleştirilerek deney gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.13).



Şekil 2.12. Disk şeklinde hazırlanan deney örnekleri



Şekil 2.13. Dolaylı çekilme (Brazilian) deney aleti

Deney esnasında örneklerin 15-30 sn arasında yenilmelerini sağlayacak şekilde yük uygulanmıştır. Örneklerdeki zayıflık düzlemleri ile yükleme yönünün birbirine dik olmasına dikkat edilmiştir.

Kaya örneklerinin çekilme dayanımları (σ_t) aşağıdaki 2.18 nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\sigma_t = \frac{F \times 0.636}{D \times t} \quad (2.18)$$

Bu eşitlikte;

σ_t : Örneğin Çekme Dayanımı (MPa)

F: Örneğin Yenilmesi Anındaki Yük (kg)

D: Örnek çapı (cm)

t: Örnek kalınlığı (cm)

2.2. Petrografik Çalışmalar

Kayaç malzemesinin kökeni, rengi, çatlak özellikleri, dolgunun türü ve görünümü gibi bazı özelliklerin arazide yapılan ilk incelemeler esnasında belirlenebilir. Ancak

kayacın isimlendirilmesi, mikro çatlak yoğunluğu, hangi minerallerden oluştuğu ve bu minerallerin kayaç içerisindeki yüzde olarak dağılımlarının belirlenmesi gibi özellikleri tesbit etmek için ince kesit hazırlamak ve tayin yapmak gerekmektedir.

Örneklerin minerolojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi için araziden alınan blok örneklerden her karot örneğini temsil edecek şekilde 35 tanesi andezit, 35 tanesi granitten olmak üzere 70 tane örneğin ince kesitleri kesit hazırlama laboratuvarında yapılmıştır.

İnce kesit hazırlama aşamasında kaya bloklarından kesilerek elde edilen plakalar tek yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde aşındırıcı tozlara sürülür ve pürüzsüz hale getirilir. Daha sonra 2.5x5cm boyutundaki cam üzerine özel bir yapıştırıcı olan Kanada Balzamu sürülür cam ile yapıştırıcı belirli sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra kesilen plaka çam üzerine üzerine bırakılır ve hava kaymayacak şekilde yapıştırma işlemi gerçekleştirilir. Kesilen plaka ile çam lamel kurduktan sonra incekesit makinesi ile belirli aşamaya kadar inceltir. Daha sonra 0.03mm kalınlığa ulaşana kadar farklı numaralardaki aşındırıcı tozlarla inceltirerek petrografik inceleme için hazır hale getirilir.

2.3. İstatistiksel Çalışmalar

Arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen veriler daha sonra istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi için istatistik yöntemlerden basit regresyon analizi kullanılmıştır. Basit regresyon analizi ile değişkenler arasında ilişki araştırılmış ve korelasyon katsayısı değerleri belirlenmiştir.

Basit korelasyon iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini, büyüklüğü ve yönünü araştırırken, regresyon ise, değişkenlerden biri yardımcı ile diğerinin alabileceği değeri hesaplamakta faydalanılan istatistiksel analizlerdir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) . Korelasyon katsayısı belirlendikten sonra bu katsayının anlamlı olup olmadığı test edilmelidir. Bunun için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesinde, korelasyon katsayısı, belli bir anlamlılık düzeyinde ve n-2 serbestlik derecesinde t testi kullanılarak (2.19) nolu bağıntı yardımcı ile test edilmektedir.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2.19)$$

Bu eşitlikte;

t; t testi

n; örnek sayısı

r; korelasyon katsayısıdır.

Formülden elde edilen t değeri (t_h) hesaplanan değerdir. Bu değer tablo değerinden (t_{tablo}) büyük ise korelasyon katsayısı anlamlı bulunur. Bir diğer yöntem ise, değişkenlere ilişkin korelasyon katsayısı değerinin (r), Pearson korelasyon katsayısına ait kritik r değeri ile karşılaştırılması yöntemidir. Bu durumda da ilişkinin anlamlı olabilmesi için değişkenler için belirlenen korelasyon katsayısı değerinin kritik r değerinden büyük olması gerekmektedir. Bu durumda korelasyon katsayısı anlamlı kabul edilir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005, Alemdağ ve Gürocak, 2011).

Tez çalışması kapsamında korelasyon kat sayılarının anlamlı olup olmadığı iki türlü gerçekleştirilmiştir. Bunun için hem verilere t-testi uygulanmış hem de belirlenen korelasyon katsayıları Pearson'un kritik r değeri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yüksek korelasyon katsayısı değerine sahip anlamlı bulunan ilişkiler çalışma açısından önemli görülmüştür. Bu ilişkilere ait eşitlikler çalışılan kaya grupları için petrografik, fiziksel ve mekanik özellikler arasında dolaylı tahmin yapmak için kullanılabilecek görgül ilişkiler olarak değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi

Çalışma alanı Doğu Pontid tektonik birliğinin Güney Zonu'nda yer almaktadır (Ketin, 1966). Çalışma alanı ve çevresine ait litostratigrafi adlama kurallarına göre hazırlanmış stratigrafik kolon kesit, jeoloji haritası ve jeolojik kesit sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmiştir. Çalışma alanı ve çevresinde yüzeylenen birimler yaşlıdan gence doğru aşağıdaki gibidir;

1. Gümüşhane Granitoyidi (Erken-Geç Karbonifer)
2. Şenköy Formasyonu (Jura -Liyas)
3. Berdiga Formasyonu (Geç Jura-Erken Kretase)
4. Kermutdere Formasyonu (Geç Kretase)
5. Alibaba Formasyonu (Eosen)
6. Gözeler Graniti (Eosen)
7. Alüvyon (Kuvaterner)

3.1.1. Gümüşhane Granitoyidi

Gümüşhane ve çevresinde yüzeylenen granitik kayaç topluluğuna ilişkin ilk bilgiler Erguvanlı (1951) ve Ketin (1951) tarafından verilmiştir. Yılmaz (1972), Gümüşhane Graniti diye adlandırırken; Çoğulu (1975), Gümüşhane Plütünü olarak adlandırdığı granitlerin, granitik bir magmanın petrografik yönden farklı evre ürünlerinden oluştuğunu ortaya koymuştur. Gümüşhane Granitoyidi geniş bir yüzeyleme alanına sahip olup, örnek noktaları Emirler ve İnönü Mahallesi civarını teşkil etmektedir.

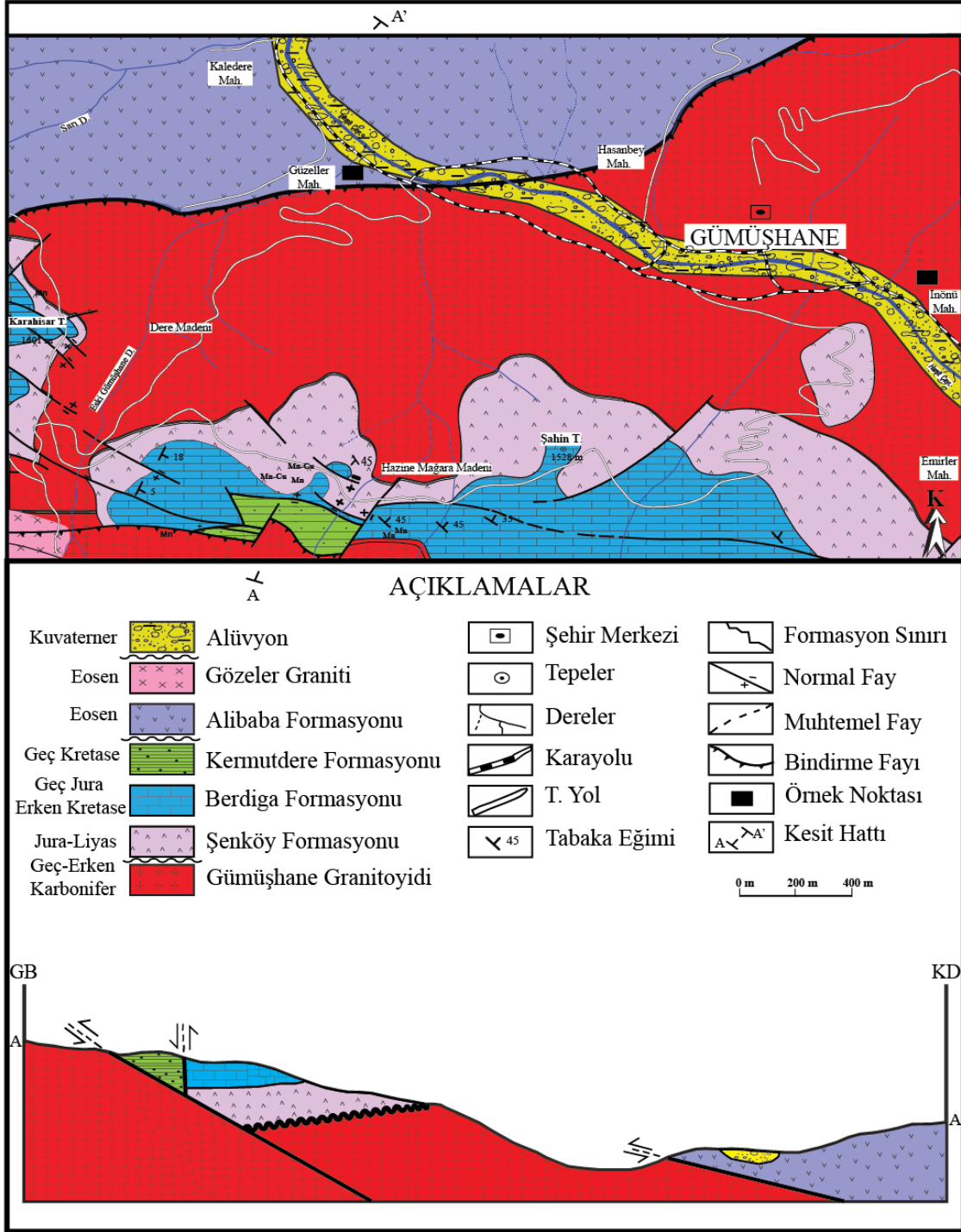
Gümüşhane Granitoyidi pembe renkli olup, bol kırık ve çatlak içermekle beraber, çatlaklar boyunca yer yer ikincil kalsit ve kil dolguları bulunmaktadır. Yüzeysel ayrışmaların yanı sıra makroskobik olarak kuvars ve ferromagnezyen mineraller belirgin olarak izlenebilmektedir.

Çalışma alanının temel kayaçlarını oluşturan Gümüşhane Granitoyidi Topuz (2008) tarafından yapılan U-Pb yönteminde göre 324 milyon yıl, Ar-Ar yaşlandırma yöntemine göre ise 320 milyon yıl olarak belirlenmiştir.

ZAMAN	SENOZOYİK		MESOZOYİK		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
DEVİR	TERSİYER	JURA-KRETASE	PALEOZOYİK			
DEVRE	KUV.	GEÇ KRETASE-PALEOSEN	GEÇ JURA ERKEN KRETASE	PALEOZOYİK		<p>Gözeler Graniti</p> <p>Kumtaşı, kiltası, marn ardalanması</p> <p>Grimsi beyaz ve beyaz renkte, çoğunlukla kalın tabakalı ve dolomitik özellikli kireçtaşı</p> <p>Spilitik karakterli bazalt, tuf ve kumtaşı içeren volkano-tortul kayalar</p> <p>Granit, monzogranit</p>
FORMASYON	ALÜVYON	KERMUTDERE	BERDİGA	GÜMÜŞHANE GRANİTOYİDİ		

Ölçeksizdir

Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresine ait stratigrafik kolon kesiti



Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası ve jeolojik kesiti

3.1.2. Şenköy Formasyonu

Doğu Pontid'lerin Güney Zonu'nda yer alan Şenköy Formasyonu ile ilgili olarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. Birim ilk defa Açar (1977) tarafından Hamurkesen

Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Kandemir (2004) tarafından gerçekleştirilen “Gümüşhane Yöresinde Liyas Yaşlı Şenköy Formasyonu’nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları” adlı çalışmada volkano tortul çökeller incelenmiş ve birikim koşulları göz önünde bulundurularak Şenköy Formasyonu olarak adlandırmıştır.

Bu birim Pontidler’in Güney Zonunda oldukça geniş alanda yayılımlı olarak yüzeylenmekte olup, Hazine Mağara Madeni ve Şahin Tepesinin Kuzeyini kapsamaktadır. Formasyonda en yaygın kaya türünü kumtaşları oluşturmaktadır. Kumtaşlarının yanı sıra yoğun siltli kumlu marn ve kireçtaşı ara katmanları gözlenmektedir. Ayrıca kumtaşları içerisinde yer yer bazaltik, andezitik kayaç parçaları da bulunmaktadır (Ağar, 1977). Şenköy Formasyonu içerisinde bulunan kumtaşlarının tamamına yakını orta-iyi boylanmalı olup, daneli bir doku göstermektedir.

Bu birim inceleme alanında Gümüşhane Granitoyidi’ni uyumsuz olarak örtmektedir. Şenköy Formasyonu’nun yaşı daha önceki çalışmalardan yararlanılarak Geç – Erken Jura olarak yaşlandırılmıştır (Kandemir, 2004).

3.1.3. Berdiga Formasyonu

Berdiga Formasyonu ilk olarak Pelin (1977) tarafından Berdiga Kireçtaşı tanımlanmıştır. Tüm Doğu Pontidlerde Jura-Erken Kretase yaşlı kayaların tanımlanmasında birçok araştırmacı çalışma yapmıştır (Eren,1983; Hacıaloğlu, 1983; Yılmaz, 1997). Berdiga Formasyonu çalışma alanının güneyinde olup, Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu dokanağına doğru orta tabakalanmalı geçiş gösterir.

Kireçtaşlarının hâkim olduğu Formasyon’da birimler yüksek rölyefli ve gri rengi sayesinde arazide rahatça gözlenebilmektedir. Formasyon, orta-kalın tabakalı bir yapı sunması, taze yüzeylerinin gri ve ayrışma yüzeylerinin ise çoğunlukla kırmızımsı renkte olması, karstik boşluklar içermesi diğer birimlerle karşılaştırıldığında daha dik bir topografyaya sahip olması sebebiyle arazide kolayca tanınabilmektedir.

Formasyon’da şimdiye kadar yapılan çalışmalarda Erguvanlı ve Baykal (1952), ile Kahraman (1985), kireçtaşlarına Jura-Erken Kretase, Pelin(1972) ve Eren (1983) tarafından Dogger-Malm ve Güven (1993) tarafından ise birime Malm-Erken Kretase yaşı verilmiştir.

3.1.4. Kermutdere Formasyonu

Formasyon ilk olarak Tokel (1972) tarafından isimlendirilmiştir. Tokel (1972) Formasyon'un tabanda kalın bir konglomera seviyesi bulunduran volkanik arakatlı transgresif bir seriden oluştuğunu ifade etmiştir. Güven (1993) Mescitli Formasyonu adında inceleyip daha sonraki çalışmasında ise Kermutdere Formasyonu adının kullanılmasını uygun görmüştür. Kermutdere Formasyonu, Eskişehir Mahallesi'nin batı ve Kuzeybatısında yüzeyleme vermektedir.

Kermutdere Formasyonu'nun rölyefi belirgin olup diğer birimlerden kolayca ayırt edilmektedir. İstifte derecelenme, hızlı taşınma ve çabuk çökmenin kanıtını taşımaktadır. Formasyon Pelin (1977) ve Eren (1983) tarafından da çalışılmış ve yanal devamlılığı olmayan kireçtaşı birimlerinin üzerine bordomsu yani kırmızı renkli kireçtaşlarının geldiği ifade edilmiştir. Kermutdere Formasyonu tabanda kumlu kireçtaşları üzerinde volkanik ara katmanlı tortul kaya aralanmasından meydana gelmiş olup Formasyon'un yaşı Geç Kretase-Paleosen olarak kabul edilir (Pelin, 1977)

3.1.5. Alibaba Formasyonu

Gümüşhane yöresinde gözlenen Formasyon Tokel (1972), tarafından çalışılmış ve başlıca andezit bazalt ve bunların piroklastları ile tortul istiftten oluştuğu ifade edilmiştir. Alibaba Formasyonu Kaledere Mahallesi, Güzeller Mahallesi ve civarını kapsamaktadır. Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu içerisinde andezit-bazalt ve piroklastitler gözlemlenmektedir. Bölgedeki andezitler masif yapıdadır. Alibaba Formasyonu, Kermutdere Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelir. Alibaba Formasyonu'nun üyesi olan volkanik birimlerinde yapılan U-Pb yaşlandırma analizleri sonucunda (44.68 ± 0.84 my) Eosen yaşı elde edilmiştir (Eyüboğlu vd., 2013).

3.1.6. Gözeler Graniti

Eski Gümüşhane'nin güneyinde yer alan bu birim Kabaköy Formasyonu'nu kestiği için yaşının Geç Eosen olduğu tahmin edilmektedir. Bölgede tüm cevherleşmelerin genç granitik sokulumlara bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. Makroskobik olarak örnekler

incelendiği zaman koyu renkli minerallerin fazlalığı ve oldukça sert kompakt yapıda olduğu dikkat çekmektedir (Erşen, 2013).

3.1.7. Alüvyon

Alüvyon Harşit çayı kenar kısımlarında ve akarsu vadisi boyunca birikim göstermektedir. Killi, siltli, kumlu, çakıllı ve bloklu malzemedir oluşmaktadır. Bölgede ki en geç birim alüvyondur. Çakıl, kum ve kil boyutlu taneler genellikle yakın çevredeki kayalardan türemiştir.

3.2. Çalışılan Andezit ve Granitlerin Petrografik Özellikleri

Mühendislik çalışmalarında kayaların petrografik özellikleri oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında Güzeller ve İnönü mahalleleri çevresine ait 70 adet andezit ve granit ayrı ayrı petrografik tanımlaması yapılmış aynı özellik sergileyenler bir değerlendirilmiştir. Yapılan petrografik incelemelerde kayaların başlıca mineral türleri, dokuları, hamur ve boşluk oranları, opak ve ikincil mineral oluşumları incelenmiştir. Laboratuvarında hazırlanan ince kesitler gliserin kullanılarak polarizan (trinoküler) mikroskopta incelenmiştir. Kesitlerde kayaların mineral tayinleri ve bolluk oranları belirlenmiş olup görüntüleri kaydedilmiştir (Şekil 3.3-3.5).

Gümüşhane ili ve yakın çevresinden alınan granit ve andezit örneklerinin petrografik analizi sonucunda aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir.

Andezitlerin porfirik, kısmen de mikrolitik porfiri ve trakitik doku da olduğu gözlenmiştir.

Plajiyoklas: Yarı öz şekilli ve öz şekilsiz levhamsı haldedir (Şekil 3.3a). Plajiyoklas kristalleri, hamurda da küçük kristaller halinde bulunur. İri kristaller genellikle zonlu yapı gösterir. Yapılan cins tayininde (010'a dik kesit) An içeriğinin 32-38 arasında değiştiği ve andezin olduğu belirlenmiştir. Bazı minerallerde albit ikizi, bazılarında da polisentetik ikiz görülür. Kesitlerde glomeroporfirik dokuya rastlanmış olup plajiyoklasların iç içe geçtiği net bir şekilde görülmüştür (Şekil 3.3a). En yaygın ayrışma ürünleri kalsit, klorit ve kil minerallerinden oluşur (Şekil 3.3b). Özellikle incelenen kesitlerde killeşme ve serizitleşme

yoğun olarak görülmektedir. Bazı kesitlerde minerallerin tamamı altera olduğu görülmüştür.

Kuvars: Genelde iri ve öz şekilli kristaller halindedir. İri kristallerin bazılarının kenarları hamur tarafından yenmiştir. İri kristaller genelde dalgalı sönme gösterirler ve kırıklı yapıdadırlar. Kesitlerde yer yer ikincil oluşumlu kuvarslar da mevcuttur.

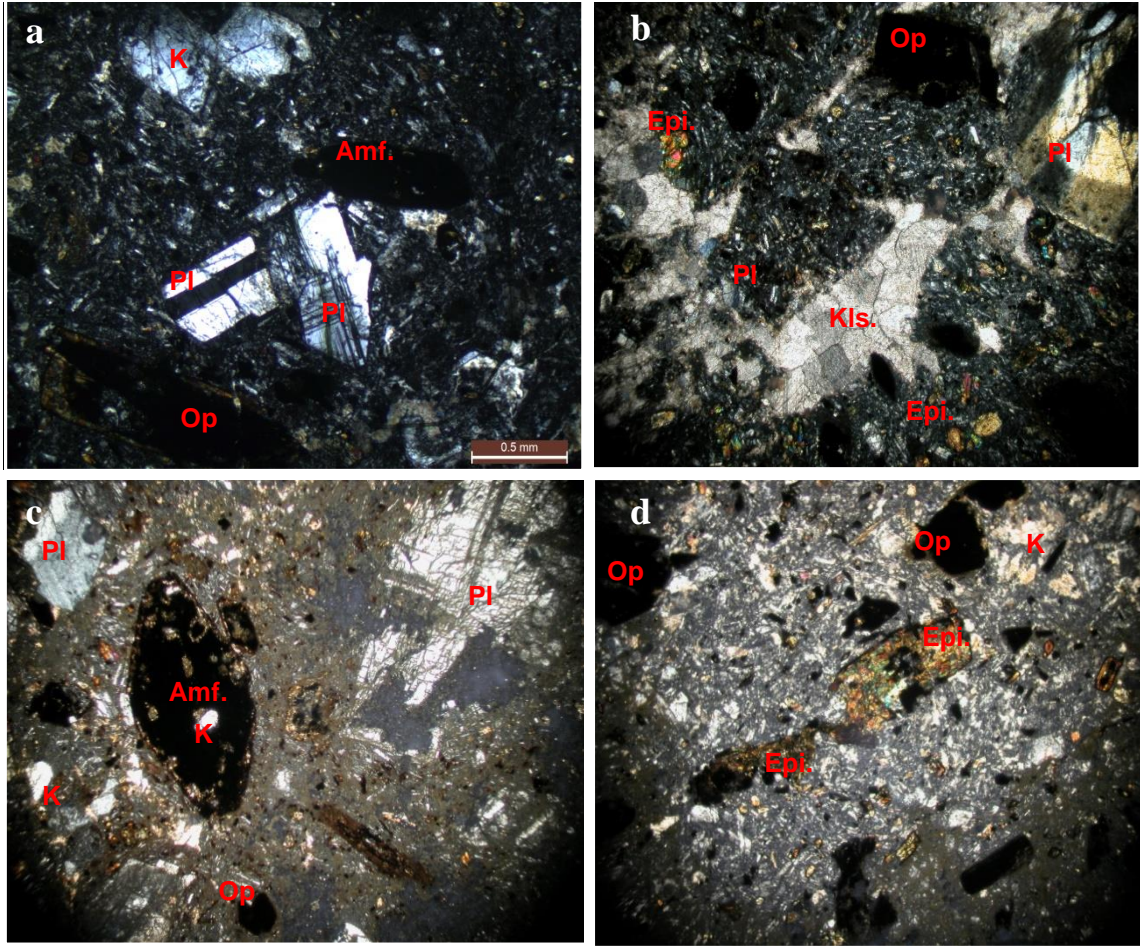
Alkali Feldispat (Sanidin): Çok nadir de olsa iri, öz veya yarı öz şekilli kristaller halinde olup hamurda küçük kristaller halinde bulunur. Bazı minerallerde karlsbad ikizlenmesi gözlenir.

Amfibol: Orta boyutlarda, özşekilli ve nadiren yarı özşekillidir. Uzun altıgen biçimde görülmektedir. Kısmen kloritleşmiş ve hematitleşmiştir (Şekil 3.3c).

Opak mineral: Az miktarda küçük taneler halinde dağınık ve saçınımlı olarak bulunur (Şekil 3.3d).

Hamur: Mikrolitlerce zengin olan hamurda plajiyoklas, kuvars, biyotit, hornblend ve opak mineral kristallerinden oluşmuştur.

Kayaç adı: Kuvarslı Andezit



Şekil 3.3. Andezitlerin çift nikolde mikroskobik görüntüleri (a ve d; A4-2 nolu örneklerin çift nikolde görünüşleri. c ve b; A8-4 nolu örneğin çift nikolde görünüşleri. Ç.N:Çift nikol, Pl: plajiyoklas, K: kuvars, Amf: amfibol, Epi: Epidot Op: opak mineral, Kls: kalsit dolgu)

Gümüşhane graniti makroskobik olarak pembemsi ve grimsi renkli olup iri ve bol kuvars kristalleri içermektedir. Mikroskobik olarak taneli, mirmekitik ve yazı dokusu göstermekte olup kuvars, plajiyoklas, alkali feldispat, biyotit, muskavit, opak mineral ve kalsit minerallerinden oluşmaktadır.

Kuvars: Kuvars minerali magmadan gelen fenokristaller tarafından yenmiş yani korrede olmuştur. İnce kesitin bazı bölgelerinde yer yer öz şeklini korumuş olarak da görülmektedir. İç içe girmiş küçük kuvars taneleri mevcuttur (Şekil 3.4b). Kayaçta %30-37.30 oranında bulunur (Tablo 3.1).

Alkali Feldispat (Ortoklas): İnce kesitte iri taneli yarı özşekilli kristaller halinde bulunmakta ve bazen karlspat ikizi göstermektedir (Şekil 3.4c). Kayaçta %30-36.60 oranında bulunur (Tablo 3.1).

Plajiyoklas: Özşekilli, yarı öz şekilli ve özşekilsiz taneler halinde görülür. Bazı plajiyoklaslar zonlu yapıda olup halkalı zonlanma gösterirler (Şekil 3.4a) Genellikle polisentetik ikizlenme ve bazılarında ise albit ikizi gözlenir. Kesitlerin bazılarında plajiyoklaslar kırıklı ve serizitleşmiş olarak görülmüştür. Albit ikizi gösteren plajiyoklasların yoğun ve altere olmamışlarında plajiyoklas cins tayinlerine göre bileşimlerinin andezin olduğu belirlenmiştir. Kayaçta %18.20-25.00 oranında bulunur (Tablo 3.1).

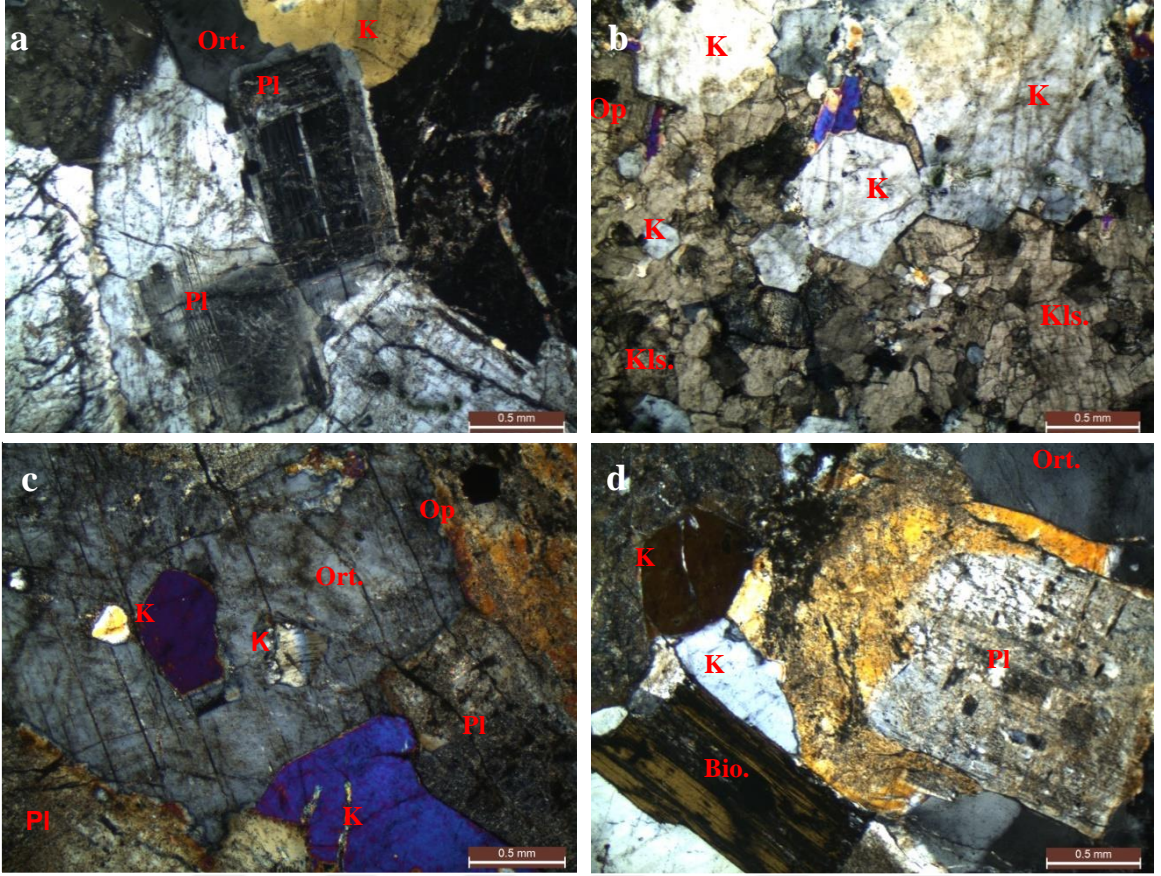
Biyotit: Genellikle küçük prizmatik kristaller halindedir ve bazı kesitlerde görülür. (001) yüzeyine paralel dilinimler belirgin olup, bu dilinimlere göre dik sönmelidir (Şekil 3.4d). X istikametindeki pleokroizma kırmızımsı kahverengi, y ve z istikametindeki pleokroizma sarımsı kahverengidir. Kayaçta %3.30-8.40 oranında bulunur (Tablo 3.1).

Muskovit: Mikroskobik olarak orta taneli, özşekilli, yarı özşekilli olup, kümelenmiş halde bulunurlar (Şekil 3.5a ve Şekil 3.5b). Kayaçta %0.30-2.70 oranında bulunur (Tablo 3.1).

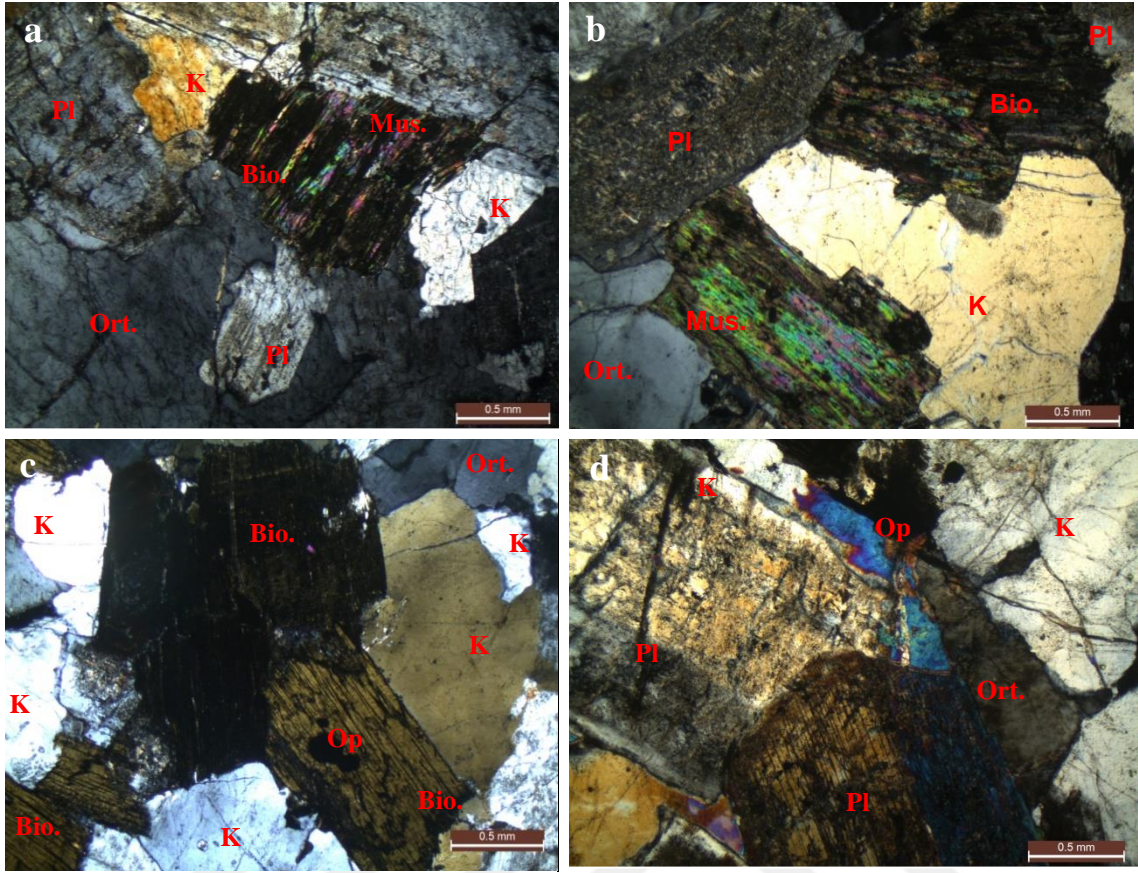
Opak: Değişik ebat ve boyutlarda öz ve yarı özşekilsiz olup cevherleşmiş olarak ta görülmektedirler. Tek ve çift nikolde de siyah renkte görülmektedirler (Şekil 3.5c). Kayaçta %1.30-5.10 oranında bulunur (Tablo 3.1).

Kalsit: İkincil mineral olarak kayaçta %0.50-5.40 oranında bulunur (Tablo 3.1).

Kayaç adı: Granit



Şekil 3.4. Granitlerin çift nikolde mikroskobik görüntüleri (a; G1-3 nolu b; G5-1 nolu örneklerin çift nikolde görünüşleri. C;G1-2 ve d; G1-1 nolu örneğin çift nikolde görünüşleri. Ç.N:Çift nikol, Pl: Plajiyoklas, K: Kuvars, Amf: Amfibol, Epi: Epidot Op: Opak mineral, Kls: Kalsit dolgu, Bio: Biyotit, Ort: Ortoklaz, Mus: Muskovit)



Şekil 3.5. Granitlerin çift nikolde mikroskopik görüntüleri (a; G1-2 nolu örneğin b; G8-1 nolu örneğin çift nikolde ki görüntüleri. c; G1-3 nolu örneğin çift nikolde görüntüsü, d; G1-1 nolu örneğin çift nikolde görüntüsü. Ç.N:Çift nikol, Pl: Plajiyoklas, K: Kuvars, Amf: Amfibol, Epi: Epidot Op: Opak mineral, Kls: Kalsit dolgu, Bio: Biotit, Ort: Ortoklaz, Mus: Muskovit)

Gümüşhane Granitoyidi'ne ait kayaçların mineral bolluk oranını belirlemek için polarizan mikroskopta nokta sayacı kullanılarak modal analizi yapılmış olup mineral içerikleri ve bollukları belirlenmiştir. Modal analiz değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Volkanik kayaları oluşturan minerallerin tane boylarının küçük, hamur malzemesinin fazla olması ve hamuru oluşturan minerallerin saptanamaması nedeni ile andezit örnekleri üzerinde modal analiz çalışması gerçekleştirilememiştir.

Tablo 3.1. Gümüşhane Granitoyidi'ne ait örneklerin modal analiz sonuçları

No	Örnek No	Kuvars %	A.Feldispat %	Plajiyoklas %	Opak %	Biyotit %	Muskovit %	Kalsit %
1	G1-1	34.50	36.50	19.20	3.50	5.20	0.30	0.80
2	G1-2	33.30	35.60	19.80	3.80	5.30	0.70	1.60
3	G1-3	33.40	34.20	19.90	3.60	5.20	1.10	2.50
4	G2-1	35.40	32.10	22.90	2.70	4.40	0.60	1.90
5	G2-2	34.70	33.00	24.50	2.30	3.70	0.50	1.20
6	G2-3	30.90	33.70	24.30	3.40	7.00	0.30	0.30
7	G2-4	33.50	35.20	19.00	2.60	8.40	0.50	0.80
8	G3-1	30.00	35.00	21.60	2.60	6.10	1.10	3.50
9	G4-1	34.70	31.20	23.10	4.50	4.90	0.30	1.30
10	G4-2	35.20	36.00	20.80	3.50	3.80	0.00	0.80
11	G5-1	37.40	32.30	19.40	1.60	3.80	0.00	5.40
12	G5-3	35.00	32.40	20.20	3.80	4.90	2.60	1.10
13	G5-4	34.30	33.60	20.10	5.10	4.30	0.90	1.70
14	G6-1	33.50	30.00	22.50	4.80	6.80	2.20	3.00
15	G7-1	31.30	36.20	18.30	3.70	6.70	2.50	1.30
16	G7-2	34.50	36.60	18.20	2.00	7.10	1.20	0.50
17	G7-3	31.40	34.50	20.00	3.80	8.00	1.80	0.60
18	G7-4	33.00	33.60	18.20	4.00	8.20	2.60	0.40
19	G7-5	34.00	33.90	19.00	2.90	7.30	2.30	0.70
20	G7-6	33.60	33.60	21.00	2.20	5.80	1.00	2.80
21	G8-1	30.50	31.50	25.00	2.30	5.10	4.50	1.00
22	G8-2	32.50	31.60	23.00	3.50	3.80	2.00	3.50
23	G8-3	31.30	35.00	24.60	2.30	4.10	2.70	0.00
24	G8-4	31.00	32.30	25.70	4.30	4.00	1.30	1.30
25	G9-1	34.40	32.60	24.20	1.80	4.90	0.50	1.60
26	G10-1	27.30	31.00	23.70	6.40	7.90	1.70	1.70
27	G11-1	33.40	32.60	24.10	3.30	5.10	0.00	1.40
28	G11-2	33.80	32.00	24.00	3.80	4.60	0.80	1.00
29	G12-1	33.20	34.70	23.70	1.30	6.30	0.30	0.50
30	G13-1	31.50	31.30	24.30	6.50	3.30	2.70	0.30
31	G14-1	35.20	32.00	22.00	2.10	4.30	1.20	2.90
32	G15	34.00	32.40	22.40	3.90	4.60	1.90	0.90
33	G16	33.20	32.60	21.20	2.10	7.20	1.80	1.90

3.3. Magmatik Kayaların Fiziko-Mekanik ve Elastik Özellikleri

3.3.1. Giriş

Çalışmanın amacına uygun olacak şekilde Gümüşhane Granitoyidi ve Alibaba Formasyon'una ait granitik ve andezitik kökenli numuneler üzerinde fiziksel, mekanik ve elastik özellikleri belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Deneyler araziden derlenen kaya bloklarından alınan karotlar üzerinde ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır.

3.3.2. Magmatik Kayaların Fiziksel Özellikleri

Tez çalışması kapsamında fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvar imkânları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada magmatik kayaların özgül ağırlık (G_s), birim hacim ağırlık (γ), ağırlıkça su emme (A_w), hacimce su emme (A_v) ve dalga boyu hızı (V_p , V_s) değerleri yapılan deneysel çalışmalar ve ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca fiziksel özellikler arasındaki bağıntılardan yararlanılarak diğer bazı fiziksel özellikler belirlenmiştir.

3.3.2.1. Özgül Ağırlığın Belirlenmesi

Çalışmada özgül ağırlık değerlerinin belirlenmesi için piknometre deneyinden yararlanılmıştır. Andezit ve granitlerde farklı kaya blokları için ayrı ayrı gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda her bir örnek için üçer adet piknometre deneyi yapılmış ve ortalama değeri hesaplanmıştır. Piknometre deneyi sonucunda andezitlerin özgül ağırlıklarının 2.65-2.73 arasında değiştiği ve ortalama değerin 2.70 olduğu belirlenmiştir. Granitlerde ise özgül ağırlık değeri 2.61-2.75 arasında ve ortalama özgül ağırlıkları 2.69 olduğu saptanmıştır (Tablo 3.2).

3.3.2.2. Birim Hacim Ağırlığın Belirlenmesi

Kayaların bileşim ve dokusuyla yakından ilgili olduğu bilinen birim hacim ağırlık değerleri kayaların en önemli fiziksel özelliklerinden biridir. Çalışmada ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda andezitlerin doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) değerinin 24.37-25.73 kN/m³, kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) değerinin 24.25-25.66 kN/m³ ve doymun birim hacim ağırlığı (γ_d) değerinin ise 24.52-26.05 kN/m³ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında sırasıyla 25.27-25.13-25.45 kN/m³ olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.2).

Granitler için benzer değerlendirme yapıldığında doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) değerinin 25.45-25.97 kN/m³, kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) değerinin 25.32-25.88 kN/m³ ve doymun birim hacim ağırlığı (γ_d) değerinin ise 25.55-26.02 kN/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 25.74-25.66-25.80 kN/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.2).

3.3.2.3. Ağırlıkça Su Emmenin Belirlenmesi

Kayaların su alabilme kapasitesini gösteren ağırlıkça su emme (A_w) değerinin belirlenmesinde 34 adet andezit ve 33 adet granit silindirik kaya numunesi kullanılmıştır. Örneklerin doymun ve kuru kütleleri dikkate alınarak gerçekleştirilen işlemler sonucunda magmatik kayalara ilişkin ağırlıkça su emme değerlerinin (A_w), andezitlerde %0.78-1.86 arasında değiştiği ve ortalama değer % 1.28 olduğu belirlenmiştir. Granitlerde ise benzer şekilde ağırlıkça su emme değerleri (A_w) düşük değerlerde olup % 0.24-0.96 arasında değişim gösterdiği ve ortalama değer %0.56 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.2).

3.3.2.4. Hacimce Su Emmenin Belirlenmesi

Özellikle kaya içerisinde birbirleri ile bağlantılı olan boşlukların saptanmasında önemli olan hacimce su emme (A_v) (görünür gözeneklilik) değerinin tayini için ISRM (2007)'de önerilen yöntemlerden yararlanılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda andezitlerin hacimce su emme (A_v) değerlerinin % 2.02-4.77 arasında değiştiği ve ortalama değerin % 3.28 olduğu belirlenmiştir. Granitlerde ise benzer şekilde hacimce su emme değerleri (A_v) % 0.63-2.50 arasında değişmekte olup ortalama değer % 1.45 olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Magmatik kayaların fiziksel özellikleri

		G_s	γ_n	γ_k	γ_d	A_w	A_v
			kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	%	%
En Büyük	Andezit	2.73	25.73	25.66	26.05	1.86	4.77
	Granit	2.75	25.97	25.88	26.02	0.96	2.50
En Küçük	Andezit	2.65	24.37	24.25	24.52	0.78	2.02
	Granit	2.61	25.45	25.32	25.55	0.24	0.63
Ortalama	Andezit	2.70	25.27	25.13	25.45	1.28	3.28
	Granit	2.69	25.74	25.66	25.80	0.56	1.45
S.Sapma	Andezit	0.027	0.303	0.311	0.312	0.337	0.855
	Granit	0.017	0.156	0.177	0.133	0.219	0.569

3.3.2.5. Ultrasonik Hız Ölçümleri

Bu çalışmada standartlara uygun olarak hazırlanan granit ve andezit örnekleri üzerinde doygun ve kuru koşullarda ultrasonik hız deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deney ile kayaların boyuna dalga hızı (V_p) ve enine dalga hızı (V_s) değerleri belirlenmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda andezitlerde doygun koşullar için P dalga hızlarının 3961-5451 m/sn, S dalga hızlarının ise 2171-3310 m/sn arasında değişim gösterdiği ortalama dalga hızı değerlerinin ise sırasıyla 4928.79 m/sn ve 2716.15 m/sn olduğu tespit edilmiştir. Andezitlerde kuru örnekler üzerinde yapılan ölçümlerde P dalga hızının 3669-5462 m/sn, S dalga hızının ise 2205-3011 m/sn arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Kuru koşullar için ortalama P dalga hızı değeri 4838.41 m/sn, S dalga hızı değeri ise 2739.74 m/sn olarak hesaplanmıştır. Granitlerde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda doygun koşullar için P dalga hızlarının 3850-5812 m/sn, S dalga hızlarının ise 2151-3115 m/sn arasında değişim gösterdiği, ortalama dalga hızı değerlerinin ise sırasıyla 4929.18 m/sn ve 2660.88 m/sn olduğu tespit edilmiştir. Granitlerde kuru örnekler üzerinde yapılan ölçümlerde P dalga hızının 2857-5251 m/sn, S dalga hızının ise 1793-2904 m/sn arasında

değişim gösterdiği belirlenmiştir. Kuru koşullar için ortalama P dalga hızı değeri 4064.58 m/sn, S dalga hızı değeri ise 2423.76 m/sn olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.3. Andezitlerde ultrasonik hız deneyi sonuçları

Örnek No	Doygun					Kuru				
	V _p (m/sn)	V _s (m/sn)	ρ (kg/m ³)	v _d	E _d (MPa)	V _p (m/sn)	V _s (m/sn)	ρ (kg/m ³)	v _d	E _d (MPa)
A1-1	4400	2190	2576.64	0.34	33003.84	3834	2273	2530.72	0.23	32138.94
A1-2	4947	2756	2569.93	0.27	49775.03	4811	2851	2533.93	0.23	50641.14
A1-4	5146	2814	2562.40	0.29	52216.14	5203	2711	2526.72	0.31	48790.07
A2-2	4682	2735	2596.78	0.24	48211.90	5093	3011	2567.32	0.23	57320.29
A2-3	4930	2781	2499.56	0.27	48972.18	5036	2814	2472.06	0.27	49838.96
A2-7	4879	2754	2597.15	0.27	49883.54	4965	2993	2568.91	0.21	55901.19
A2-9	5127	2854	2597.73	0.27	53977.28	5146	2895	2569.50	0.27	54633.81
A2-10	4696	2356	2592.06	0.33	38323.83	4513	2574	2557.36	0.26	42661.88
A3-1	5405	3310	2597.20	0.20	68290.32	5385	2998	2576.62	0.28	59073.88
A3-3	5167	2939	2584.30	0.26	56291.02	5326	2976	2564.01	0.27	57816.32
A3-6	5219	2960	2580.68	0.26	57110.53	5035	2860	2556.51	0.26	52772.85
A4-2	5328	3262	2613.14	0.20	66744.90	5328	2936	2588.38	0.28	57206.44
A4-5	5379	2630	2616.88	0.34	48615.39	5279	2922	2589.92	0.28	56571.43
A4-6	5440	3285	2622.75	0.21	68664.27	5462	2989	2602.49	0.29	59813.38
A5-1	5000	2887	2613.71	0.25	54458.81	4930	2724	2586.89	0.28	49150.05
A5-5	5110	2731	2619.16	0.30	50793.29	4664	2668	2585.19	0.26	46255.25
A5-6	5152	2682	2638.66	0.31	49884.95	4806	2442	2606.48	0.33	41220.44
A6-4	4844	2647	2628.71	0.29	47413.79	4762	2724	2594.88	0.26	48398.80
A6-5	4855	2707	2604.73	0.27	48650.37	4981	2803	2573.06	0.27	51279.43
A6-5.1	4912	2724	2599.67	0.28	49302.86	4828	2761	2565.09	0.26	49159.34
A6-6	4862	2820	2613.10	0.25	51806.61	5054	2828	2581.00	0.27	52516.39
A6-7	4896	2418	2611.92	0.34	40887.17	4732	2743	2573.97	0.25	48299.34
A7-2	3961	2217	2581.46	0.27	32276.23	3895	2289	2543.52	0.24	32949.69
A7-3	4069	2198	2571.96	0.29	32157.36	3669	2205	2529.51	0.22	29942.26
A7-5	4308	2171	2519.86	0.33	31587.09	4177	2570	2476.99	0.20	39114.60
A8-2	4664	2249	2608.89	0.35	35589.42	4385	2569	2563.56	0.24	41914.63
A8-3	4581	2205	2617.86	0.35	34346.14	4214	2630	2574.96	0.18	42068.27
A8-4	4768	2662	2609.07	0.27	47092.72	4675	2647	2567.22	0.26	45475.03
A8-8	4932	2675	2614.71	0.29	48331.76	4708	2466	2568.43	0.31	40951.82
A9-1	4796	2635	2655.64	0.28	47343.74	4879	2754	2615.50	0.27	50236.01
A9-3	4810	2623	2611.90	0.29	46304.96	4810	2694	2564.24	0.27	47324.75
A10-1	5451	3270	2556.17	0.22	66632.78	5328	2981	2536.00	0.27	57338.38
A10-2	5433	3232	2551.42	0.23	65357.59	5308	2942	2529.44	0.28	55971.70
A10-3	5430	2970	2569.46	0.29	58319.84	5285	2908	2548.32	0.28	55291.85

Tablo 3.4. Granitlerde ultrasonik hız deneyi sonuçları

Örnek No	Doygun					Kuru				
	Vp (m/sn)	Vs (m/sn)	ρ (kg/m ³)	v_d	E_d (MPa)	Vp (m/sn)	Vs (m/sn)	ρ (kg/m ³)	v_d	E_d (MPa)
G1-1	5112	2927	2615.11	0.26	56285.85	4377	2635	2601.32	0.22	43918.06
G1-2	5187	2758	2637.34	0.30	52276.03	4441	2482	2623.98	0.27	41151.37
G1-3	5226	2932	2630.41	0.27	57450.69	4399	2487	2616.75	0.27	40951.74
G2-1	5110	3002	2645.31	0.24	58954.91	4125	2653	2635.84	0.15	42568.86
G2-2	4947	2500	2617.87	0.33	43473.46	3994	2390	2608.32	0.22	36385.88
G2-3	4858	2362	2636.02	0.35	39566.46	3881	2473	2624.77	0.16	37183.81
G2-4	4845	2968	2648.31	0.20	55973.78	3895	2296	2639.27	0.23	34330.63
G3-1	4964	2978	2621.61	0.22	56676.62	4295	2451	2606.81	0.26	39417.74
G4-1	5265	3089	2628.54	0.24	62078.62	4441	2780	2617.26	0.18	47648.22
G4-2	5373	2724	2640.74	0.33	52005.56	4521	2575	2628.94	0.26	43924.38
G5-1	4477	2416	2622.71	0.29	39636.76	3596	2121	2597.72	0.23	28824.26
G5-3	4345	2399	2621.91	0.28	38651.59	3366	2080	2597.17	0.19	26767.97
G5-4	4807	2446	2597.91	0.33	41198.75	3937	2322	2575.46	0.23	34251.54
G6-1	5093	2819	2642.59	0.28	53724.60	4308	2724	2629.07	0.17	45528.91
G7-1	3937	2253	2605.77	0.26	33239.76	2915	1837	2582.25	0.17	20401.59
G7-2	3850	2228	2619.07	0.25	32456.78	2920	1836	2596.78	0.17	20537.02
G7-3	3971	2438	2621.13	0.20	37313.52	3018	1930	2603.12	0.15	22379.96
G7-4	4234	2342	2619.92	0.28	36775.36	3065	1937	2604.3	0.17	22816.14
G7-5	3955	2151	2619.92	0.29	31273.94	2857	1806	2598.11	0.17	19782.52
G7-6	3870	2283	2604.54	0.23	33479.47	2878	1793	2581.05	0.18	19629.55
G8-1	5812	2976	2646.97	0.32	61998.60	5251	2887	2639.69	0.28	56471.86
G8-2	5796	3047	2639.46	0.31	64156.96	5182	2904	2631.25	0.27	56410.48
G8-3	5187	2603	2621.92	0.33	47315.53	4317	2509	2603.88	0.24	40813.90
G8-4	5622	2887	2648.91	0.32	58326.99	5018	2857	2637.32	0.26	54255.79
G9-1	5036	2233	2638.74	0.38	36252.59	4272	2323	2626.39	0.29	36568.43
G10-1	5743	3115	2645.32	0.29	66305.34	4897	2895	2639.04	0.23	54470.63
G11-1	5364	2893	2636.8	0.29	57153.00	4545	2772	2626.86	0.20	48598.77
G11-2	5305	2814	2633.19	0.30	54389.43	4441	2780	2622.22	0.18	47738.60
G12-1	5605	3015	2630.63	0.30	62002.50	4843	2902	2622.56	0.22	53885.67
G13-1	5109	2435	2651.94	0.35	42550.19	4375	2800	2638.14	0.15	47699.81
G14-1	5341	2803	2636.76	0.31	54274.79	4247	2146	2628.52	0.33	32165.04
G15	4473	2361	2629.95	0.31	38318.66	3581	2208	2609.82	0.19	30366.41
G16	4844	2612	2629.26	0.30	46460.68	3933	2393	2613.53	0.21	36101.50

3.3.3. Magmatik Kayaların Mekanik Özellikleri

3.3.3.1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Belirlenmesi

Bu çalışmada numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri belirlenirken ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda andezitlerde tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri 54.08-214.36 MPa arasında değişim göstermektedir. Ortalama değerlere göre ise andezitlerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri 117.63 MPa'dır. Granitlerde tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri 24.60-140.15 MPa değişim göstermektedir. Ortalama değerlere göre ise granitlerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri 71.80 MPa olarak belirlenmiştir (Tablo 3.5).

3.3.3.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksinin Belirlenmesi

Bu çalışmada boyu çapının 1-1.4 katı olacak şekilde hazırlanan silindirik numunelerin nokta yüğü dayanımı indeksi değerleri belirlenirken ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Çalışmada örneklerin nokta yüğü dayanım indeksi belirlenirken çapsal yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Her bir kaya türü için 10 örnek üzerinde gerçekleştirilen deneyde örneklerin 10-60 saniye arasında yenilmesini sağlayacak şekilde yükleme yapılmıştır. Örneğin kırılması anındaki yük değeri göstergeden okunarak kaydedilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda andezitlerde nokta yüğü dayanım indeksi değerleri 2.14-6.70 MPa, arasında değişim göstermekte olup andezitlerin ortalama nokta yüğü dayanım indeksi değeri 4.33 MPa olarak belirlenmiştir (Tablo 3.6).

Granitlerde ise nokta yüğü dayanım indeksi değerleri 1.82-5.56 MPa, arasında değişim göstermekte olup ortalama nokta yüğü dayanım indeksi değeri 3.37 MPa olarak belirlenmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.5. Magmatik kayaların deformasyon ölçümlü tek eksenli sıkışma dayanım değerleri

No	Ör. No	σ_c MPa	E_{st} GPa	ν_{st}	Ör. No	σ_c MPa	E_{st} GPa	ν_{st}
1	A1-1	63.95	24.1	-	G1-1	63.62	62.5	0.50
2	A1-2	113.21	40.45	0.18	G1-2	88.99	-	-
3	A1-4	118.04	-	-	G1-3	66.84	75.76	0.24
4	A2-2	137.90	-	-	G2-1	63.00	-	-
5	A2-3	132.24	53.16	-	G2-2	70.70	45.11	0.17
6	A2-7	136.77	-	-	G2-3	37.85	33.33	0.25
7	A2-9	133.36	-	-	G2-4	51.75	41.67	0.49
8	A2-10	71.21	30.00	-	G3-1	111.35	-	-
9	A3-1	97.67	40.00	0.34	G4-1	74.64	-	-
10	A3-3	120.83	41.38	0.46	G4-2	66.56	-	-
11	A3-6	123.44	-	-	G5-1	47.04	29.41	0.44
12	A4-2	108.65	-	-	G5-3	71.15	63.33	0.07
13	A4-5	118.36	50.02	0.24	G5-4	24.60	22.22	0.04
14	A4-6	202.57	-	-	G6-1	60.41	64.52	0.23
15	A5-1	198.84	48.23	0.23	G7-1	46.34	76.7	0.15
16	A5-5	116.06	40.62	0.21	G7-2	37.40	64.48	0.06
17	A5-6	115.24	37.59	0.32	G7-3	37.70	47.17	0.05
18	A6-4	159.21	-	-	G7-4	34.09	54.54	0.05
19	A6-5	162.44	-	-	G7-5	69.40	37.97	0.04
20	A6-5.1	168.34	-	-	G7-6	32.75	49.85	0.08
21	A6-6	143.45	-	-	G8-1	98.65	-	-
22	A6-7	163.43	47.85	0.23	G8-2	117.36	-	-
23	A7-2	95.15	24.75	0.11	G8-3	27.10	27.47	0.03
24	A7-3	54.09	19.80	0.12	G8-4	67.61	49.18	0.43
25	A7-5	65.33	21.46	-	G9-1	73.05	44.25	0.38
26	A8-2	97.22	27.25	-	G10-1	140.15	-	-
27	A8-3	84.96	40.49	-	G11-1	42.36	48.89	0.13
28	A8-4	114.74	37.56	0.11	G11-2	47.64	55.0	0.20
29	A8-8	114.27	-	-	G12-1	128.74	-	-
30	A9-1	120.25	50.00	-	G13-1	52.42	-	-
31	A9-3	132.32	34.60	0.17	G14-1	69.26	61.22	0.12
32	A10-1	127.99	-	-	G15	76.40	76.92	0.06
33	A10-2	214.36	-	-	G16	62.47	66.67	0.16
34	A10-3	85.96	-	-				
En Büyük:		214.36	53.16	0.46		140.15	76.92	0.50
En Küçük:		54.09	19.80	0.11		24.60	22.22	0.03
Ortalama:		117.63	37.33	0.23		71.80	52.09	0.19
Standart Sapma:		42.03	10.39	0.10		26.02	15.76	0.15

Tablo 3.6. Andezit ve granit örneklerine ait nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerleri

No	Ör. No	Yük (P) kg	I_s MPa	$I_{s(50)}$ MPa	Ör. No	Yük (P) kg	I_s MPa	$I_{s(50)}$ MPa
1	A1-1	1425.5	5.0.75	5.21	G1-1	1325.5	4.7.19	4.84
2	A1-4	589.5	2.0.83	2.14	G1-2	956.2	3.3.79	3.47
3	A2-6	1187.5	4.2.12	4.33	G1-3	791.5	2.8.07	2.88
4	A2-7	621.0	2.2.11	2.27	G2-1	1520.6	5.4.13	5.55
5	A4-1	1555.5	5.5.17	5.67	G2-2	542.0	1.9.22	1.97
6	A4-2	1256.0	4.4.38	4.56	G2-3	502.0	1.7.74	1.82
7	A5-2	1494.0	5.2.99	5.44	G2-4	862.0	3.0.57	3.14
8	A7-2	1236.0	4.3.84	4.50	G3-1	678.0	2.4.05	2.47
9	A8-3	667.5	2.3.67	2.43	G4-1	831.5	2.9.49	3.03
10	A8-9	1844.5	6.5.17	6.70	G4-2	1254.0	4.4.31	4.55
En Büyük:				6.70				
En Küçük:				2.14				
Ortalama:				4.33				
Standart Sapma:				1.59				

3.3.3.3. Dolaylı Çekilme Dayanımının Belirlenmesi

Bu çalışmada kaya örneklerinin çekilme dayanımlarının belirlenmesinde Brazilian deney yönteminden yararlanılmıştır. Kaya örnekleri çapsal yükleme koşulları altında kırılarak dolaylı yoldan çekilme dayanımları belirlenmiştir.

Deneyde kalınlığı (t) çapının (D) yaklaşık yarısı olan örnekler kullanılmıştır. Deney örnekleri yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde yerleştirilerek deney gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında örneklerin 15-30sn arasında yenilmelerini sağlayacak şekilde yük uygulanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda andezitlerde çekilme dayanımı değerleri 4.39-17.9 MPa arasında değişim göstermekte olup andezitlerin ortalama çekilme dayanımı değeri 10.57 MPa olarak belirlenmiştir (Tablo 3.7).

Granitlerde ise çekilme dayanımı değerleri 4.15-9.45 MPa arasında değişim göstermekte olup ortalama çekilme dayanımı değeri 6.60 Mpa olarak belirlenmiştir (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Andezit ve granit örneklerine ait çekilme (σ_t) dayanımı değerleri

No	Ör. No	Yük (P) kg	σ_t MPa	Ör. No	Yük (P) kg	σ_t MPa
1	A1-1	3565.0	14.71	G1-1	979.5	4.14
2	A2-8	2297.5	9.32	G1-2	1508.5	6.70
3	A3-2	4477.0	17.89	G1-3	2107.5	9.45
4	A3-4	4172.5	16.77	G3-1	1476.5	6.56
5	A4-1	2406.5	10.79	G3-2	1698.5	7.12
6	A4-2	2279.5	9.35	G4-1	1603.0	6.55
7	A5-2	2465.0	10.66	G4-2	1800.5	7.29
8	A6-6	1848.5	7.89	G4-3	1073.0	4.80
9	A7-2	1076.0	4.39	G6	1354.0	5.56
10	A8-11	2601.5	11.03	G8	1669.0	7.84
En Büyük:			17.89	9.45		
En Küçük:			4.39	4.15		
Ortalama:			10.57	6.60		
Standart Sapma:			5.23	1.52		

3.4. Elastik Özelliklerin Belirlenmesi

Andezitlere ilişkin olarak doygun ve kuru koşullarda ölçülen P ve S dalga hızları değerleri ve bu değerler de kullanılarak hesaplanan dinamik elastisite modülü (E_d) ve dinamik poisson oranı (ν_d) değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Granitlere ait doygun ve kuru koşullarda ölçülen P ve S dalga hızları değerleri ve bu değerler de kullanılarak hesaplanan dinamik elastisite modülü (E_d) ve dinamik poisson oranı (ν_d) değerleri ise Tablo 3.4'de sunulmuştur. Buna göre kuru koşullarda andezit örneklerine ait dinamik elastisite modülü (E_d) değeri 29942.26-59813.38 MPa, doygun koşullarda ise 31587.09-68664.27 MPa arasında değişim göstermiştir. Granitlerde ise kuru koşullarda dinamik elastisite modülü (E_d) değeri 19629.55-56471.86 MPa, doygun koşullarda ise 31273.94-36252.59 MPa arasında değişim göstermiştir. Ayrıca andezitlerde kuru koşullarda dinamik poisson oranı (ν_d) değeri 0.21-0.33, doygun koşullarda ise 0.21-0.35 arasında değişmektedir. Granitlerde ise dinamik poisson oranının (ν_d) kuru koşullarda 0.15-0.33, doygun örneklerde ise 0.20-0.38 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Hazırlanan silindirik numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri belirlenirken ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınarak belirli yük düzeylerinde aksel (düşey) ve çapsal (yatay) yönde birim deformasyonlar kaydedilmiştir. Bu şekilde karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda gerilme-birim deformasyon eğrilerinin çizilmesi ile statik elastisite modülü (E_{st}) ve statik poisson oranı (ν_{st}) değerleri de belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda andezitlerde statik elastisite modülü (E_{st}) 19.80-53.16 GPa ve statik poisson oranı (ν_{st}) değeri 0.11-0.46 arasında değişim göstermektedir. Ortalama değerlere göre ise statik elastisite modülü (E_{st}) 37.33 GPa ve statik poisson oranı (ν_{st}) değeri 0.23 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.5). Granitlerde statik elastisite modülü (E_{st}) 22.22-76.92 GPa ve statik poisson oranı (ν_{st}) 0.03-0.50 arasında değişim göstermektedir. Ortalama değerlere göre ise granitlerin statik elastisite modülü (E_{st}) değeri 52.09 GPa ve statik poisson oranı (ν_{st}) değeri ise 0.19 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.5).

3.5. İstatistiksel Değerlendirmeler

Bu çalışmada laboratuvar çalışmaları ile elde edilen veriler son aşamada tez çalışmasının amacına uygun olarak istatistiksel çalışmalar neticesinde değerlendirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi için istatistik yöntemlerden basit regresyon analizi kullanılmıştır. Basit regresyon analizi ile değişkenler arasında olası ilişkiler araştırılmış ve korelasyon katsayısı değerleri belirlenmiştir.

Değerlendirme sürecinde elde edilen korelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadıkları da test edilmiştir. Bunun için verilere hem t-testi uygulanmış hem de belirlenen korelasyon katsayıları Pearson'un kritik r değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda yüksek korelasyon katsayısı değerine sahip anlamlı bulunan ilişkiler çalışma açısından önemli olarak değerlendirilmiştir. Bu ilişkilere ait eşitlikler çalışılan kaya grupları için petrografik, fiziksel ve mekanik özellikler arasında dolaylı tahmin yapmak için kullanılabilecek görgül ilişkiler olarak değerlendirilmiştir.

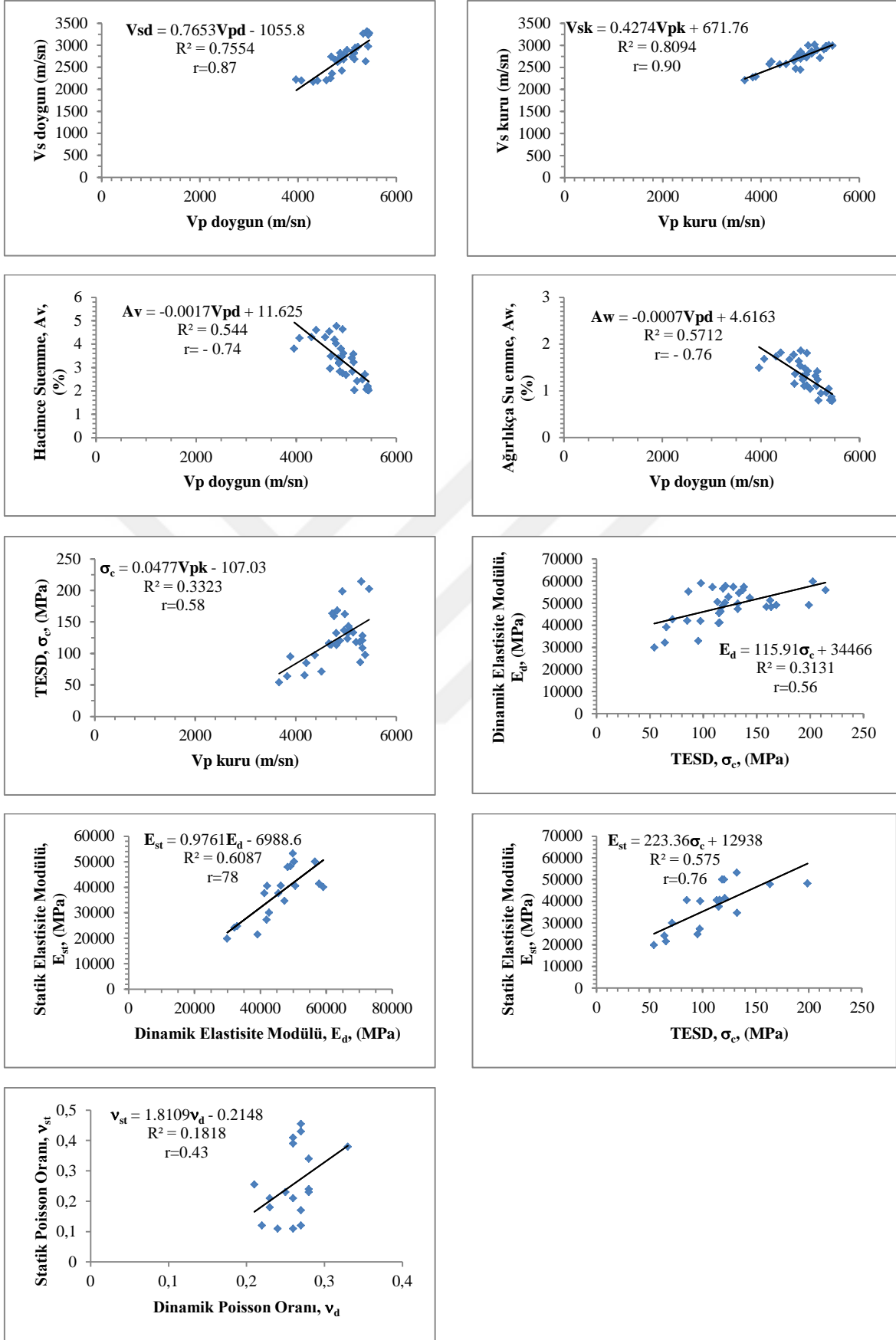
İstatistiksel değerlendirmeler yapılırken kayaların mekanik davranışlarına etki eden parametreler dikkate alınmıştır. Aynı zamanda fiziksel özelliklerden dalga hızı kaya ortamındaki boşluklar hakkında dolaylı olarak bilgi verdiği için dolaylı istatistiksel değerlendirmelerde hem kuru hem de doymuş koşullardaki dalga hızı değerleri de göz

önünde bulundurulmuştur. Bununla beraber kaya mekaniğine yönelik çalışmalar yapılırken kaya özelliklerinin doğru ve pratik bir şekilde belirlenmesi arzu edilen bir durumdur. Bu nedenle deneysel olarak belirlenmesi kısmen daha zor ve zaman alıcı özelliklerin (tek eksenli sıkışma dayanımı, statik elastisite modülü ve poisson oranı) elde edilmesinde alternatif olarak daha kolay ve daha kısa sürede gerçekleştirilebilen ölçüm ve deney yöntemlerinden yararlanabilmek tercih edilmektedir. İstatistiksel değerlendirmelerin önemli amaçlarından birini de bu durum oluşturmuştur. Örneğin; deney numunelerine hasar vermeden, ölçüm yapılarak belirlenebilen dinamik elastisite modülü değeri, elde edilmesi daha zor, daha maliyetli ve zaman alıcı olan statik elastisite modülünün dolaylı tahmininde kullanılabilir mi? İstatistiksel çalışmalar bu sorularımıza da cevap arayacak şekilde tasarlanmıştır.

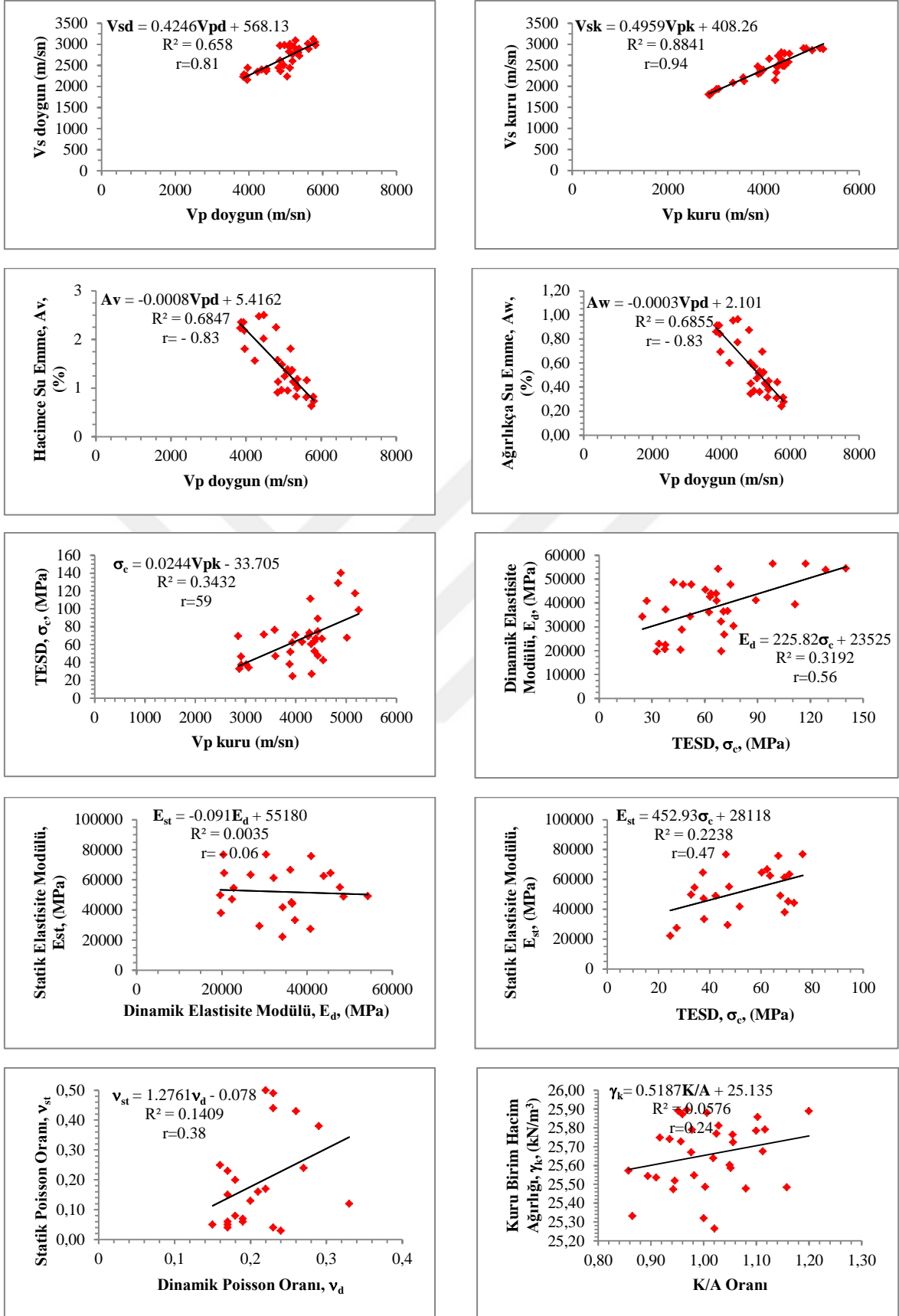
Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen istatistiksel çalışmalara ilişkin değerlendirmeler aşağıda Tablo 3.8’de özetlenmiştir. Ayrıca ilgili grafikler ise andezit ve granitler için ayrı ayrı olacak şekilde Şekil 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Korelasyon katsayısı değerleri ve anlamlılıklarına ilişkin değerlendirmeler

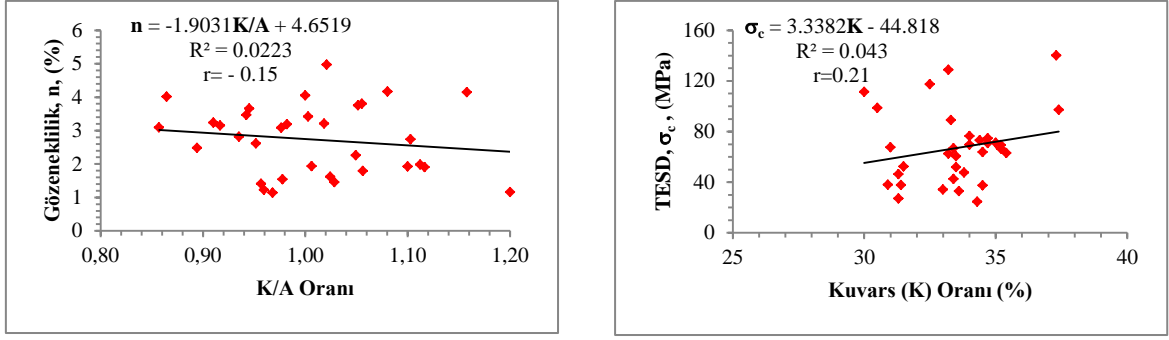
Kaya Türü	Eşitlik	Örnek Sayısı	Korelasyon r	Pearson kritik r	t hesap	t tablo
ANDEZİT	$V_{sd}=0.7653V_{pd} - 1055.8$	34	0.87	0.340	9.98	2.032
	$V_{sk}=0.4274V_{pk}+ 671.76$	34	0.90	0.340	11.68	2.032
	$A_v=-0.0017V_{pd}+ 11.625$	34	-0.74	0.340	6.22	2.032
	$A_w=-0.0007V_{pd}+4.6163$	34	-0.76	0.340	6.61	2.032
	$\sigma_c = 0.0477V_{pk} - 107.03$	34	0.58	0.340	4.03	2.032
	$E_d = 115.91\sigma_c + 34466$	34	0.56	0.340	3.82	2.032
	$E_{st} = 0.9761E_d - 6988.6$	19	0.78	0.456	5.14	2.09
	$E_{st} = 223.36\sigma_c + 12938$	19	0.76	0.456	4.82	2.09
	$v_{st} = 1.8109v_d - 0.2148$	12	0.43	0.576	1.51	2.09
GRANİT	$V_{sd}=0.4246V_{sd}+568.13$	33	0.81	0.345	7.69	2.034
	$V_{sk}=0.4959V_{pk}+ 408.26$	33	0.94	0.345	15.34	2.034
	$A_v=-0.0008V_{pd}+5.4162$	33	-0.83	0.345	8.29	2.034
	$A_w=-0.0003V_{pd} + 2.101$	33	-0.83	0.345	8.29	2.034
	$\sigma_c = 0.0244V_{pk} - 33.705$	33	0.59	0.345	4.07	2.034
	$E_d = 225.82\sigma_c + 23525$	33	0.56	0.345	3.76	2.034
	$E_{st} = -0.091E_d + 55180$	23	-0.06	0.415	0.28	2.07
	$E_{st} = 452.93\sigma_c + 28118$	23	0.47	0.415	2.44	2.07
	$v_{st} = 1.2761v_d - 0.078$	23	0.38	0.415	1.88	2.07
	$\gamma_k = 0.5187K/A + 25.135$	33	0.24	0.345	1.38	2.034
	$n = -1.9031K/A + 4.6519$	33	-0.15	0.345	0.84	2.034
	$\sigma_c = 3.3382K - 44.818$	33	0.21	0.345	1.20	2.034



Şekil 3.7. Andezitlerde basit regresyon analizlerine ilişkin grafikler.



Şekil 3.8. Granitlerde basit regresyon analizlerine ilişkin grafikler.



Şekil 3.8. (devamı)

İstatistiksel çalışmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde (Tablo 3.8, Şekil 3.7, Şekil 3.8); en yüksek korelasyon katsayısı değerleri andezitlerde 0.90 ve granitlerde 0.94 değeri ile kuru koşullardaki P ve S dalga hızı ölçümlerine ait verilerden elde edilmiştir. En düşük korelasyon katsayısı değerleri ise granitlerde dinamik ve statik elastisite modüller arasında ($r=-0.06$) ve kuvars/alkali feldispat oranı ile gözeneklilik arasında ($r=-0.15$) tespit edilmiştir.

Çalışmada ulaşılan korelasyon katsayılarının anlamlılığı değerlendirildiğinde; andezitlerde dinamik poisson oranı (v_d) ile statik poisson oranı (v_{st}) arasındaki ilişkinin anlamsız olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü hem belirlenen korelasyon katsayısı (0.43) Pearson kritik r değerinden (0.576) küçük hem de hesaplanan t değeri (1.51) t tablo değerinden (2.09) küçüktür (Tablo 3.8). Diğer verilere yönelik bütün değerlendirmeler ise değişik oranlarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Tablo 3.8, Şekil 3.7).

Granitlerde dinamik ve statik elastisite modülü değerleri (E_d , E_{st}), dinamik poisson oranı (v_d) ile statik poisson oranı (v_{st}), arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamsızdır. Yine petrografik özelliklere ilişkin kuvars/alkali feldispat oranı ile kuru birim hacim ağırlık ($K/A-\gamma_k$), kuvars/alkali feldispat oranı ile gözeneklilik ($K/A-n$) ve kuvars oranı ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ($K-\sigma_c$) arasındaki ilişkiler de istatistiksel olarak anlamsızdır (Tablo 3.8). Bunların haricindeki parametrelere ilişkin değerlendirmeler ise istatistiksel olarak anlamlıdır.

Andezitlerde doygun ve kuru dalga hızları ($V_{pd}-V_{sd}$, $V_{pk}-V_{sk}$) arasında çok kuvvetli pozitif ($r=0.87-0.90$) ilişkiler tespit edilmiştir. Doygun örneklerde P dalga hızı ile hacimce su emme değerleri ($V_{pd}-A_v$) arasında ($r=-0.74$) ve yine P dalga hızı ile ağırlıkça su emme değerleri ($V_{pd}-A_w$) arasında ise ($r=-0.76$) kuvvetli negatif ilişkiler belirlenmiştir. Sıkışma deneyi kuru koşullar için gerçekleştirildiğinden, kuru örneklere ait P dalga hızları

ile tek eksenli sıkışma dayanımı ($V_{pk}-\sigma_c$) değerleri arasında ($r=-0.58$) ve sıkışma dayanımı ile dinamik elastisite modülü (σ_c-E_d) arasında ($r=0.56$) orta pozitif ilişki belirlenmiştir. Dinamik ve statik elastisite modülleri (E_d-E_{st}) ile tek eksenli sıkışma dayanımı ve statik elastisite modülü değerleri (σ_c-E_{st}) arasında ise kuvvetli pozitif ilişkiler ($r=0.78$ ve $r=0.76$) tespit edilmiştir (Tablo 3.8, Şekil 3.7).

Granitlerde doymuş ve kuru P ve S dalga hızları arasında çok kuvvetli pozitif ($r=0.81-0.94$) ilişkiler belirlenmiştir. Doymuş örneklerde P dalga hızı ile hacimce su emme ($V_{pd}-A_v$) ve yine P dalga hızı ile ağırlıkça su emme değerleri ($V_{pd}-A_w$) arasında ise kuvvetli negatif ($r= -0.83$) ilişkiler mevcuttur. Kuru örneklerle ait P dalga hızları ile tek eksenli sıkışma dayanımı ($V_{pk}-\sigma_c$) değerleri arasında ($r=0.59$) ve tek eksenli sıkışma dayanımı ile dinamik elastisite modülü (σ_c-E_d) arasında ($r=0.56$) orta pozitif ilişki belirlenmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı ve statik elastisite modülü değerleri (σ_c-E_{st}) arasında ise ($r=0.47$) düşük pozitif ilişki tespit edilmiştir (Tablo 3.8, Şekil 3.8).

4. TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen bulguların literatür çalışmaları ile benzerlik ve farklılıkları neden-sonuç ilişkileri içerisinde irdelenecektir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda andezit ve granitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişim aralıkları daha önceki bölümlerde verilmişti. Burada kısaca belirtecek olursak; bu çalışmada andezitlerin birim hacim ağırlığı (γ_n), 24.37-25-73 kN/m³, hacimce su emme değerleri de (A_v) % 2.02-4.77 arasında değişmektedir. Luis ve Mercedes (2011), aynı kaya türünde birim hacim ağırlık değeri için 22-23.5 kN/m³ ve gözeneklilik için ise %10-15 aralığında değişim gösterdiğinden bahsetmektedir. Yine bu çalışmada granitlerin birim hacim ağırlığı (γ_n), 25.45-25-97 kN/m³ ile hacimce su emme değerleri de (A_v) %0.63-2.50 arasında değişmektedir. Luis ve Mercedes (2011), granitlerde birim hacim ağırlık değeri için 26-27 kN/m³ ve gözeneklilik için ise % 0.5-1.5 değerlerinden bahsetmektedir. Andezit örneklerini fiziksel özellikler açısından karşılaştırdığımız zaman birim hacim ağırlıklarının daha fazla ve gözeneklilik değerlerinin ise daha düşük olduğunu görmekteyiz. Granitlerde ise her iki fiziksel özellikte Luis ve Mercedes (2011) tarafından belirtilen değerlere yakın olup bazı farklılıklar sunmaktadır. Bu durum kaya ortamının heterojen olması, litolojik olarak aynı birim olsa bile mühendislik anlamda farklılıklar sunabilmesi ile açıklanabilir. Ayrıca magmatik kayalardaki ayrışma durumları da yine fiziksel özellikler arasında farklı değerlerin elde edilmesinde önemlidir. Aynı yazarlar tarafından P dalga hızı değerleri sadece granitler için belirtilmiş olup 4500-6000 m/sn arasında değişim gösterdiği belirtilmiştir. Bu çalışmada granitlerde P dalga hızı değerleri 3018-5812 m/sn arasında değişmektedir. Rakamlardan da anlaşılacağı üzere değişim aralıklarında farklılık görülmektedir. Çalışmada kullanılan granitler yaşı ve geçirmiş olduğu tektonik evrim gözönünde bulundurulacak olursa tez çalışması kapsamında incelenen granitlerin ayrışma dereceleri daha yüksek olup daha gözeneklidir. Bu nedenle de dalga hızı değerleri daha düşüktür.

Çalışmada tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değerinin andezitlerde 54.09-214.36 MPa, granitlerde ise 24.60-140.15 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Luis ve Mercedes (2011)'in, Rahn (1986), Walthan (1999), Obert ve Duvall (1967) ve Farmer (1968)

tarafından gerçekleştirilen çalışmalara dayanarak hazırlanmış olduğu taze kaya malzemelerine ait sıkışma dayanımı değerlerinde andezitler 100-500 MPa, granitler ise 50-300 MPa arasında değişen sıkışma dayanımı değerlerine sahiptir. Bu çalışmadaki değerler literatürden biraz düşük olmakla birlikte değişim aralığına uyumlu gözükmektedir. Çekilme dayanımı ile ilgili olarakta benzer bir durum söz konusudur. Aynı araştırmacılar tarafından çekilme dayanımına ilişkin olarak andezitler için ortalama çekilme dayanımı değeri 7 MPa, granitler için ise 7-25 MPa arasında bir değişim aralığı verilmiştir. Bu çalışmada ise andezitlerin çekilme dayanımlarının 4.4-17.9 MPa, granitlerin ise 4-9.45 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında statik elastisite modülü (E_{st}), dinamik elastisite modülü (E_d) ve poisson oranı (ν) değerleri belirlenmiştir. Andezitlerde bu değerler sıra ile 19.8-53.16 GPa, 29-59 GPa ve statik poisson oranı 0.11-0.46, dinamik poisson oranı ise 0.18-0.33 arasında değişim göstermektedir. Rahn (1986), Johnson ve De Graff (1988), Goodman (1989), Walthan (1999) ve Duncan (1999) tarafından yapılan çalışmalardan derlenerek Luis ve Mercedes (2011), tarafından oluşturulan literatür bilgilerinde ise statik elastisite modülü 30-40 GPa, dinamik elastisite modülü belirlenmemiş olup, poisson oranı ise 0.23-0.32 olarak verilmiştir. Çalışmada granitlerde statik elastisite modülü (E_{st}) 22.22-76.92 GPa, dinamik elastisite modülü ise 19.62-54.25 GPa arasında, dinamik poisson oranı 0.20-0.35, statik poisson oranı ise 0.03-0.5 arasında geniş bir aralıkta değişim göstermiştir. Literatür çalışmalarında ise granitler için bu değerlerin sıra ile 17-77 GPa, 10-84 GPa ve 0.1-0.4 arasında değişim gösterdiği yukarıda bahsedilen araştırmacılar tarafından verilmektedir. Değerler dikkate alındığında benzer oldukları düşünülmektedir.

Karşılaştırmalara ilişkin literatür çalışmaları bunlarla sınırlı olmayıp istenildiği durumda daha fazla sayıda çalışma ile karşılaştırma yapmak mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte deneysel çalışmalar genel olarak konuya ilişkin literatür ile karşılaştırıldığında kısaca şunları söylemek mümkündür. Kaya ortamları heterojen, anizotrop özelliktedir. Bu nedenle hem farklı kaya grupları için hem de aynı kaya türleri için fiziksel ve dayanım özelliklerine ilişkin değerler farklı alanlar için değişiklikler gösterebilmektedir. Bu durum kayanın oluşumu koşulları, çevre unsurları, birçok kaya faktörü gibi karmaşık ve adeta iç içe geçmiş nedenler zincirine bağlıdır. Bundan dolayı yapılan tüm çalışmalar kaynak niteliğinde olup, çalışılan alan ile ilgili değerlendirmeler dikkatle yapılmalıdır.

Petrografik çalışmalara yönelik olarak ise; Gümüşhane Granitoyidi'ne ait magmatik kayaların mineral bolluk oranını belirlemek için polarizan mikroskopta nokta sayacı kullanarak modal analizi yapılmış olup mineral içerikleri ve bollukları belirlenmiştir. Andezitlerde ise volkanik kayaları oluşturan minerallerin tane boylarının küçük, hamur malzemesinin fazla olması ve hamuru oluşturan minerallerin saptanamaması nedeni ile andezit örnekleri üzerinde modal analiz çalışması gerçekleştirilememiştir.

Bu çalışmada yapılan istatistiksel değerlendirmelerine ilişkin olarak kısaca şunlardan bahsedebilir;

İstatistiksel alışmalar veri kaynaklı gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalardan elde edilecek sonuçlar tamamen deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen verilere bağlıdır. Çalışma kapsamında deneysel çalışmalar literatürde önerilen deney yöntemlerinde belirtilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle elde edilen veriler açısından bir problem olmadığı düşünülmektedir. Ancak laboratuvar deneyleri için gerekli olan yeteri kadar sağlam kaya numuneleri temin edebilmekte karşılaşılan güçlükler sonuç ürünlerinin aralıklarının geniş olmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla genel anlamda deneysel çalışmalara ilişkin verilerin istatistiksel değerlendirmelerde kullanımında dikkatli olmak gerekmektedir.

5. SONUÇLAR

Gümüşhane ili ve yakın çevresinde yüzeyleyen magmatik (andezit-granit) kökenli kayaların petrografik, fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özellikler arasında görgül (ampirik) ilişkilerin araştırılmasını amaçlayan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1. Gümüşhane Granitoyidi'ne ait magmatik kayaların mineral bolluk oranını belirlemek için polarizan mikroskopta nokta sayacı kullanılarak modal analizi yapılmış olup mineral içerikleri ve bollukları belirlenmiştir. Andezitlerde ise volkanik kayaları oluşturan minerallerin tane boylarının küçük, hamur malzemesinin fazla olması ve hamuru oluşturan minerallerin saptanamaması nedeni ile modal analiz çalışması gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle andezit bileşimli örnekler petrografik açıdan istatistiksel olarak değerlendirilememiştir.

2. Piknometre deneyi sonucunda andezitlerin özgül ağırlıklarının 2.65-2.73 arasında değiştiği ve ortalama değerin 2.70 olduğu belirlenmiştir. Granitlerde ise özgül ağırlık değeri 2.61-2.75 arasında olup ortalama özgül ağırlıkları 2.69 olarak belirlenmiştir.

3. Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik çalışmalar sonucunda andezitlerin doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) değerinin 24.37-25.73 kN/m³, kuru birim hacim ağırlık (γ_k) değerinin 24.25-25.66 kN/m³ ve doymun birim hacim ağırlığı (γ_d) değerinin ise 24.52-26.05 kN/m³ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında sırasıyla 25.27-25.13-25.45 kN/m³ olduğu tespit edilmiştir.

4. Granitler için benzer değerlendirme yapıldığında doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) değerinin 25.45-25.97 kN/m³, kuru birim hacim ağırlık (γ_k) değerinin 25.32-25.88 kN/m³ ve doymun birim hacim ağırlığı (γ_d) değerinin ise 25.55-26.02 kN/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 25.74-25.66-25.80 kN/m³ olarak hesaplanmıştır

5. Andezitlerin ağırlıkça su emme (A_w) değerlerinin %0.78-1.86 arasında değiştiği ve ortalama değerin % 1.28 olduğu belirlenmiştir. Granitlerde ise ağırlıkça su emme değerleri (A_w) düşük değerlerde olup % 0.24-0.96 arasında değişim göstermektedir.

6. Andezitlerin hacimce su emme (A_v) değerlerinin % 2.02-4.77 arasında değiştiği ve ortalama değerin % 3.28 olduğu belirlenmiştir. Granitlerde ise hacimce su emme

değerleri (A_v) % 0.63-2.50 arasında değişmekte olup ortalama değer % 1.45 olarak tespit edilmiştir.

7. Andezitlerde doygun koşullar için P dalga hızlarının 3961-5451 m/sn, S dalga hızlarının ise 2171-3310 m/sn arasında değişim gösterdiği ortalama dalga hızı değerlerinin ise sıra ile 4928 m/sn ve 2716 m/sn olduğu tespit edilmiştir. Andezitlerde kuru örnekler üzerinde yapılan ölçümlerde P dalga hızının 3669-5462 m/sn, S dalga hızının ise 2205-3011 m/sn arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Kuru koşullar için ortalama P dalga hızı değeri 4838.41 m/sn, S dalga hızı değeri ise 2739.74 m/sn olarak hesaplanmıştır.

8. Granitlerde doygun koşullar için P dalga hızlarının 3850-5812 m/sn, S dalga hızlarının ise 2151-3115 m/sn arasında değişim gösterdiği, ortalama dalga hızı değerlerinin ise sıra ile 4929.18 m/sn ve 2660.88 m/sn olduğu tespit edilmiştir. Granitlerde kuru örnekler üzerinde yapılan ölçümlerde P dalga hızının 2857-5251 m/sn, S dalga hızının ise 1793-2904 m/sn arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Kuru koşullar için ortalama P dalga hızı değeri 4399 m/sn, S dalga hızı değeri ise 2487 m/sn olarak hesaplanmıştır.

9. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda andezitlerde tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri 54.09-214.36 MPa, elastisite modülü (E_{st}) 19.80-63.16 GPa ve poisson oranı (ν_{st}) değeri 0.11-0.46 arasında değişim göstermektedir. Ortalama değerlere göre ise andezitlerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri 117.63 MPa, elastisite modülü (E_{st}) 37.33 GPa ve poisson oranı (ν_{st}) değeri 0.23 olarak belirlenmiştir

10. Granitlerde tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değerinin 24.60-140.15 MPa, elastisite modülü (E_{st}) 22.22-76.92 GPa ve poisson oranı (ν_{st}) değeri 0.03-0.50 arasında değişim göstermektedir. Ortalama değerlere göre ise granitlerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri 71.80 MPa, elastisite modülü (E_{st}) 52.09 GPa ve poisson oranı (ν_{st}) değeri 0.19 olarak belirlenmiştir

11. Andezitlerde nokta yükü dayanımı indeksi değerleri 2.14-6.70 MPa, arasında değişim göstermekte olup andezitlerin ortalama nokta yükü dayanım indeksi değeri 4.33 MPa olarak belirlenmiştir. Granitlerde ise nokta yükü dayanımı indeksi değerleri 1.82-5.56 MPa arasında değişim göstermekte olup ortalama nokta yükü dayanım indeksi değeri 3.38 MPa olarak belirlenmiştir.

12. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda andezitlerde dolaylı çekilme dayanımı değerleri 4.39-17.89 MPa, arasında değişim göstermekte olup andezitlerin ortalama dolaylı çekilme dayanımı değeri 10.57 MPa olarak belirlenmiştir. Granitlerde ise dolaylı çekilme

dayanımı değerleri 4.15-9.45 MPa arasında değişim göstermekte olup ortalama dolaylı çekilme dayanımı değeri 6.60 MPa olarak belirlenmiştir.

13. İstatistiksel çalışmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde; en yüksek korelasyon katsayısı değerleri andezitlerde 0.90 ve granitlerde 0.94 değeri ile P ve S dalga hızı ölçümlerine ait verilerden elde edilmiştir. En düşük korelasyon katsayısı değeri granitlerde dinamik ve statik elastisite modülü değerleri (E_d , E_{st}) arasında ($r=-0.06$) ve kuvars/alkali feldispat oranı ile gözeneklilik arasında ($r=-0.15$) tespit edilmiştir.

14. Çalışmada ulaşılan korelasyon katsayılarının anlamlılığı değerlendirildiğinde; andezitlerde dinamik poisson oranı (v_d) ile statik poisson oranı (v_{st}) arasındaki ilişkinin anlamsız olduğu sonucuna varılmıştır. Granitlerde dinamik ve statik elastisite modülü değerleri (E_d , E_{st}), dinamik poisson oranı (v_d) ile statik poisson oranı (v_{st}), arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamsızdır. Yine petrografik özelliklere ilişkin kuvars/alkali feldispat oranı ile kuru birim hacim ağırlık ($K/A-\gamma_k$), kuvars/alkali feldispat oranı ile gözeneklilik ($K/A-n$) ve kuvars oranı ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ($K-\sigma_c$) arasındaki ilişkiler de istatistiksel olarak anlamsızdır.

15. Bunların haricindeki parametrelere ilişkin değerlendirmeler ise istatistiksel olarak anlamlıdır. Özellikle istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek korelasyon katsayısı değerine sahip ($r>80$) eşitlikler ilgili parametrelerin dolaylı tahminlerinin belirlenmesi gereken durumlarda kullanılabilir niteliktedir.

6. KAYNAKLAR

- Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altuğ, M.. 2012. Sıcaklığın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaçlar Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde
- Altuğ, M.. 2012. Sıcaklığın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaçlar Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde
- Alemdağ, S., 2010. Simaki Formasyonu Siltaşlarının (Elazığ) Kaya Kütle Deformasyon Özellikleri, Doktora Tezi, Fen. Bil. Enst., 118 Sayfa, Elazığ.
- Alemdağ, S. ve Gürocak, Z. 2011. Üst Kretase Yaşlı Bazaltlarda (Trabzon/Türkiye) Birleşik Ayrışma İndeksi (UAI) ile Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özellikler Arasındaki İlişkiler. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 23 (1), 1-10.
- Atıcı, Ü., 2002. Yünel, T., Granitlerde Kuru ve Suya Doymun Numuneler İçin Dinamik ve Statik Elastisite Modülünün Değerlendirilmesi, Niğde Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D., ve Şen, C., 2013. ⁴⁰Ar-³⁹Ar Dating, Whole-rock and Sr-Nd-Pb Isotope Geochemistry of Post-Collisional Eocene Volcanic Rocks in the Southern Part of the Eastern Pontides (NE Turkey): Implications for Magma Evolution in Extension-Induced Origin. Contributions to Mineralogy and Petrology, 166, 113-142.
- Aslan, Z., 2010. U-Pb Zircon SHRIMP Age, Geochemical and Petrographical Characteristics of Tuffs within Calc-alkaline Eocene Volcanics Around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides, Neues Jahrbuch für Mineralogie, 187, 3, 329-346.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ., ve Kaygusuz, A., 2014. K-Ar Dating, Whole-rock and Sr-Nd Isotope Geochemistry of Calc-alkaline Volcanic Rocks Around the Gümüşhane Area: Implications for Post-collisional Volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. Mineral. Petrol. 108, 245-267.
- Azizoğlu, M.. 2005. Çukurova Bölgesindeki Mermer Ocaklarının Pazar Durumu ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana

- Başarır, H., Kumral, M. ve Özsan, A., 2004. Kayaların Tek Eksenli Basınç Dayanımının Basit Deney Yöntemleriyle Tahmini, KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas.
- Chang, C., Zoback, M.D., Khaskar, A., 2006. Ampirical Relation Between Rock Strength and Physical Properties in Sedimentary Rocks, Journal of Petroleum Science and Engineering, 51, page 223-237.
- Çapık, M., ve Yılmaz, A., 2009. Harşit (Giresun) Granitlerinin Fiziko Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 5, No: 2.
- Dağ, S., Alemdağ, S., Kaya, A., 2013. The Effect Of Freezing-Thawing On Geotechnical Properties Example From Gümüşhane Granites, IIIrd. International Marble and Natural Stones Congress, page 110-111.
- Dağ, S., Alemdağ, S., Kaya, A., 2013. “ Donma-Çözülme Etkisi İle Gümüşhane Granitlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinde Meydana Gelen Değişikliklerin Araştırılması”, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No: 2012.02.1710.4
- Dağ, S., Alemdağ, S., Alkan, F., 2015. Kayalarda Gözeneklilik ile Dayanım Özellikleri Arasında Görgül İlişkilerin Araştırılması, MÜHJEO'2015 Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu
- Dağ, S., 2016. Comparison of the Apparent Porosity and Porosity Values on Different Rock Types (Gümüşhane-Türkiye), International Conference on Engineering and Natural Sciences (Icens), Saraybosna, Book of Proceedings, Chapter 3, 705-712.
- Dokuz, A., 2011. A Slab Detachment and Delamination Model for the Generation of Carboniferous High-potassium I-type Magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Köse Composite Pluton, Gondwana Research, 19, 926-944.
- Duncan, C.W., 1999. Foundations on Rock. 2nd ed. E & F.N.Spon, London.
- Emir, E., 2014. Kaya Mekaniği Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
- Erkan, Y., 2010. Magmatik petroğrafi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:93, Ankara.
- Ersoy, H., Özdemir, A., Yalçınalp, B., 2009. Geology and Geotechnical Properties of Kalecik (Gümüşhane) Travertines. Proceedings of The 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 639-648.

- Eyuboglu, Y., Santosh, M., Dudas, O.F., Akaryalı, E., Chung, S., Akdağ, K., Bektaş, O., 2013. The Nature of Transition From Adakitic to Non-Adakitic Magmatism in a Slab Window Setting: A Synthesis From The Eastern Pontides, NE Turkey, Geoscience Frontiers, 4, page: 353-375
- Goodman, R.E., 1989. Introduction To Rock Mechanics. John Wiley & Sons.
- Gurocak, Z., Solanki, P., Alemdag, S., Zaman, M., 2012. New Considerations for Empirical Estimation of Tensile Strength of Rocks. Engineering Geology, 145-146,1-8.
- Gültekin, N., 2011. Granitik Kayaların Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Üzerinde Mineralojik ve Petrografik Özelliklerin Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen. Bil. Enst.,152 Sayfa, Ankara
- Güner, S., Er, M., Gümüşel, A.,Boğuşlu, M.,1985. Eski Gümüştane Yöresindeki Cevherleşmelere Ait Jeoloji Raporu
- ISRM, 2007. 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.
- Johnson, R.B. ve De Graff, J.V., 1988. Principles of Engineering Geology. John Wiley & Sons.
- Karaman, K., Kesimal, A., 2012. Kayaların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Nokta Yüğü Deney Yöntemleri ve Porozitenin Değerlendirilmesi. Madencilik, Cilt 51, Sayı 4, s:3-14.
- Kandemir, R., 2004. Gümüştane ve Yakın Yöresindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonunun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kanık, D., 2010. Karbonat Kayaların Tek Eksenli Basınç Dayanımlarının Basit İndeks Deneyler Kullanılarak Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kanık, M., 2009. Ayvalı (Olur, Erzurum) Baraj Yerindeki Andezitlerin Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Karaman, K., Kesimal, A., 2012. Kayaların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Nokta Yüğü Deney Yöntemleri ve Porozitenin Değerlendirilmesi. Madencilik, Cilt 51, Sayı 4, s:3-14.

- Karlı, O., Dokuz, A., Kandemir, R., 2016. Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlik and Casurluk Plutons: Insights from Geochemistry, Whole-rock Sr–Nd and In Situ Zircon Lu–Hf Isotopes, and U–Pb geochronology, Lithos, 266-267, 98-114.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen. Bil. Enst., 235 Sayfa, Trabzon.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C., 2011. Geochemical and Sr–Nd Isotopic Characteristics of Post-Collisional Calc-Alkaline Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences 20, 137–159.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012. Geochronological Evidence and Tectonic Significance of Carboniferous Magmatism in the Southwest Trabzon area, Eastern Pontides, Turkey. International Geology Rew. 54 (15), 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan. M., Chen, B., ve Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl Intrusion in the Eastern Pontides: Implications for Magma Genesis in the Arc Setting. Geoscience Frontiers, 4; S:423–438.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F., ve Temizel, İ., 2016. U-Pb Zircon Chronology and Petrogenesis of Carboniferous Plutons in the Northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic Magmatism and Geodynamic Evolution. Gondwana Research, doi:10.1016/j.gr.2016.01.011.
- Kaygısız, H., 2010. Kayseri Yöresindeki Yapıtaşlarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Ketin, İ. 1966. Türkiye'nin Tektonik Birlikleri. MTA Dergisi, 66, s:20-34, Ankara.
- Kılıç, R. ve Ulaş, K., 2009. Mühendislik Jeolojisi Uygulama Notları. Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Kıncal, C., Koca, Y.M., ve Yavuz, B., 2001. Andezitlerin Dış Mekan Kaplama Taşı Olarak Kullanımında Bergama Örneği, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, Afyon.
- Kurtuluş, C., Çakır, Ş., 2009. İzmit Formasyonu (Alt Triyas) Kumtaşlarının Fiziksel Özelliklerinin P-Dalga Hızı Ölçümleri İle Belirlenmesi, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, Nisan.
- Luis I. Gonzalez de Vallejo ve Mercedes Ferrer., 2011. Geological Engineering, London.

- Okday, C., 2014. Bağlarbaşı-Tekke (Gümüşhane) Arasındaki Kesilmiş Kaya Şevlerinin Duraylılığının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- OSİB., 2014. Orman ve Su İşleri Gümüşhane Gelişim Planı.
- OSİB., 2004. Gümüşhane Çevre Durum Raporu, Gümüşhane Çevre ve Orman Müdürlüğü Yayınları No : 2.
- OSİB., 2005. Gümüşhane Çevre Durum Raporu, Gümüşhane Çevre ve Orman Müdürlüğü Yayınları No : 3.
- Özkan, S.F., 2015. Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) Yöresindeki Kireçtaşlarının Doğal Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özdoğan, Ş., 2010. Torul Barajı (Torul-Gümüşhane) Göl Alanı Sağ Ve Sol Sahillerinin Duraylılığının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, KTÜ Yayını, No:87, Trabzon.
- Rahn, P.h. 1986. Engineering Geology an Environmetal Approach. Elsevier.
- Singh, T.N., Sharma, P.K., 2008. A Correlation Between P-wave Velocity, Impact Strength Index, Slake Durability Index and Uniaxial Compressive Strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 67, 1, 17-22.
- Solak, B.. 2012. Farklı Proklastik Kayaçların Petroğrafik Özelliklerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde
- Teymen, A., 2005. Bazı Kayaların Petroğrafik, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz Bölgesinde Eosen Yaşlı Kalk-Alkaleen Andezitler ve Jeotektonizma, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, c. 20, 49-54.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region, N.E. Turkey, University College, London.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeğ, A., Barth, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. Carboniferous High-potassium I-type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane Pluton (NE Turkey) Lithos, 116, page: 92-110.

- Tuğrul, A., Zarif, I. H., 1999. Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks From Turkey, Engineering Geology, 51, page: 303-317.
- Tuncer, E., 2014. Gümüşhane Yöresi Volkanik Kayaçların Puzolanik Aktivitesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Genişletilmiş 4. Baskı, 385 s.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:60, Ankara.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., 2011. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:58, Ankara
- Ündül, Ö., Aysal, N., Amann, A., Plötze, M., 2014. Andezitik Kayaçların Dayanım Özelliklerine İçyapımın Etkisi, Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Afyonkarahisar
- Vural, A., Erdoğan M., 2014. Eski Gümüşhane Kırkpavli Alterasyon Sahasında Toprak Jeokimyası Çalışması, Gümüşhane
- Yabalak, E., 2014. Kayaçların Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Dolaylı Olarak Belirlenmesinde Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı İle Schmidt Geri Sıçrama Değerleri Arasındaki Oranın Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van
- Yenice, H., 2002. Bazı Kayaların Tek Eksenli Basınç Dayanımları ile Diğer Malzeme Özellikleri Arasındaki İlişkiler. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, s: 65-71.
- Yılmaz, M., 2016. Eğrikar (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Jeokimyasal Açından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih ALKAN, 1992 yılında Artvin'in Yusufeli İlçesi'nde doğdu. Ortaöğretim ve lise eğitimini 2010 yılında Erzurum'da tamamlayarak Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2014 yılında lisans öğrenimini başarıyla tamamladıktan sonra aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yazar orta derecede İngilizce bilmektedir.

