



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KERMUTDERE FORMASYONU KUMTAŞLARININ FARKLI DOYGUNLUK VE
ANİZOTROPİ KOŞULLARINDA FİZİKSEL VE DAYANIM
ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zarife SOYSAL

**HAZİRAN 2017
GÜMÜŞHANE**

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KERMUTDERE FORMASYONU KUMTAŞLARININ FARKLI DOYGUNLUK VE
ANİZOTROPİ KOŞULLARINDA FİZİKSEL VE DAYANIM
ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zarife SOYSAL

**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

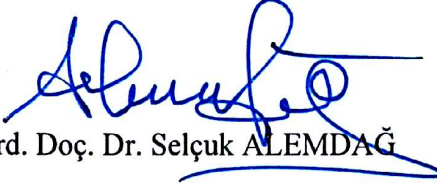


KABUL ve ONAY




Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ danışmanlığında Zarife SOYSAL tarafından hazırlanan “**KERMUTDERE FORMASYONU KUMTAŞLARININ FARKLI DOYGUNLUK VE ANİZOTROPİ KOŞULLARINDA FİZİKSEL VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**” 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. Selçuk ALEMDAĞ

Üye (Danışman)

: 
Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ

Üye

: 
Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA

ONAY

Bu tez 21./06./17 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

: 
Doç. Dr. Ferkan ŞİPAHİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı' nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Kermutdere Formasyonu Kumtaşlarının Farklı Doygunluk ve Anizotropi Koşullarında Fiziksel ve Dayanım Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi" isimli tez çalışmasında; 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



Zariye SOYSAL

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KERMUTDERE FORMASYONU KUMTAŞLARININ FARKLI DOYGUNLUK VE
ANİZOTROPİ KOŞULLARINDA FİZİKSEL VE DAYANIM
ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**

Zarife SOYSAL

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ
2017, 110 sayfa

Bu çalışmada Gümüşhane ili Mescitli yöresinde yüzeyleyen Kermutdere Formasyonu' na ait kumtaşlarının farklı doygunluk ve anizotropi koşullarında fiziksel ve dayanım özellikleri belirlenmiştir. Değişen doygunluk ve anizotropi koşullarının belirlenen özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla laminalanma düzlemleri içeren kumtaşlarından blok örnekler alınmıştır. Bu örneklerden laminalanma düzlemi esas alınarak 0°, 30°, 45°, 60° ve 90° lik yönelim açılarında standartlara uygun olarak 225 adet deney numunesi hazırlanmıştır. 11 adet örnek üzerinde petrografik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Petrografik tayinler sonucunda kumtaşları litik subarkoz ve litik arkoz olarak sınıflandırılmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda kumtaşlarında kuru birim hacim ağırlık değerlerinin 25.73-26.38 kN/m³, doygun birim hacim ağırlık değerlerinin 25.94-26.51 kN/m³, ağırlıkça su emme değerlerinin % 0.42-0.95, hacimce su emme değerlerinin % 1.13-2.53 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Bununla birlikte kumtaşlarında farklı doygunluk ve anizotropi koşullarına bağlı olarak P dalga hızının 4046-5444 m/sn, S dalga hızının ise 2126-3114 m/sn arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Kumtaşlarının dinamik elastisite modülü 31.83-59.56 GPa ve dinamik poisson oranı ise 0.07-0.36 arasında değişim göstermiştir.

Çalışmada dayanım özelliklerinden tek eksenli sıkışma dayanımı ve dolaylı çekilme dayanımı belirlenmiştir. Kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 61.2-182.2 MPa ve dolaylı çekilme dayanımı ise 6.8-14.4 MPa arasında değişim göstermiştir. Kumtaşları dayanım anizotropisine göre değerlendirilmiş ve “düşük anizotropi” sınıfında yer almıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda genel olarak laminalanmaya paralel örneklerin laminalanmaya dik olan örneklere göre daha yüksek dalga hızı değerine sahip oldukları gözlemlenmiştir. P dalga hızlarının sabit bir yönelim açısında doygunluk koşullarına bağlı olarak artış gösterdiği, S dalga hızında da artış gözlenmesine rağmen düzenli bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Dayanım özelliklerinin ise laminalanma düzlemlerine dik ve paralel olan örneklerde ve kuru koşullarda daha yüksek olduğu ve doygunlukla birlikte dayanımın azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anizotropi, Doygunluk, Kumtaşı, Fiziksel Özellikler, Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, P Dalga Hızı

ABSTRACT

MS THESIS

**INVESTIGATION OF THE CHANGES OF PHYSICAL AND STRENGTH
PROPERTIES IN DIFFERENT SATURATION AND ANISOTROPY
CONDITIONS IN KER MUTDERE FORMATION SANDSTONES**

Zarife SOYSAL

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Serhat DAĞ

2017, 110 pages

In this study, under different saturation and anisotropy conditions, physical and strength properties of sandstones which outcrop in the Mescitli region of Gümüşhane province were determined. The effects of varying saturation and anisotropy conditions on the determined properties were investigated. For this purpose, block samples were taken from the sandstones containing lamination planes. Based on the lamination plane of these samples, 225 test samples were prepared according to the standards at 0°-30°-45°-60° and 90° direction. Petrographical investigations were carried out on 11 samples. As a result of petrographical assessments the sandstones were classified as lytic subarkoses and lytic arkoses.

At the end of experimental studies, it was determined that in sandstones dry unit weight values vary between 25.73-26.38 kN/m³, saturated unit weight values vary between 25.94-26.51 kN/m³, water absorption by weight values between 0.42-0.95 %, water absorption by volume values between 1.13-2.53 %.

However, due to different saturation and anisotropy conditions in sandstones it was determined P wave velocity ranges between 4046-5444 m/sec and S wave velocity between 2126-3114 m/sec. The dynamic elasticity modulus of sandstones varied between 31.83- 59.56 GPa and the dynamic poisson ratio varied between 0.07 and 0.36.

In this study, the uniaxial compressive strength and the indirect tensile strength values were determined. In sandstones, uniaxial compressive stress value varied between 61.2-182.2 MPa and indirect tension strength value varied between 6.8-14.4 MPa. The sandstones were evaluated according to the strength anisotropy and were in the "low anisotropy" class.

As a result of the evaluations made, it was observed that the samples parallel to the laminations generally had higher wave velocity values than the samples perpendicular to the laminations. It has been found that P wave velocities increase with a constant orientation angle depending on the saturation conditions, although there is an increase in the S wave velocity, there is no regular change. It was determined that the strength properties were higher in the dry and perpendicular and parallel to lamination planes samples and the strength with saturation decreased.

Keywords: Anisotropy, Saturation, Sandstone, Physical Properties, Uniaxial Compressive Stress, P Wave Velocity

TEŞEKKÜR

“Kermutdere Formasyonu Kumtaşlarının Farklı Doygunluk ve Anizotropi Koşullarında Fiziksel ve Dayanım Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Öncelikle çalışmamın bütün aşamalarında bilgisi, tecrübesi, yapıcı eleştirileri ve görüşleri ile beni yönlendiren, maddi-manevi yardım ve kolaylığı gösteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ’ a desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Tez savunma sınavımda görev alarak yapıcı eleştiri ve katkılarından dolayı hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ ve Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA’ ya teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında tecrübelerinden yararlandığım ve petrografik çalışmalarına yardımcı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER’ e, büro çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER’ e teşekkür ederim. Ayrıca bölümdeki tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gerek arazi gerekse laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Kadir SÜNNETÇİ, arkadaşlarım Jeoloji Mühendisi Fatih ALKAN, Jeoloji Mühendisi Tanju AYDURMUŞ ve Harita Mühendisi Fatih GÜLTEKİN’ e teşekkür ederim. Son olarak her zaman yanımda olan hiçbir zaman maddi-manevi desteğini eksik etmeyen, bana güvenen evlatları olmaktan onur duyduğum annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Zarife SOYSAL
Gümüşhane, 2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş ve Amaç.....	1
1.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	4
1.3. Önceki Çalışmalar	7
1.3.1. Genel Jeoloji ile İlgili Çalışmalar.....	8
1.3.2. Kaya Mekanığı ile İlgili Çalışmalar	11
1.3.2.1. Kayaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkileri İçeren Çalışmalar.....	11
1.3.2.2. Kaya Davranışları Üzerinde Anizotropinin Etkisini İnceleyen Çalışmalar	15
1.3.2.3. Doygunluk Durumunu Değerlendiren Çalışmalar	20
1.4. Bölgesel Jeoloji	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	25
2.1. Giriş.....	25
2.1.1. Arazi Çalışmaları.....	25
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları	26
2.1.2.1. Özgül Ağırlık.....	31
2.1.2.2. Birim Hacim Ağırlık	32
2.1.2.3. Ağırlıkça Su Emme	33
2.1.2.4. Hacimce Su Emme	34
2.1.2.5. Sonik Hız Deneyi	35
2.1.2.6. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı	37
2.1.2.7. Dolaylı Çekilme Dayanımı (Brazilian) Deneyi.....	39
2.2. Petrografik Çalışmalar.....	41
2.3. Büro Çalışmaları.....	42

3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	43
3.1.	Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi	43
3.1.1.	Berdiga Formasyonu	46
3.1.2.	Kermutdere Formasyonu	46
3.1.3.	Alibaba Formasyonu	46
3.1.4.	Alüvyon	47
3.2.	Kumtaşlarının Petrografik Özellikleri	47
3.3.	Kumtaşlarının Mühendislik Özellikleri	52
3.3.1.	Giriş	52
3.3.2.	Kumtaşlarının Fiziksel Özellikleri	52
3.3.2.1.	Kumtaşlarının Özgül Ağırlığı	52
3.3.2.2.	Kumtaşlarının Birim Hacim Ağırlığı	53
3.3.2.3.	Kumtaşlarının Ağırlıkça Su Emme Değeri	53
3.3.2.4.	Kumtaşlarının Hacimce Su Emme Değeri	53
3.3.2.5.	Kumtaşlarının Ultrasonik Hız Ölçümleri ve Dinamik Elastik Parametreler	55
3.3.3.	Kumtaşlarının Dayanım Özellikleri	80
3.3.3.1.	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı	80
3.3.3.2.	Dolaylı (Brazilian) Çekilme Dayanımı	93
4.	SONUÇLAR	103
5.	KAYNAKLAR	105
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Blok örnekten yönelim açısının gösterimi	3
Şekil 1.2. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	5
Şekil 1.3. Çalışma alanından genel bir görünüm.....	6
Şekil 1.4. Bazı kaya türlerinde poisson oranı için tipik değişim aralıkları.....	12
Şekil 1.5. Dayanım-yönelim açısı ilişkisi.....	15
Şekil 1.6. β açısının gösterimi	16
Şekil 1.7. Yönelim açısının gösterimi	16
Şekil 1.8. Tek eksenli sıkışma dayanımı-yönelim açısı ilişkisi.....	17
Şekil 1.9. β ve ϕ açısının gösterimi	18
Şekil 1.10. Tek eksenli sıkışma ve Brazilian çekilme dayanımı verileri kullanılarak kohezyonun belirlenmesi.....	22
Şekil 1.11. Gümüşhane ili ve çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti	24
Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan blok örnekler.....	26
Şekil 2.2. Yönlü karot alma işlemi	27
Şekil 2.3. Laminalanma düzlemleri dikkate alınarak farklı yönelim açılarına göre alınan deney örnekleri	28
Şekil 2.4. Komparatör saati	28
Şekil 2.5. Farklı yönelim açılarında hazırlanmış karot ve disk örnekleri.....	29
Şekil 2.6. Doygunluk derecesinin zamana bağlı değişimi.....	31
Şekil 2.7. Örneklerin laboratuvar ortamında doymuş hale getirilmesi	34
Şekil 2.8. Boyuna dalga hızı ölçümü.....	36
Şekil 2.9. Enine dalga hızı ölçümü frekans grafiği	37
Şekil 2.10. Farklı yönelim açılarında hazırlanan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi örnekleri	38
Şekil 2.11. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi.....	38
Şekil 2.12. Farklı yönelim açılarında hazırlanan dolaylı (Brazilian) çekilme dayanımı için hazırlanan örnekler	40
Şekil 2.13. $\beta=0^\circ$ konumda $\phi=90^\circ$ yönelime sahip örneğin konumu ve yenilmesi.....	40
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresine ait stratigrafik kolon kesiti.....	44
Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası ve enine kesiti.....	45
Şekil 3.3. Kumtaşı bloklarına ait kesitlerin çift nikolde mikroskopik görüntüleri.....	49
Şekil 3.4. Kumtaşlarının Folk vd., McBride, Dott sınıflaması.....	51

Şekil 3.5.	Yönelim açısı 90° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doyunluk koşullarında değişimi	56
Şekil 3.6.	Yönelim açısı 60° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doyunluk koşullarında değişimi	57
Şekil 3.7.	Yönelim açısı 45° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doyunluk koşullarında değişimi	58
Şekil 3.8.	Yönelim açısı 30° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doyunluk koşullarında değişimi	59
Şekil 3.9.	Yönelim açısı 0° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doyunluk koşullarında değişimi	60
Şekil 3.10.	Farklı yönelim açılara göre konumlandırılan örneklerin değişen doyunluk koşullarında ölçülen P ve S dalga hızı değerlerinin değişimi	61
Şekil 3.11.	Anizotropi durumu dikkate alınmadan farklı doyunluk koşullarındaki ortalama değerlerin değişimi	61
Şekil 3.12.	Kuru örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında değişimi	62
Şekil 3.13.	Doygunluk derecesi %25 olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı yönelim açılarında değişimi	63
Şekil 3.14.	Doygunluk derecesi %50 olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı yönelim açılarında değişimi	64
Şekil 3.15.	Doygunluk derecesi %75 olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı yönelim açılarında değişimi	65
Şekil 3.16.	Doygun örneklerin örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında değişimi	66
Şekil 3.17.	Farklı doyunluk koşuluna göre örneklerin değişen yönelim açılarında ölçülen P ve S dalga hızı değerlerinin değişimi	67
Şekil 3.18.	Doygunluk koşulu dikkate alınmadan değişen yönelim açılarında ortalama değerlerin değişimi	67
Şekil 3.19.	Yönelim açısı 90° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doyunluk koşullarında değişimi	68
Şekil 3.20.	Yönelim açısı 60° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doyunluk koşullarında değişimi	69
Şekil 3.21.	Yönelim açısı 45° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doyunluk koşullarında değişimi	70
Şekil 3.22.	Yönelim açısı 30° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doyunluk koşullarında değişimi	71
Şekil 3.23.	Yönelim açısı 0° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doyunluk koşullarında değişimi	72
Şekil 3.24.	Farklı yönelim açılara göre konumlandırılan örneklerin değişen doyunluk koşullarında hesaplanan dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülü değerlerinin değişimi	73

Şekil 3.25.	Anizotropi durumu dikkate alınmadan farklı doygunluk koşullarındaki ortalama değerlerin değişimi.....	73
Şekil 3.26.	Kuru örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	74
Şekil 3.27.	Doygunluk derecesi %25 örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	75
Şekil 3.28.	Doygunluk derecesi %50 örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	76
Şekil 3.29.	Doygunluk derecesi %75 örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişim.....	77
Şekil 3.30.	Doygun örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	78
Şekil 3.31.	Farklı doygunluk koşuluna göre örneklerin değişen yönelim açılarında hesaplanan dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülü değerlerinin değişimi.....	79
Şekil 3.32.	Doygunluk koşulu dikkate alınmadan değişen yönelim açılarında ortalama değerlerin değişimi.....	79
Şekil 3.33.	Yönelim açısı 90° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi.....	81
Şekil 3.34.	Yönelim açısı 60° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi.....	82
Şekil 3.35.	Yönelim açısı 45° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişim.....	83
Şekil 3.36.	Yönelim açısı 30° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi.....	84
Şekil 3.37.	Yönelim açısı 0° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi.....	85
Şekil 3.38.	Değişen yönelim açılarına sahip örneklerin farklı doygunluk koşullarında ölçülen tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin değişimi.....	86
Şekil 3.39.	Yönelim açısı dikkate alınmadan farklı doygunluk derecelerindeki ortalama değerlerin değişimi.....	86
Şekil 3.40.	Kuru örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	87
Şekil 3.41.	Doygunluk derecesi %25 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	88
Şekil 3.42.	Doygunluk derecesi %50 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	89
Şekil 3.43.	Doygunluk derecesi %75 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	90
Şekil 3.44.	Doygun örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi.....	91

Şekil 3.45.	Farklı doygunluk koşulunda örneklerin değişen yönelim açılarındaki tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin değişimi	92
Şekil 3.46.	Doygunluk koşulu dikkate alınmadan değişen yönelim açılarında ortalama değerlerin değişimi	92
Şekil 3.47.	Yönelim açısı 90° ve 60° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi	94
Şekil 3.48.	Yönelim açısı 45° ve 30° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi	95
Şekil 3.49.	Yönelim açısı 0° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi	96
Şekil 3.50.	Değişen yönelim açılarına sahip örneklerin farklı doygunluk koşullarında ölçülen dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin değişimi	97
Şekil 3.51.	Yönelim açısı dikkate alınmadan farklı doygunluk derecelerindeki ortalama değerlerin değişimi	97
Şekil 3.52.	Kuru ve %25 doygun örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının değişen yönelim açılarındaki değişimi	98
Şekil 3.53.	Doygunluk derecesi %50 ve %75 örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının değişen yönelim açılarındaki değişimi	99
Şekil 3.54.	Doygun örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının değişen yönelim açılarındaki değişimi	100
Şekil 3.55.	Farklı doygunluk koşulunda örneklerin değişen yönelim açılarındaki dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin değişimi	101
Şekil 3.56.	Doygunluk koşulu dikkate alınmadan değişen yönelim açılarında ortalama değerlerin değişimi	101

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Kumtaşı örneklerine ait modal analiz sonuçları.....	48
Tablo 3.2. Kumtaşlarının fiziksel özellikleri.....	54
Tablo 3.3. Yönelim açısı 90° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri.....	56
Tablo 3.4. Yönelim açısı 60° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri.....	57
Tablo 3.5. Yönelim açısı 45° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri.....	58
Tablo 3.6. Yönelim açısı 30° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri.....	59
Tablo 3.7. Yönelim açısı 0° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri.....	60
Tablo 3.8. Kuru örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri.....	62
Tablo 3.9. %25 doygunluk derecesindeki örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri.....	63
Tablo 3.10. %50 doygunluk derecesindeki örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri.....	64
Tablo 3.11. %75 doygunluk derecesindeki örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri.....	65
Tablo 3.12. Doygun örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri.....	66
Tablo 3.13. Yönelim açısı 90° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	68
Tablo 3.14. Yönelim açısı 60° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	69
Tablo 3.15. Yönelim açısı 45° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	70
Tablo 3.16. Yönelim açısı 30° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	71
Tablo 3.17. Yönelim açısı 0° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	72
Tablo 3.18. Kuru örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	74

Tablo 3.19.	%25 doygunluk derecesindeki örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	75
Tablo 3.20.	%50 doygunluk derecesindeki örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	76
Tablo 3.21.	%75 doygunluk derecesindeki örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	77
Tablo 3.22.	Doygun örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	78
Tablo 3.23.	Yönelim açısı 90° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	81
Tablo 3.24.	Yönelim açısı 60° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	82
Tablo 3.25.	Yönelim açısı 45° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	83
Tablo 3.26.	Yönelim açısı 30° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	84
Tablo 3.27.	Yönelim açısı 0° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	85
Tablo 3.28.	Kuru örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri	87
Tablo 3.29.	Doygunluk derecesi %25 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	88
Tablo 3.30.	Doygunluk derecesi %50 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	89
Tablo 3.31.	Doygunluk derecesi %75 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	90
Tablo 3.32.	Doygun örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri	91
Tablo 3.33.	Yönelim açısı 90° ve 60° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	94
Tablo 3.34.	Yönelim açısı 45° ve 30° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	95
Tablo 3.35.	Yönelim açısı 0° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri	96
Tablo 3.36.	Kuru ve %25 doygun örneklerin dolaylı çekilme dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri	98
Tablo 3.37.	Doygunluk derecesi %50 ve %75 örneklerin dolaylı çekilme dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri.....	99

Tablo 3.38. Doygun örneklerin dolaylı çekilme dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri	100
Tablo 3.39. Tüm deneylere ait ortalama değerler.....	102



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_v	: Hacimce su emme (görünür gözeneklilik)
A_w	: Ağırlıkça su emme (%)
D	: Örnek çapı (cm)
$D\check{C}D$: Dolaylı çekilme dayanımı
E	: Elastisite modülü (MPa)
E_d	: Dinamik elastisite modülü (GPa)
F	: Örneğinin yenilmesi anındaki yük (kg)
g	: Yerçekim ivmesi (9.81m/sn^2)
G_s	: Özgül ağırlık
ISRM	: Uluslararası kaya mekaniği grubu
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 örnekten geçme zamanı (sn)
TESD	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
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_b	: Boşluk hacmi
W_d	: Örneğin doymuş ağırlığı (g)
W_1	: Piknometre+Su (g)
W_2	: Piknometre+Su+Zemin (g)
W_k	: Örneğin kuru ağırlığı (g)
β	: Yönelim açısı
ν_d	: Dinamik 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_c	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
σ_t	: Dolaylı çekilme dayanımı (kg/cm^2)
γ	: Birim hacim ağırlık (kN/m^3)
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3)
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlık (kN/m^3)
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve Amaç

Yaklaşık 16 km kalınlığındaki yer kabuğunun %95' ini magmatik ve metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Ancak yeryüzünde yüzeylemekte olan kayaların %75' i sedimanter kökenlidir (West, 1995). Bu nedenle yeraltı ve yerüstünde gerçekleştirilen mühendislik çalışmalarının çoğu tortul kaya ortamı üzerine inşa edilmektedir.

Dayanım; yükleme altındaki bir malzemenin yenilmeye uğramadan karşı koyabildiği en büyük gerilme olarak tanımlanmaktadır. Kayaların dayanımlarının tespiti kayaların kullanım alanlarının belirlenmesinde, kaya sınıflamasında, mühendislik ve tasarım projelerinin gerçekleştirilmesinde gerek ekonomikliği gerekse güvenliğin sağlanması açısından önemlidir. Ancak doğadaki kayaların büyük bir kısmı sürekli, homojen ve izotrop malzeme değildirler ve çeşitli süreksizlikler tarafından kesilirler (Ulusay, 2007). Kayaların yapısal özellikleri, mineralojik bileşimi, tanelerin boyutu, dizilişi, şekli, su emme derecesi, tortul kayalarda çimentonun türü, magmatik kayalarda kristallenme derecesi ve ayrışma durumu gibi özellikler kaya davranışlarını etkilemektedir.

Kaya ortamlarının büyük kısmı heterojen ve anizotropik özellik gösteren ortamlardır. Kayayı oluşturan minerallerin ve/veya tanelerin yönelimi ve kayanın sahip olduğu mevcut süreksizlerin etkisi ile dayanım ve deformasyon özelliklerinin yönlere göre değişiklik göstermesi anizotropi olarak tanımlanmaktadır.

Anizotropi, kayanın etkilendiği gerilmelere bağlı olarak foliasyon gösteren metamorfik kayalarda, laminalı-ince tabakalı sedimanter kayalarda ve akış ile mineral sıralaması gösteren magmatik kayalarda gözlenmektedir (Amadei, 1996). Metamorfik kayalar, oluşumları esnasında ısı ve basınca maruz kalmaları nedeni ile kazandıkları foliasyon, şistozite, klivaj gibi yapılardan dolayı belirgin bir anizotropi göstermektedir. Sedimanter kayalar depolanma sırasında farklı tabakalarda farklı mineral oluşumu nedeni ile anizotropik özellik kazanmaktadır. Aynı zamanda kumtaşı-şeyl ardalanması veya çört-şeyl ardalanması gibi farklı bileşenlere sahip düzenli aratabakalanmalı-laminalı kayalarda da anizotropi oluşmaktadır. Magmatik kayalarda ise akış esnasında mineral dizilimine bağlı olarak anizotropi meydana gelebilmektedir.

Kayalarda iki tür anizotropiden söz edilmektedir. Bunlardan ilki; foliasyon, klivaj, laminalanma, tanelerin dizilişi, tanelerin yönelimi gibi yapısal unsurların etkili olduğu bünyesel anizotropidir. İkincisi ise, kayanın oluşum sürecinden itibaren etkilendiği gerilmelerin ve bu gerilmelerin sebep olduğu süreksizliklerin etkili olduğu anizotropidir (Ramamurthy, 1993). Kayalarda mevcut (bünyesel) olan anizotropi, dayanım anizotropisi ve deformasyon anizotropisi olarak sınıflandırılmaktadır. Anizotropi düzlemleri dikkate alınarak değişik açılarda konumlandırılan örneklerde yapılacak dayanım ve deformasyona yönelik çalışmalar, kayalarda anizotropinin etkisini dolayısıyla da farklı konumlanmış kayaların davranışlarını belirlemede oldukça önemlidir. Bu sebeple mühendislik projelerinin gerçekleştirilmesinde anizotropi durumu dikkate alınması gereken bir unsurdur.

Kayalarda dayanım anizotropisinin varlığını ve özelliklerini belirlemek için günümüze kadar yapılan araştırmalarda en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımının genellikle 0° ve 90° lik, en küçük tek eksenli sıkışma dayanımının ise genellikle 30° lik yönelim açılarında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu durumda sıkışma dayanımı (σ_c) ve yönelim açısı (β) eksenleri arasında çizilen eğrinin şekline göre kayalarda görülebilecek anizotropi tipi belirlenmiştir. Bu anizotropi tipleri; U tipi anizotropi, omuz tipi anizotropi ve dalgalı tip anizotropi olarak isimlendirilmiştir (Ramamurthy, 1993).

Benzer şekilde farklı doygunluk koşulları da kayaların davranışlarında farklılığa neden olabilecek bir durumdur. Laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalarda genel olarak kaya ortamlarında kuru koşullar dikkate alınmakta bu nedenle gerek dayanım değeri gerekse kaya davranışına yönelik belirlenebilecek diğer özellikler bu koşula göre belirlenmektedir. Ancak doğal ortamda kaya her zaman kuru olmamakta ve farklı doygunluk derecelerine sahip olabilmektedir. Bunun bir sonucu olarak aslında kayalar değişen doygunluk koşulları ile birlikte farklı dayanım değerleri göstermektedir. Farklı doygunluk koşullarının kaya davranışları üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için seçilen kaya türü de oldukça önemlidir. Gözenekliliği çok düşük ve boşlukları birbiri ile bağlantısız olan kaya türleri doyurulmaya uygun olmayacağından derinlik kayaları ve metamorfik kayalar yerine doyurulmaya daha uygun olan sedimanter kökenli kaya türleri tercih edilmelidir.

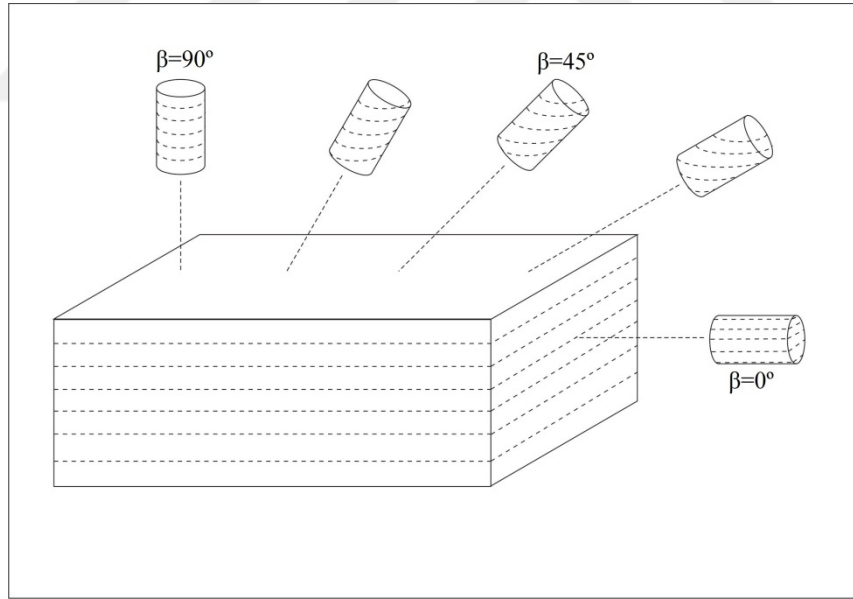
Bu koşullar bütünü ile dikkate alındığında hem anizotropinin hem de farklı doygunluk koşullarının kaya davranışlarında farklılıklara neden olması beklenen bir durumdur. Çalışmada değişen doygunluk koşulları ve farklı anizotropi durumu birlikte

değerlendirilmek istendiği için kaya türü olarak hem laminalanma içermesi hem de doyurulmaya daha uygun olması nedeni ile kumtaşları tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı; kumtaşlarında değişen doygunluk koşulları (kuru, %25, %50, %75, doymuş) ve farklı yönelim açlarına (0° , 30° , 45° , 60° , 90°) bağlı olarak dalga hızı (V_p , V_s), dinamik elastik parametreler (E_d , ν_d) ve dayanım özelliklerinin (σ_c , σ_t) değişimini araştırmaktır.

Çalışmanın birinci bölümünde; dalga hızı ve dayanım özelliklerin anizotropi ve/veya doygunluk derecesi ile ilişkisini irdeleyen literatür taraması yapılmıştır.

İkinci bölümünde ise arazi çalışmaları gerçekleştirilerek araziden alınan kumtaşı blok örnekleri laboratuvara getirilip mineralojik, petrografik inceleme gerçekleştirmek için her bloğu temsil eden ince kesitler hazırlanmıştır. Blok örneklerden ISRM (2007) standartlarında deney yapmaya uygun boyutlarda ve yönelim açısı (β), kumtaşının laminalanma düzleminin düşeyle (örneğin sıkışma yönü ile) yaptığı dar açı olacak şekilde örnekler hazırlanmıştır (Şekil 1.1)



Şekil 1.1. Blok örnekte yönelim açısının gösterimi

Üçüncü bölümde, ISRM (2007) tarafından önerilen deney yöntemleri kullanılarak kumtaşlarının özgül ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, doymuş birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, görünür gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Kumtaşlarında dalga hızı ve buna bağlı olarak belirlenen dinamik özelliklerin anizotropi ve farklı doygunluk koşulları ile olan değişiminin saptanması için 0° , 30° , 45° , 60° , 90° lik yönelim

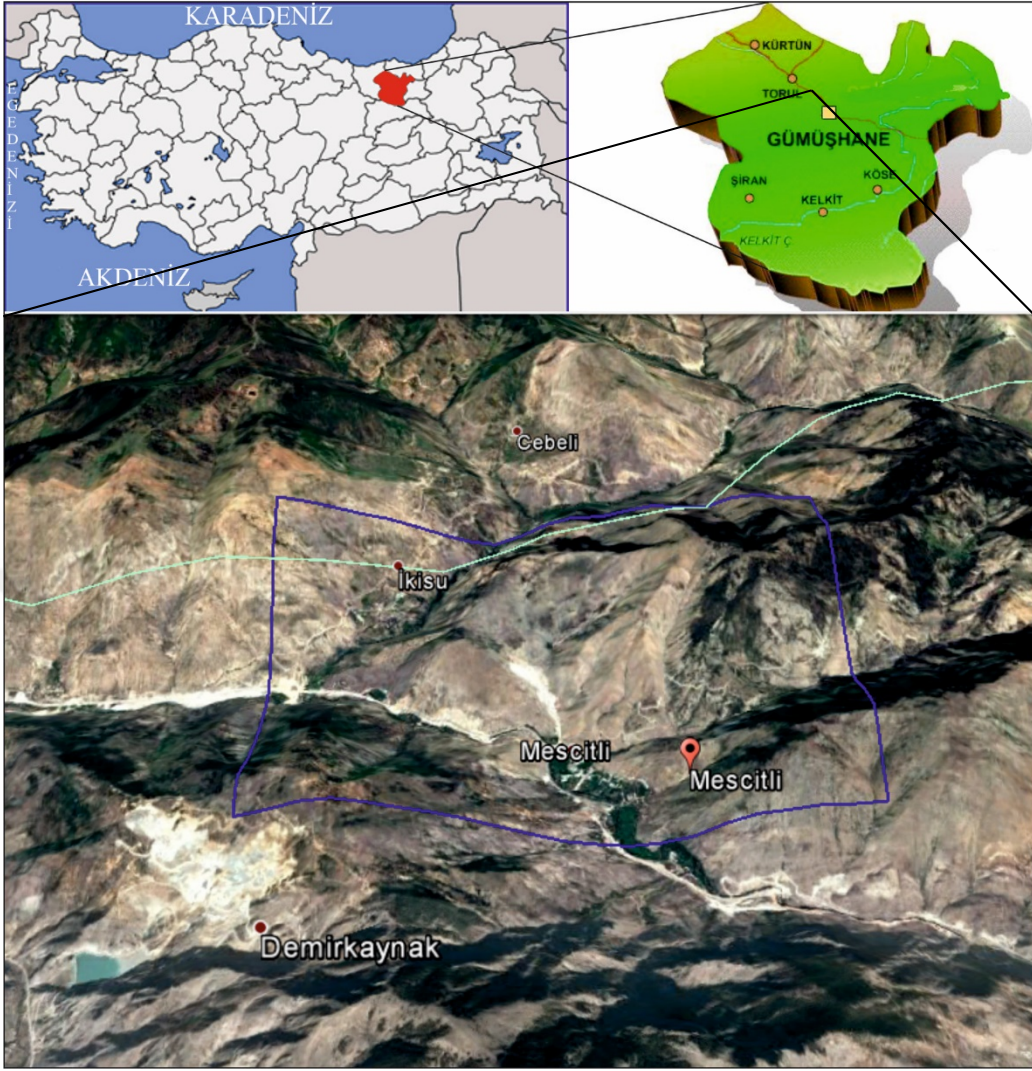
açılara göre hazırlanan örneklerde %0, %25, %50, %75, %100 doygunluk koşullarında sonik hız deneyi yapılmıştır. Benzer şekilde aynı örnekler üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi gerçekleştirilerek anizotropi ve değişen doygunluk koşullarının kumtaşlarının dayanımı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Ayrıca standartlara uygun olarak hazırlanan bir grup deney numunesi ile dolaylı çekilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deney gerçekleştirilirken de anizotropi ve doygunluk koşulları göz önünde bulundurulmuştur.

Ayrıca deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve ilgili grafikler literatür çalışmaları ile karşılaştırılarak uyum ve farklılıkları tartışılmıştır.

Dördüncü ve son bölümde ise çalışma neticesinde ulaşılan sonuçlar genel hatları ile belirtilmiştir.

1.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

İnceleme alanı, Doğu Pontid Orojenik Kuşağı' nın Güney Zonu' nda, Gümüşhane ilinin yaklaşık 14 km kuzeybatısında Mescitli Köyü ve civarında yer almaktadır. Trabzon G42-c3 paftasının bir bölümünü içeren inceleme alanı yaklaşık 12 km²' lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.2, Şekil 1.3). Bu çalışmada, çalışma amacına uygun olması nedeni ile inceleme alanında yüzeyleme veren Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu' na ait kumtaşları tercih edilmiştir.



Şekil 1.2. Çalışma alanının yer bulduru haritası



Şekil 1.3. Çalışma alanından genel bir görünüm (Mescitli Köyü' nün kuzeybatısından)

İnceleme alanında genellikle sert röliyefli tepeler ve kayalıklar mevcuttur. Çalışma alanında en düşük nokta Harşit Çayı'nın aktığı vadi tabanı (1060 m) ile en yüksek nokta olan Eşikkaya Tepesi (1804 m) arasındaki kot farkı yaklaşık 744 m' dir. İnceleme alanındaki başlıca yükseltiler; Salıntaş Tepesi (1444 m), Güney Tepe (1740 m) ve Eşikkaya Tepesi (1804 m)' dir.

İnceleme alanındaki ana drenaj hattı Gümüşhane-Torul karayoluna yaklaşık paralel akan Harşit Çayı' dır.

İnceleme alanı Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu iklimleri arasındaki geçiş bölgesinde yer almaktadır. Her iki bölgenin de özelliklerinden etkilenen karasal iklim hakimdir. Yazlar kurak ve az yağışlı, kışlar ise soğuk ve serttir. İnceleme alanının kuzeydoğusunda bulunan Zigana Dağları, Karadeniz Bölgesi' nin karakteristik nemli havasına, güneybatısında bulunan Kop Dağları ise Doğu Anadolu Bölgesi' nin karakteristik soğuk ve sert rüzgarlarına engel oluşturmaktadır. Bu nedenle bölge bu iki iklim arasında bir geçiş niteliğine sahiptir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü' nden sağlanan bilgilere göre inceleme alanı ve yakın çevresinde yıllık ortalama sıcaklık 9.6 °C' dir. Yılın en sıcak ayı ortalama sıcaklık değeri ile Temmuz-Ağustos ayları olup 20.2 °C' dir. En soğuk ayı ise ortalama sıcaklık değeri ile Ocak ayı olup -1.7' dir. En yüksek sıcaklık 2000 yılı Temmuz ayında 41 °C ile en düşük sıcaklık ise 1985 yılının Şubat ayında -25.7 gözlemlenmiştir. Bölgedeki en yağışlı ay

Mayıs, en yağışsız ay Ağustos ayıdır. Yağışlı geçen yıllık ortalama gün sayısı 122 gündür ve ortalama yağış miktarı 456.4 mm ile 464.7 mm arasında değişmektedir.

Yöre bitki örtüsü bakımından oldukça fakir olup, kent merkezi genellikle açıktır. Topoğrafik olarak daha yüksek alanlarda ve vadi içlerinde çam, meşe gibi seyrek ağaç toplulukları gözlenirken alçak kesimlerde meyve ağaçları gözlemlenmektedir.

Çalışma alanına ulaşım, şehir merkezinden geçen ve birçok anlamda yöreye hayat veren Trabzon-Erzurum devlet karayolundan sağlanmaktadır. İnceleme alanında en büyük yerleşim yerleri köy merkezleri ve mezralardan oluşmaktadır. En yakın ve büyük yerleşim yeri Mescitli Köyü olup il merkezinin yaklaşık 14 km kuzeybatısındadır.

1.3. Önceki Çalışmalar

Önceki çalışmalar; genel jeoloji ile ilgili çalışmalar ve kaya mekaniği ile ilgili çalışmalar olarak 2 ana başlık altında incelenmiştir.

Literatürde günümüze kadar birçok araştırmacı bölgeyi genel jeoloji ve mineroloji-petrografi açısından incelemiştir (Gattinger, 1962; Tokel, 1972; Gedikoğlu, 1979; Eren, 1983; Kahraman vd., 1985; Güven vd., 1993; Yılmaz, 1997; Atıcı, 1998; Kaygusuz, 2000; Arslan vd., 2000; Saydam, 2002; Yılmaz, 2002; Sipahi, 2005; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Kılıç, 2009; Aslan, 2010; Eyüboğlu vd., 2011; Arslan vd., 2014).

Kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri içeren çalışmalar birçok araştırmacı tarafından yapılmış olup (Tuğrul ve Zarif, 1999; Yenice, 2002; Başarır vd., 2004; Chang vd., 2006; He, 2006; Gerçek, 2006; Ertaş, 2006; Singh ve Sharma, 2008; Jianhong vd., 2008; Ersoy vd., 2009; Moradian ve Behnia, 2009; Kanık, 2010; Alemdağ ve Gürocak, 2011; Babacan vd., 2012; Karaman ve Kesimal, 2012; Gürocak vd., 2012; Onur vd., 2012; Dağ vd., 2013; Dağ vd., 2015; Chen vd., 2015; Ji ve Marcotte, 2009; Gökçe, 2015; Dağ, 2016) bu çalışmalar aşağıda özetle verilmiştir.

Ayrıca önceki çalışmalara yönelik anlatımlarda literatürde kaya davranışları üzerinde anizotropinin etkisini inceleyen araştırmacılar (Donath A. Fred, 1964; Batugin ve Nirenburg, 1973; Jeager ve Cook, 1976; Behrestaghi vd., 1996; Çolak, 1998; Ajalloeian ve Lahskaripour, 2000; Chen ve Hsu, 2001; Bayrak, 2005; Özkan, 2006; Garagon, 2007; Kurtuluş vd., 2011; Yücel, 2012; Khanlari vd., 2013; Gökçe, 2014; Singh vd., 2015, Dağ ve Soysal, 2017) ve kayalarda doygunluk durumunu değerlendiren araştırmacıların

çalışmalarına da (Helle vd., 2002; Chang vd., 2006; Kahraman, 2007; Török ve Varashelyi, 2010; Atıcı ve Yünel, 2011; Karakul ve Ulusay, 2012) yer verilmiştir.

1.3.1. Genel Jeoloji ile İlgili Çalışmalar

Gattinger (1962), Gümüşhane ve çevresinin stratigrafisini belirlemeye yönelik yaptığı çalışma ile Permiyen yaşlı metamorfikler ve granitler, Liyas yaşlı kireçtaşları, Geç Kretase yaşlı filişler ve Eosen yaşlı volkanikleri tespit etmiştir.

Tokel (1972), Gümüşhane yöresinde yaptığı çalışmada Geç Kretase yaşlı kayaları “Kermutdere Formasyonu” adı altında toplamıştır. Ortalama kalınlığın 280 m olduğunu vurgulamıştır.

Gedikoğlu (1979), “Doğu Pontidler’de Mesozoyik Döneminde Jeotektonik Gelişimin Ana Hatları” adlı çalışmasında Üst Kretase sedimanter kayalarını üç farklı zona ayırmıştır. Bunlardan birincisinin Geç Turoniyen-Erken Senoniyen yaşlı konglomera ve kumlu sparitik kireçtaşı olmakla birlikte *Nerinea*, *Acteonella* ve üste doğru *Globotruncana* foraminiferlerini içermekte olduğunu belirtmiştir. İkincisinin bol *Globotruncana*’lı kırmızı renkli biyomikritik kireçtaşı zonu olduğunu belirlemiş, üçüncüsünün ise; Doğu Pontid Güney Zonu’nda geniş yayılıma sahip Maastrichtiyen yaşlı türbiditler olup “Tepeköy Formasyonu” olarak adlandırmıştır. Bu formasyonun üst kesimlerindeki *Globigerina Subbotina*, *Discocyclina* ve *Globorotalia* foraminiferlerinin ise Paleosen yaşlı olduğunu belirtmiştir.

Eren (1983), “Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi” adlı çalışmasında Geç Kretase yaşlı kayaları kumlu kireçtaşı üyesi, kırmızı kireçtaşı üyesi ve türbidit üyesi olmak üzere üç ayrı üyeye ayırmıştır. Doğu Pontidler’ de Geç Kretase yaşlı oluşukların transgresif olarak daha yaşlı oluşukların üzerine geldiğini belirtmiştir. Genelde Geç Kretase yaşlı tortulların türbiditik karakterde olduğunu ve Eosen’ in transgresif özellikte geliştiğini tespit etmiştir.

Kahraman vd. (1985), Gümüşhane’ nin kuzeyinde ve batısında yaptıkları çalışmalarında Geç Kretase yaşlı tortul birimin Tahnis, Kale, Pirahmet, Bahçecik, Kermut, Arsa Mahallesi, Bayana, Dayısa, Soroyana yörelerinde yüzelediğini tespit etmişlerdir.

Güven vd. (1993), Trabzon F42 ve G42 paftalarında 1/100 000 ölçekli jeoloji harita çalışmasında Geç Kretase yaşlı kırıntılı kayaları “Mescitli Formasyonu” adı altında inceleyerek, birimin kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşlarından başlayarak, gri renkli marn,

şeyl, killi kireçtaşı ve kumtaşı araldanması ile devam ettiğini saptamıştır. Kalınlığın yaklaşık 600 m olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (1997), Gümüşhane bölgesinde yaptığı “Kretase yaşlı havza gelişiminde sedimantolojik kayıtlar” adlı çalışmada Kermutdere Formasyonu’ nun riftleşme sonucu oluştuğunu ortaya koymuştur.

Atıcı (1998), Mescitli ve Pirahmet (Gümüşhane) yörelerinde yaptığı çalışmalarda, Geç Kretase yaşlı birimin yeşilimsi, gri renkli, ince tabakalı, kireçtaşı-marn-kumtaşı araldanmasından oluştuğunu ve kalınlığın minimum 64 m olduğunu belirtmiştir.

Kaygusuz (2000), Torul (Gümüşhane) ve çevresinde yüzeyleyen kayaların mineralojik, petrografik ve kimyasal özelliklerini yapmış olduğu doktora çalışmasında incelemiştir. Ayrıca çalışma alanının yaklaşık merkezinde bulunan Torul Granitoidini ayrıntılı olarak inceleyerek petrojenezini araştırmıştır.

Arslan vd. (2000), Trabzon ve Gümüşhane yörelerinde yüzeyleyen Eosen volkanitlerini mineralojik ve petrografik olarak incelemişlerdir. Gümüşhane yöresini kapsayan güney zon kayalarının kalkalkali karakterde olduğunu ifade etmişlerdir. Düşük ve orta derecede potasyum (K) içerdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada jeokimyasal verilerden yola çıkarak bu kayaların tipik yitim ilişkili yay gerisinde oluşmuş kalkalkalen volkanizma özelliği gösterdiğini belirtmişlerdir.

Saydam (2002), yapmış olduğu doktora çalışmasında Doğu Pontitlerde yer alan Geç Kretase yaşlı kırıntılı kayaların sedimantolojik, sedimenter petrografik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiştir. İstifin toplam kalınlığının her yörede farklı olup, 96 m-750 m arasında değişiklik gösterdiğini ifade etmiştir. Birimin genellikle ince-orta taneli, ince-orta-kalın tabakalı kumtaşı ve ince-orta tabakalı marn araldanmalı olduğunu, ancak yöresel olarak bu araldanmaya kireçtaşı, kiltası, silt ve tüflerin eşlik ettiğini belirtmiştir. İstifteki derecelenme ve paralel laminalanmaya dikkat çekmiştir. Kumtaşlarının petrografik olarak litarenit-arkoz arasında değişmekte olduğunu, mineralojik olarak olgunlaşmamış, dokusal olarak orta derecede olgun olduğunu belirlemiştir. Kumtaşlarının genel olarak, magmatik yay, yeniden işlenen orojen bölgesi ve buna bağlı olarak da yay gerisi bindirme kuşağından türediklerini tespit etmiştir.

Yılmaz (2002), Gümüşhane ve Bayburt yörelerindeki çalışmasında Alibaba Formasyonu’ nun geniş yayılım gösterdiğini, Kermutdere Formasyonu üzerine uyumsuz olarak geldiğini, derin erozyona uğramış bölgelerde ise Liyas yaşlı Zimonköy Formasyonu üzerine aşınmalı uyumsuzlukla geldiğini saptamıştır. Birim tabanında yersel kumlu ve

nummulitli kireçtaşları bulunduran kalın bir volkano tortul gövde olduğunu belirtmiştir. Tabanda bulunan konglomera seviyesinin büyük oranda Berdiga Formasyonu'ndan türediğini belirlemiştir. İçerdiği *Nummulites*'lere dayanarak birimin yaşının Eosen olduğunu ve çökelme ortamlarında yoğun bir volkanik etkinliğin de eşlik etmesiyle sığ denizel ve karasal ortamlarda birikmiş olduğunu tespit etmiştir.

Sipahi (2005), Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) ve çevresinde yapmış olduğu doktora çalışmasında Geç Kretase yaşlı volkanitlerdeki hidrotermal ayrışmaları incelemiştir. Volkanitlerde genel olarak az ayrılmış kayadan çok ayrılmış kayaya doğru ilitleşme-kloritleşme-kaolinitleşmenin arttığına, karbonatlaşmanın ise azaldığına dikkat çekmiştir. Kütle değişim hesaplamalarında; bazalt, andezit ve Dasit-I' de kütle artması, Dasit-II ve andezit dayklarında kütle azalması ve porfirik dasitlerde ise hem kütle artması hem de kütle azalmasının meydana geldiğini ortaya koymuştur. Dasitlerdeki ilitlerin başlıca magmatik kökenli hidrotermal sıvılardan oluştuğunu ifade etmiştir. K-Ar yöntemine göre, Dasit-I' deki ilitlerin ortalama 78.7 ± 2.3 My ve Dasit - II' dekilerin ortalama 75.3 ± 2.4 My (Kampaniyen-Daniyen) yaşında olduklarını belirlemiştir.

Dokuz ve Tanyolu (2006), Yusufeli (Artvin) yöresindeki Erken Jura ve Geç Kretase yaşlı şeyl ve kumtaşlarını; kaynak alanları, sedimantolojik gelişimleri ve tektonik gelişimleri ile ilgili daha fazla bilgi edinmek amacı ile incelemiştir. Ayrışma, hidrolik boylanma ve tortul döngü olaylarının kaynak alan karakteristikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için petrografik ve jeokimyasal olarak irdelemiştir.

Kılıç (2009), Gümüşhane-Bayburt yörelerinde yüzeyleyen Kretase-Tersiyer geçişinin foraminifer ve sedimantoloji kayıtlarını doktora tez çalışması kapsamında incelemiştir. Üst Kretase istifinin Gümüşhane yöresinde tabanda monojenik breş/konglomera ve ince-orta tabakalı kumlu kireçtaşları ile başlayan Kermutdere Formasyonu, üste doğru ince tabakalı mikritik kireçtaşları ile devam ederek, tuf ara seviyeli kumtaşı-marn-kiltaşı ardalanması ile sona erdiğini ifade etmiştir. Eosen sürecinde ise Alibaba Formasyonu' nun yer yer taban konglomerası ile başladığını ve üste doğru nummulitli kumlu kireçtaşları ile devam edip aglomeralarla son bulduğunu belirtmiştir.

Aslan (2010), Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda yayılım gösteren Eosen yaşlı birimlerin Geç Kretase yaşlı volkanoklastik ve sedimanter kayaları uyumsuz olarak örttüğünü ifade etmiştir. Eosen biriminin başlıca lav ve daha az oranda tuf ve sedimanlardan oluştuğunu belirtmiştir. Tüflerden yaptığı U-Pb zirkon yaş analizi sonucu birimin yaşının 45.8 My olduğunu saptamıştır. Jeokimyasal olarak tüflerin kalk-alkalin

volkanik yay özellikte olduğunu ifade etmiştir. Bu volkanitlerin ana magmasının zenginleşmiş üst manto kaynağından türediğini iz element değişiminden yola çıkarak belirlemiştir.

Eyüboğlu vd. (2011), Doğu Pontid orojenik Kuşağı'ndaki Tersiyer magmatizmasının 57 my önce (Geç Paleosen) Kop Dağı-Erzincan hattı boyunca adakitik karakterli olarak başladığını ve zaman içinde kuzeye doğru göç ettiğini ileri sürmüştür. 45 my yıl önce Torul-Bayburt-İspir hattı boyunca adakitik magmatizmanın son ürünlerini oluşturduğunu ifade edip, kuzeye doğru olan göçü güneye doğru dalan okyanus litosferinde açılmaya başlayan dilim penceresi (slab window) modeli ile açıklamıştır.

Arslan vd. (2014), Gümüşhane ve çevresindeki Eosen yaşlı volkanik kayalar üzerinde yapmış oldukları çalışmalarında, volkanitlerin Ar-Ar yaşlarının 37.7-44.5 my yıl arasında olduğunu belirtmişlerdir.

1.3.2. Kaya Mekanığı ile İlgili Çalışmalar

Çalışılan konu dikkate alınarak kaya mekanığı konusundaki önceki çalışmalar; kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri içeren çalışmalar, kaya davranışları üzerinde anizotropinin etkisini inceleyen çalışmalar ve doyunluk durumunu değerlendiren çalışmalar olmak üzere üç alt başlık altında derlenmiştir.

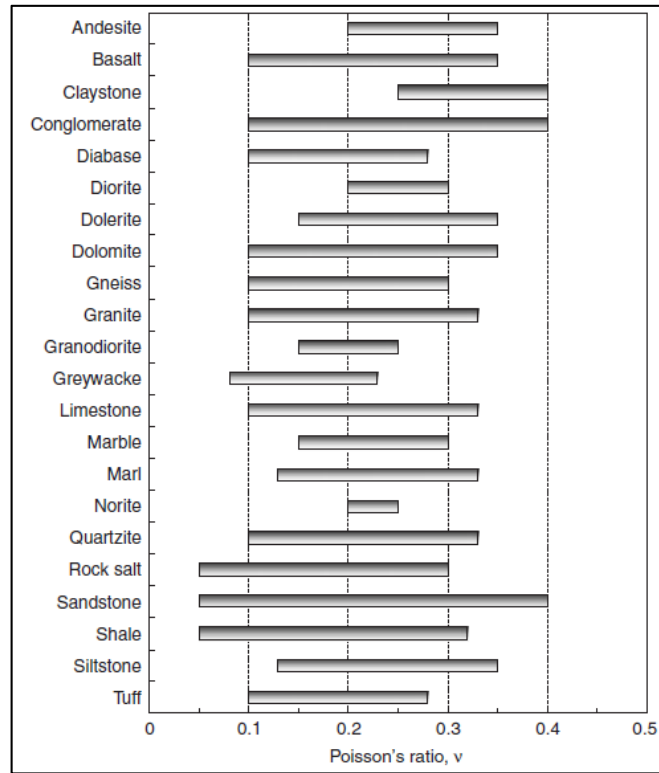
1.3.2.1. Kayaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkileri İçeren Çalışmalar

Tuğrul ve Zarif (1999), farklı bölgelerden toplanan granitlerin mühendislik özellikleri ve petrografik özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemişlerdir. Numunelerin mineralojik bileşiminin kaya dayanımına etki eden önemli özelliklerden olduğunu ifade etmişlerdir. Kayalardaki mineral bolluklarının farklı dayanım değerlerine sebep olduğunu, tane boyutunun da dayanımı etkilediğini ve küçük tane boyutuna sahip örneklerin yüksek dayanım değeri gösterdiğini ifade etmişlerdir. Granitlerde 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), farklı alanlardan alınan marn ve kireçtaşı örnekleri üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve dolaylı çekilme dayanımı deneyleri yaparak fiziksel özellikler arasındaki ilişkileri belirlemeye yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Yapmış olduğu deneysel çalışmalar neticesinde nokta yük dayanım indeksi ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler tespit etmiş ve bu ilişkiden yola çıkarak kayaların tek eksenli sıkışma dayanımını nokta yük dayanım indeksinden yola çıkarak tespit etmiştir.

Başarır vd. (2004), kayaların mekanik özelliklerinden tek eksenli sıkışma dayanımlarını basit deney yöntemleriyle elde etmek için çalışmasını gerçekleştirmiştir. Nokta yük dayanım indeksi, Schmidt çekici ve sonik hız deneyleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında ilişkiyi belirlemiş ve daha önceki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Gercek (2006), çalışmasında kaya mekaniğinde poisson oranı değerini ve uygulamalarını tartışmıştır. Farklı çalışmalardan derlemiş olduğu bilgiler ile elementler ve mineraller için poisson oranı değerini vermiştir. Ayrıca yine literatür bilgilerine dayanarak değişik kaya gruplarında poisson oranının değişim aralıklarını belirlemiştir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Bazı kaya türlerinde poisson oranı için tipik değişim aralıkları.

Ertay (2006), yapmış olduğu yüksek lisans tezi kapsamında 4 farklı kireçtaşını malzeme ve kütle özellikleri bakımından incelemiştir. Kireçtaşlarını saha performansı ve dayanıklılığı, arazi ölçümleri ve laboratuvar çalışmaları ile karşılaştırmıştır. Elde ettiği verilerle Mersin yöresi Değirmenayı ve Tirtar st seviye kireçtaşlarının iyi, Tirtar orta ve alt seviye kireçtaşlarının ise zayıf olduğunu gözlemiştir.

Singh ve Sharma (2008), bir magmatik,  tortul ve üç metamorfik kökenli kaya grubunda tek eksenli sıkışma dayanımı, suya dayanıklılık indeksi ve ultrasonik dalga hızı değerlerini ölçüp istatistiksel analizler gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak sıkışma dayanımı ve suya dayanıklılık değerlerinin dalga hızı değerlerine bağlı olarak belirlenebileceğini vurgulamıştır.

Jianhong vd. (2008), kaya malzemelerinin elastisite modülünü, hazırlık aşaması zor olmasından dolayı gerilme testi uygulamadan daha kolay yöntemlerle belirlemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu doğrultuda mermer, kumtaşı, kireçtaşı ve granitler üzerinde gerçekleştirdiği deney sonuçlarından yola çıkarak yeni bir yöntem geliştirmiştir.

Ersoy vd. (2009), Gümüşhane yöresinde travertenlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde ultrasonik dalga hızından yararlanmışlardır. Ultrasonik hız gibi basit deney yöntemini tek eksenli sıkışma dayanımını ve elastisite modülünü kestirmek amacıyla irdelemişlerdir. alışmalar sonucunda doğrudan ve dolaylı yöntemlerle belirlenen kaya özellikleri arasında anlamlı istatistiksel ilişkiler belirlemişlerdir.

Moradian ve Behnia (2009), sedimanter kökenli farklı kaya türleri üzerinde mekanik ve fiziksel özelliklerin kestirimi için uygulaması kolay olan sonik hız deneyinden yararlanmışlardır. Fiziksel ve mekanik özelliklerle bu değerler arasında oldukça kuvvetli ilişkiler olduğunu belirlemişlerdir.

Kanık (2010), “Karbonat kayaların tek eksenli basınç dayanımlarının basit indeks deneyler kullanarak tahmini” adlı yüksek lisans tez çalışması kapsamında ultrasonik hız ve gözeneklilik verilerinden yararlanarak traverten, oniks ve kireçtaşı gibi karbonatlı kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının tahminine yönelik eşitlikler geliştirmiştir.

Alemdağ ve Gürocak, (2011), farklı bozunma derecelerine sahip bazaltlarda 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.

Babacan vd. (2012), “Kayaların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin ultrasonik hız tekniği ve zaman-frekans analiziyle belirlenmesi” adlı çalışmalarında bej kireçtaşları

üzerinde gerçekleştirdikleri tek eksenli sıkışma dayanımı ve elastisite modülünün tahmininde basit bir deney yöntemi olan ultrasonik hız değerlerinden yararlanmışlardır.

Karaman ve Kesimal (2012), farklı kaya türlerinde eksenel ve çapsal nokta yük dayanım deneyleri ve görünür gözeneklilik değerleri kullanarak kayaların tek eksenli sıkışma dayanımının tahmini için istatistiksel eşitlikler belirlemişlerdir.

Gürocak vd. (2012), 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 önermişlerdir.

Dağ vd. (2013) Gümüşhane ilinde geniş bir alanda yayılım gösteren Erken-Geç Karbonifer (Paleozoyik) yaşlı Gümüşhane Graniti' nin fiziksel ve mekanik özelliklerinin donma-çözülme çevrimlerinin etkisi altındaki değişimlerinin incelenmesi amaçlamıştır. Analizler sonucunda granitlerin tek eksenli sıkışma dayanımı, boyuna dalga hızı ve birim hacim ağırlık değerlerinin donma-çözülme olayı sonrasında belirgin oranda azaldığı, ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik değerlerinin ise arttığı belirlenmiştir.

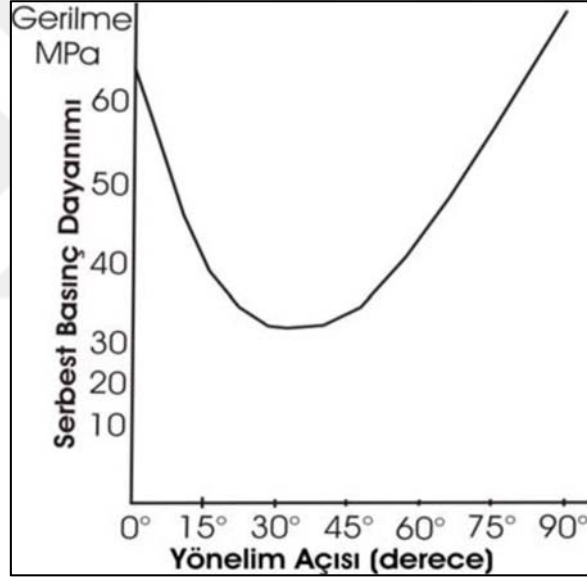
Dağ vd. (2015), Magmatik (andezit, granit), piroklastik (andezitik tuf) ve sedimanter (kireçtaşı, kumtaşı) kökenli beş farklı kaya grubundan deney standardına uygun şekilde örnekler hazırlayarak kayalarda gözeneklilik ile nokta yükü dayanım indeksi ve çekilme dayanımı arasında anlamlı bir ilişki olup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

Chen vd. (2015), 55 farklı derinlikten alınan 165 adet bazalt örneği üzerinde P-dalga hızı, gözeneklilik ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasında görgül ilişkileri araştırmıştır. Çalışma neticesinde bazaltlarda P-dalga hızları, yoğunluk, gözeneklilik ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasında yüksek korelasyon belirlemiş ve görgül eşitlikler önermiştir.

Dağ (2016), görünür gözeneklilik değerinden hareketle gözeneklilik değerinin elde edilip edilemeyeceği hususunda çalışma gerçekleştirmiştir. Bu amaç doğrultusunda Gümüşhane çevresinde yüzeyleyen granit, andezit, kireçtaşı, kumtaşı ve andezitik tuf karakterli 5 farklı kaya biriminden hazırlanan 200 adet silindirik örnek üzerinde yapmış olduğu çalışmasında görünür gözeneklilik değerinden yola çıkarak gözeneklilik değerinin dolaylı tahmin edilebileceği sonucuna varmıştır.

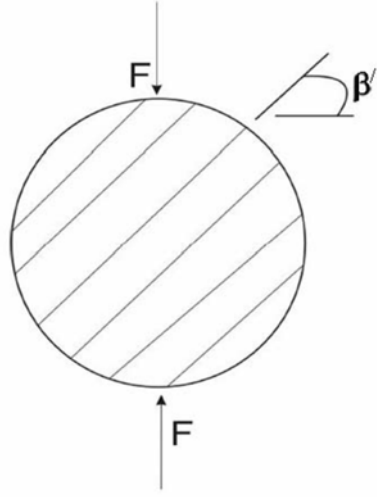
1.3.2.2. Kaya Davranışları Üzerinde Anizotropinin Etkisini İnceleyen Çalışmalar

Donath A. Fred (1964), düzlemsel foliasyonların iyi geliştiği sleytler üzerinde, anizotropinin dayanım üzerindeki etkisini araştırmak için deneyler yapmıştır. 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° açılarla hazırlanmış olduğu numuneler üzerinde yapmış olduğu deneylere göre en yüksek basınç direncinin foliasyon düzlemlerine dik olarak gerilmenin uygulandığı (90°) örneklerde oluştuğunu tespit etmiştir. 0° ve 75° lik yönelime sahip örneklerde de basınç direnci değerinin yüksek olduğunu belirlemiştir (Şekil 1.5). Ancak diğer yönelime sahip örneklerdeki yenilmelerin dilinim yüzeyleri boyunca veya hemen hemen buna paralel geliştiğini gözlemlemiştir.



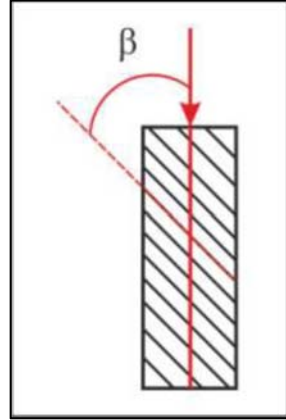
Şekil 1.5. Dayanım-yönelim açısı ilişkisi

Hobbs (1964), silttaşı ve çamurtaşı üzerinde β açısı ile dolaylı çekilme dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemiştir (Şekil 1.6). Çalışmasında disklerin enine kesit alanında yataya göre oluşan açığa (β) göre 0°'den 90°'ye kadar 15°'lik artışlar ile değişik açılarda konumlandığı örnekler üzerinde dolaylı çekilme dayanımı deneyleri yapmıştır. Yaptığı deneylerde en büyük çekilme dayanımının genellikle 0° de, en küçük çekilme dayanımının ise 90° de elde edildiğini belirtmiştir.



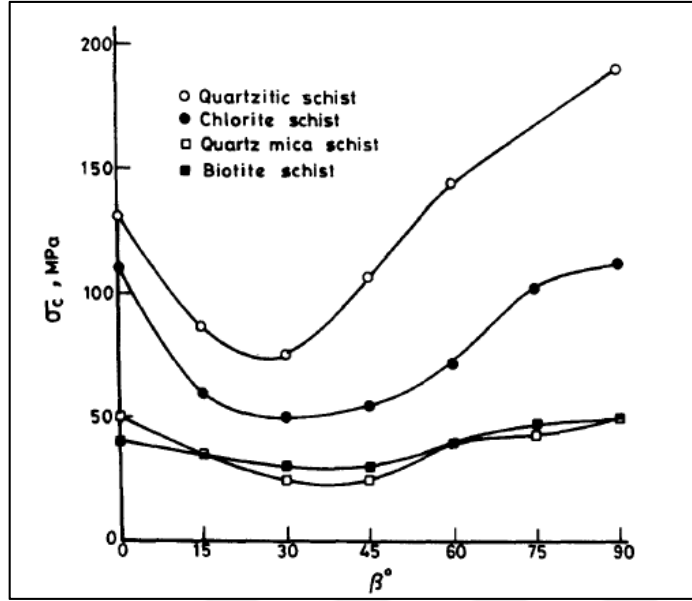
Şekil 1.6. β açısının gösterimi

Jeager ve Cook (1976), kayaların hiç süreksizlik düzlemi içermeseler de oluşumları sırasında anizotropik özellik kazanabileceğini ifade etmişlerdir. Dayanım konum açısına göre anizotropinin tanımlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Yönelim açısını (β) anizotropinin düşeyle yaptığı dar açı olarak tanımlamışlardır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Yönelim açısının gösterimi

Behrestaghi vd. (1996), Himalayalarda kuvars, klorit, mika ve biyotit şistten oluşan kaya türlerinde şistozite yönelimlerini dikkate alarak tek eksenli ve üç eksenli sıkışma dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda sıkışma dayanımı, deformasyon modülü ve kohezyon üzerinde şistozite yöneliminin etkisini değerlendirmişlerdir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Tek eksenli sıkışma dayanımı-yönelim açısı ilişkisi

Çolak (1998), “Zonguldak havzası kömür çevre kayalarının dayanım ve deformasyon anizotropisinin incelenmesi” adlı doktora tez çalışmasında; kömür çevre kayalarını oluşturan kumtaşı, silttaşı ve kiltası birimlerinden alınan blok örneklerden 0, 30, 45, 60, 90° açılarda yönlü karot örnekler hazırlayarak dayanım ve deformasyon deneyleri uygulamıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı sonucuna göre 30° yönelime sahip örneklerde dayanımın daha az olduğunu tespit etmiştir.

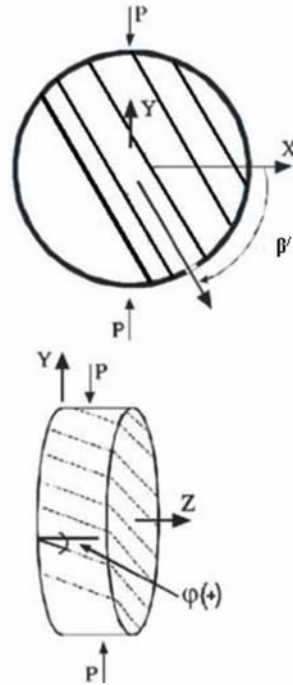
Ajalloeian ve Lahskaripour (2000), sittaşı ve çamurtaşlarında dayanım anizotropisine ilişkin bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında hem tek eksenli sıkışma dayanımı hem de nokta yükü dayanımı deneylerini yapmışlardır. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyinde asal gerilme yönü ile zayıflık düzlemleri arasında 0, 15, 30, 45, 60, 75 ve 90° lik açısal koşulları dikkate alarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Nokta yükü dayanımı deneyinde ise zayıflık düzlemlerine paralel ve dik olarak yükleme gerçekleştirmişlerdir. Dene sonuçlarında dayanım anizotropi oranı karşılaştırıldığında nokta yükü dayanım deneyinden dayanım anizotropisinin belirlenmesinin zorluklar içerdiğini ifade etmişlerdir.

Bayrak (2005), yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışması kapsamında Niğde Masifi içerisinde yer alan metamorfik kayaların (amfibolşist, kalkşist, kuvarsmikaşist, metagabro) fiziksel özellikleri ile foliasyon düzlemlerinin farklı yönelim açalarına göre dayanım anizotropisi ile statik ve dinamik deformasyon anizotropisi özelliklerini irdelemiştir. Anizotropi düzlemleri göz önüne alınarak elde edilen elastik sabitlere göre, bütün birimlerde transversal anizotropi davranışı belirlemiştir. İncelediği kaya gruplarının

tamamında U tipi dayanım anizotropisi özelliği gözlemiştir. Tek eksenli sıkışma, statik ve dinamik elastisite modülü ve basınç dalga hızları arasında yüksek korelasyon katsayılarına sahip ilişkiler tespit etmiştir.

Özkan (2006), yüksek lisans tez çalışmasında kumtaşlarının fiziko-mekanik ve petrografik özelliklerini incelemiştir. Kumtaşlarının fiziksel özelliklerini belirlemiş ve 0, 45 ve 90° açılarda yönelime sahip örnekler üzerinde deneyler gerçekleştirerek mekanik özelliklerini tespit etmiştir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde tek eksenli sıkışma dayanımı ve dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin yönelime dik alınmış örneklerden paralele doğru azalma gösterdiğini tespit etmiştir.

Hakala vd. (2007), mika gnayslar üzerinde yaptığı dolaylı çekilme dayanımı deneylerinde, numunelerin enine kesitlerdeki süreksizliklerin yatay ile yaptığı açı 90° ($\beta=90^\circ$) olacak şekilde konumlandırmışlardır (Şekil 1.9). Numunelerin boyuna kesitlerindeki süreksizliklerin yatay ile yaptığı anizotropi açısının (φ) dayanım üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmalar neticesinde en küçük dolaylı çekilme dayanımının $\varphi = 0^\circ$ de, en yüksek dolaylı çekilme dayanımının ise $\varphi= 90^\circ$ de olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1.9. β ve φ açısının gösterimi

Garagon (2007), “Kumtaşlarında yönlere bağlı dayanım ve deformasyon özelliklerinin araştırılması” konulu yüksek lisans çalışmasında kumtaşlarının bazı fiziksel

özelliklerini (yoğunluk, gözeneklilik ve ağırlıkça su emme) belirlemiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı, dolaylı çekilme dayanımı, dinamik-statik elastisite modülü ve P-dalga hızı ile S-dalga hızı değerlerinin 0, 30, 45, 60 ve 90° lik yönelim açısına göre değişimlerini araştırmıştır. Deneysel çalışmalardan elde ettiği bazı parametreler için 0.83-0.98 arasında yüksek korelasyon katsayıları belirlemiştir.

Kurtuluş vd. (2011), farklı yerlerden alınan serpantinleşmiş ultra bazik kayalarda fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney numunelerini foliasyon düzlemine dik ve paralel olacak şekilde seçmişlerdir. Her bir numune için P-dalga hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yükü dayanımı, statik elastisite modülü, görünür gözeneklilik ile kuru ve doymuş birim hacim ağırlık değerleri belirlemiştir. Sonuç olarak bu değerler arasındaki ilişkileri belirlemek için istatistiksel analiz gerçekleştirmişlerdir.

Yücel, (2012), karot boğma deneyinin kayalarda dayanım anizotropisinin belirlenmesinde kullanılabilirliği ve performansının değerlendirilmesi üzerine yüksek lisans tez çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmasında değişik yönelimlerdeki karot numuneleri üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve karot boğma deneyleri gerçekleştirmiştir. Deney sonuçları dikkate alınarak tek eksenli sıkışma dayanımı ile karot boğma ve nokta yükü dayanım anizotropisi değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler değerlendirmiştir. Karot Boğma Deneyi' nin dayanım anizotropisinin belirlenmesindeki performansını irdelemiş ve çalışmaya ilişkin öneriler sunmuştur.

Khanlari vd. (2013), yaptığı çalışmada 5 farklı anizotropik özellik gösteren kayacın dayanımını belirlemek üzere yeni teknikler kullanmıştır. Tabaka düzlemi ve uygulanan basınç yönü arasındaki açı dikkate alındığında 0, 15, 30, 45, 60, 75 ve 90° yöneline sahip örnekler üzerinde yapılan nokta yükü ve brazilian deney sonuçlarına göre dayanımın değiştiği gözlenmiştir. Bu deneyler sonucunda $I_s(50)$ ' yi belirlemek için 2 farklı eşitlik önermiştir.

Gökçe (2014), travertenlerde aşınma dayanımının belirlenmesinde tabakalanma yöneliminin etkisini araştırmıştır. Tabakalanmaya paralel ve dik yönde kesilen örnekler üzerinde gerçekleştirilen Böhme aşınma kaybı deney sonuçlarına göre tabakalanmaya paralel örneklerde daha yüksek aşınma kaybı elde etmiştir. Bununla birlikte çalışmasında anlamlı istatistiksel ilişkiler belirleyememiştir.

Singh vd. (2015), yapmış olduğu çalışmada üç tip anizotropik kaya (fillit, sleyt ve ortokuvarsit) üzerinde gerçekleştirdiği üç eksenli dayanım deneyi ile bu kayaların davranışlarını belirlemiştir. Literatürdeki üç eksenli deney sonuçları ile yapmış olduğu üç eksenli deney sonuçlarını karşılaştırmıştır. İstatistiksel olarak bir anizotropik kayanın yenildiği andaki sıkışma değerinin, yönelimi dik olan örneklerde paralel olan örneklerle göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir.

Dağ ve Soysal (2017), anizotropiye bağlı olarak kumtaşlarının, bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelebilecek değişimleri araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kumtaşlarının fiziksel özelliklerinin dar bir aralıkta değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Dayanım özelliklerinin ise anizotropiden etkilendiği, laminalanma düzlemlerine paralel ve dik olan örneklerde daha yüksek dayanım, diğer örneklerde ise daha düşük dayanım değeri gösterdikleri tespit edilmiştir.

1.3.2.3. Doygunluk Durumunu Değerlendiren Çalışmalar

Chang vd. (2006), kumtaşı, şeyl, kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan sedimanter kökenli kayalarda yaptıkları deneysel çalışmalar sayesinde tek eksenli sıkışma dayanımı ile elastisite modülü, P dalga hızları ve gözeneklilik arasında görgül ilişkilerin varlığını araştırmıştır. Kuru ve doygun örnekler üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalar neticesinde kaya dayanımının ölçülen bu parametrelerden kestirimi için bir dizi görgül ilişki geliştirmişlerdir. Literatür çalışmaları ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda geliştirilen eşitliklerin jeofizik kuyu loglarından ölçülebilen parametrelerden hareketle kaya dayanımını tahmin etmek için kullanılabilir nitelikte olduğunu belirtmişlerdir.

He (2006), gözenek basıncı ve suya doygunluk gibi koşulların kayanın sismik dalga hızını etkileyeceğini vurgulamıştır. Bu doğrultuda düşük gözenekliliğe sahip konglomeralarda hem kuru hem de suya doygun örnekler üzerinde P ve S dalga hızlarını ölçmüştür. P dalga hızının doygun örneklerde, kuru örneklerle göre artış gösterdiğini gözlemlenmiştir.

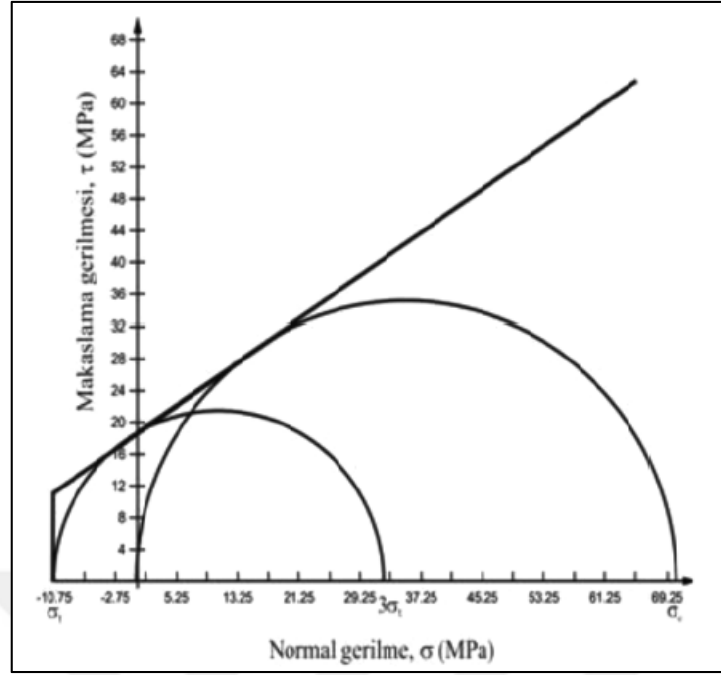
Kahraman (2007), 11 magmatik, 15 sedimanter ve 15 metamorfik toplam 41 kaya örneğinde kuru ve doygun koşullarda P-dalga hızlarını ölçmüştür. Doygun örnek ölçümlerinden sonra atmosferik koşullarda kurumaya bırakılan örneklerde ilk 2 ve 4 saatlik dilimler sonunda yapılan ölçümlerde P-dalga hızında belirgin azalma gözlenirken 4-32

saatlik periyotta ise sabit bir P-dalga hızı değeri elde etmiştir. Ayrıca kuru ve doymuş koşullardaki P-dalga hızları arasındaki korelasyonları incelemiştir.

Török ve Varshelyi (2010), travertenlerde yaptıkları çalışmada kuru ve doymuş koşullarda gözeneklilik, yoğunluk ve P-dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özellikler arasında görgül ilişkilerin varlığını araştırmışlardır. Yoğunlukla P-dalga hızı arasında doğrusal, görünür gözeneklilik ile P-dalga hızı arasında ise üstel ilişkiler belirlemişlerdir.

Atıcı ve Yünsel (2011), kuru ve suya doymuş halde 11 farklı türdeki granitik kaya numunelerinin P ve S dalga hızlarını ve bazı fiziksel özelliklerini belirlemiştir. Aynı numunelerin statik ve dinamik elastisite modülleri ile poisson oranlarını tespit edip aralarındaki ilişkileri incelemiştir. Kuru numuneler için korelasyon belirlenemezken suya doymuş numuneler için ise yüksek bir ilişki belirlediklerini ifade etmişlerdir.

Karakul ve Ulusay (2012), farklı doymuşluk koşullarında kayaların dayanım parametreleri ile P-dalga hızları arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Toplam 14 farklı kaya türü incelenerek gerçekleştirilen çalışmada, tek eksenli sıkışma dayanımı ve çekilme dayanımı gibi dayanım parametrelerinin tahmininde P dalga hızının farklı doymuşluklarda ölçülmesinden yararlanmışlardır. Tek eksenli sıkışma ve Brazilian çekilme dayanımı verilerini kullanarak kohezyonu belirlemiştir (Şekil 1.10). Çalışmada kaya numunelerinin kil içeriklerini de dikkate almıştır. Çalışma sonucunda dayanım özelliklerinin ve elastisite modülünün doymuşluğa bağlı olarak azaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca P dalga hızının ise doymuşluğa bağlı olarak bazı kaya türlerinde artış, bazılarında ise azalış gösterdiğini tespit etmiştir.



Şekil 1.10. Tek eksenli sıkışma ve Brazilian çekilme dayanımı verileri kullanılarak kohezyonun belirlenmesi

1.4. Bölgesel Jeoloji

Ketin (1966), Türkiye' nin orojenik gelişimini kuzeyden güneye doğru Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları olarak dört tektonik birliğe ayırmıştır. Daha sonra Ketin ve Canitez (1972), bu tektonik birlikleri yeniden düzenleyerek litolojik farklılıklardan dolayı Pontid' leri Doğu Pontid ve Batı Pontid olarak ikiye ayırmışlardır.

Birçok araştırmacı Doğu Pontidler' i kaya oluşum özelliklerine bağlı olarak farklı şekillerde ayırmışlardır. Özsayar vd. (1981), Doğu Pontid' lerde Geç Kretase yaşlı kayaların farklı özellik sunmasından dolayı bölgeyi Doğu Pontid Güney Zonu ve Doğu Pontid Kuzey Zonu olarak ikiye ayırmışlardır. 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 sokulumlar ile Geç Kretase yaşlı volkanitler, Erken Eosen yaşlı adakitler ve Orta-Geç Eosen yaşlı andezitik-bazaltik volkanik kayalar yer almaktadır. 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 ayrılmaktadır. Faylar bölgedeki cevherleşmeyi kontrol eden tektonik yapılarıdır (Eyüboğlu

vd., 2006). Gümüşhane yöresi Anadolu' nun tektonik birliklerinden Pontid Tektonik Birliği' nin Doğu Pontid Güney Zonu' nda yer almaktadır.

Gümüşhane yöresini içine alan Doğu Pontid' lerde temeli metamorfikler ve metamorfiklerin içine sokulum yapan granitoidler oluşturmaktadır. Bunlar Ağvanis Masifi, Pulur Masifi ve Gümüşhane Granitoidi' dir. Pulur Masifi' nin yaşı Devoniyen-Erken Karbonifer' dir. Doğu Pontid' lerin Güney Zonu' nda geniş yayılım gösterirken Kuzey Zonu' nda seyrek olarak gözlenir (Topuz, 2000). Doğu Pontidler'in Hersinyen tabanını temsil eden asidik magmatik sokulum kayaları, Erken-Orta Jura yaşlı volkano-sedimanter istif tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şenköy Formasyonu; Kandemir, 2004). Doğu Pontidlerde Geç Jura' dan itibaren geniş yayılıma sahip bol fosilli dolomit ve dolomitik kireçtaşları Berdiga Formasyonu olarak anılmaktadır (Pelin, 1977).

Doğu Pontid' lerde Geç Kretase-Erken Eosen yaşlı birim en geniş yayılıma sahip kayalardır. Geç Kretase yaşlı kayalar Alucra-Gümüşhane-Yusufeli hattının kuzeyinde ve güneyinde farklı özellikler göstermektedir. Kuzey Zon yoğun bir magmatik aktivitenin etkisini gösterirken, Güney Zon magmatik aktiviteden uzak türbiditik karakterli bir istif özelliği göstermektedir. Çalışmaya konu olan Üst Kretase istifi tabanda, ince-orta tabakalanmalı, sarı renkli kumlu kireçtaşları ve yer yer konglomeralardan oluşmaktadır. Konglomeraların üzerine ince tabakalanmalı kırmızı-mor renkli mikritik kireçtaşları, gri-yeşil renkli tuf ara seviyeleri içeren ince-orta tabakalanmalı kumtaşı, kıltaşı ve marn aralanması ile son bulmaktadır. Bu birim Kermutdere Formasyonu olarak adlandırılmıştır Tokel (1972). Bu birimler Erken Eosen yaşlı Adakitik porfirler tarafından kesilmektedir (Karslı vd., 2010, Eyüboğlu vd., 2011a ve 2013b). Andezit-bazalt lav ve bunların piroklastiklerinden oluşan Alibaba Formasyonu (1972) bu birimi uyumsuz olarak örter. En üste ise en genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyon, taraça ve travertenler uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 1.11).

ÜST SİSTEM		SENZOYİK		MESOZOYİK		ÜST PALEOZOYİK		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SİSTEM	SERİ	PALEOSEN	ORTA EOSEN	KRETASE	ÜST KRETASE	ALT KRETASE	ÜST		
			ALIBABA		KERMUTDERE	BERDİGA			
									Traverten
									Kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ardışı
									Bazaltik-andezitik aglomera, lapilli tuf, tuf ardışı
									Nummulitli kireçtaşı, kumtaşı
									Taban konglomerası
									Adakitik bileşimli stoklar (Geç Paleosen- Erken Eosen) (Kuarslı diyorit, tonalit, granodiyorit, andezit porfir, dasit porfir)
									Gri renkli çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, marn kilttaşı ardışı
									Kırmızı kumtaşı silttaşı, marn, kireçtaşı
									Sarı renkli kalkarenit
									Kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı
									Çört yumru ve ara seviyeleri içeren dolomitik kireçtaşı
									Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ardışı
									Kireçtaşı
									Kömür ara seviyeleri içeren çakıltaşı, kumtaşı
									Yer yer bazik volkanik düzeyleri de içeren volkanijenik çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ardışı
									Bol makro fosilli kırmızı kireçtaşları (Ammonitico Rosso fasiyesi)
									Üst kısımlara doğru kömür ara seviyeleri ve mercekleri içeren taban konglomerası
									Kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, sleyt
									Dasit-riyolit
									Gümüşhane-Köse granitoid kompleksi
									Migmatit, gnays, şist, yeşil şist, amfibolit fillat, kalkışit

Şekil 1.11. Gümüşhane ili ve çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Tunçdemir, 2012)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Kayaların mekanik davranışları; kaya özellikleri ve çevresel faktörlere göre değişiklik göstermektedir. Sıcaklık, zaman, çevre basıncı, su koşulu gibi durumlar kayaların mekanik özelliklerini etkileyen çevresel parametreleri oluştururken, kayaların yapısal özellikleri, mineralojik bileşimi, tanelerin boyutu, dizilişi, şekli, tortul kayalarda tabakalanma, laminalanma, çimentonun türü, magmatik kayalarda kristallenme derecesi ve ayrışma durumu gibi özellikler kaya davranışlarını etkileyen kaya parametrelerini oluşturmaktadır. Bu parametreler bütün olarak ele alındığı zaman dayanım ve deformasyon gibi davranışları etkilemesi beklenen bir durumdur. Buradan yola çıkarak Mescitli (Gümüşhane) yöresi Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu' na ait kumtaşlarının değişen anizotropi ve doygunluk koşullarında fiziksel ve dayanım özellikleri belirlenmiştir. Anizotropi ve doygunluk koşullarındaki değişimin kumtaşlarının bahsedilen özelliklerini hangi oranda etkilediği incelenmiştir.

2.1.1. Arazi Çalışmaları

Çalışmanın temel amacı iyi bilinerek bu amaca uygun şekilde örnek alınması, arazideki litolojik birimlerin iyi tanınması, gerekli olan ölçümlerin alınması ve düzenli bir şekilde kayıt edilmesi etkili bir arazi çalışması gerçekleştirebilmek için önemlidir. Çalışma konusuna uygun olabilecek sahanın belirlenmesi için çalışma alanı ve çevresine yönelik detaylı bir ön (büro çalışması) çalışma yapılmıştır. İkinci aşama olarak çalışma konusuna uygun olan formasyon belirlendikten sonra arazi çalışmasına geçilmiştir. Bu doğrultuda belirlenen Kermutdere Formasyonu üzerinde arazide bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Kermutdere Formasyonu' nun içerdiği kumtaşı seviyelerinin ortalama kalınlığı, laminalanması, yönelimi, ortalama tane boyutu, pekişmişlik derecesi ve yüzeydeki dağılımı gibi kaya özellikleri tespit edilmiştir. Çalışma konusuna uygun olduğuna karar verildikten sonra araziden yaklaşık boyutları 20x30x40 cm olan 30 civarı blok örnek Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı' na getirilmiştir (Şekil 2.1). Ayrıca arazi çalışmaları sırasında tabakaların konumları pusula ile

belirlenmiş, formasyon sınırları yeniden gözden geçirilerek çalışma alanında daha önce hazırlanan jeolojik haritalar dikkate alınarak, sahanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası güncellenmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan blok örnekler

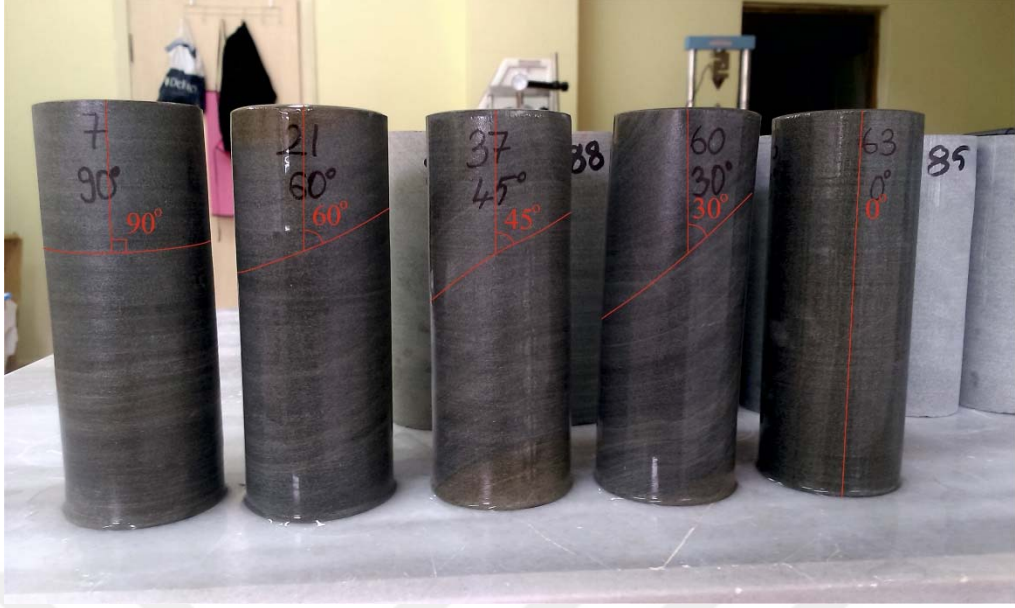
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

Araziden alınan blok örnekler laboratuvara getirildikten sonra bu blokların mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi için her bir bloğu temsil edecek şekilde ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesitler yardımıyla her bloğun mineralojik bileşimi ve tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Daha sonra bu bloklardan ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlerde belirtilen boyutlara uygun yönlü karot alma işlemine geçilmiştir. Bunun için Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda bulunan yönlü karot almaya uygun karot alma makinesi kullanılmıştır. Cihaz 0° ve 90° arasında yönelim açılarında numune almaya konumlandırılabilen mekanizması sayesinde yönlü karot alma işlemi için uygundur (Şekil 2.2). Karot makinesine 54 mm (NX karot) çapında karotiyer takıldıktan sonra blokları makinenin tablasına sabitleyerek makineyi zorlamadan karot alma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2. Yönlü karot alma işlemi

Yönlü karot alma makinesi ile blokların laminalanma düzlemi baz alınarak gerçekleştirilen silindirik karot alma işlemi 0° , 30° , 45° , 60° ve 90° lik yönelim açılarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Laminalanma düzlemleri dikkate alınarak farklı yönelim açılarına göre alınan deney örnekleri

Delme işlemi tamamlandıktan sonra numune, kesme makinesinin V kanalına sabitlenerek alt ve üst yüzeylerinin kesilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numunenin alt ve üst yüzeyi aşındırıcı toz ile pürüzsüz hale getirilmiştir. Komparatör saati yardımı ile alt ve üst yüzeylerin birbirine paralelliği 0.001 mm hassasiyetle kontrol edilmiş ve örnekler deney yapmaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Komparatör saati

Çalışmanın amacına yönelik hazırlanan karot örnekler üzerinde tek eksenli sıkışma dayanım deneyi gerçekleştirmek üzere 75 adet, dolaylı çekilme (brazilian) dayanım deneyi gerçekleştirmek üzere 150 adet, toplamda 225 adet örnek hazırlanmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Farklı yönelim açılarında (β) hazırlanmış karot ve disk örnekleri

Kaya malzemesinin fiziksel özelliklerini belirlemek için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır. İlk olarak deney örnekleri 24 saat 105 °C etüvde kurutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra 48 saat saf suda bekletilerek örneklerin doymuş ağırlıkları belirlenmiştir. Bu verilerden yararlanarak birim hacim ağırlıkları, ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik gibi fiziksel özellikler tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın temel amaçlarından biri dayanım özelliklerinin değişen doymuşluk koşulları için belirlenmesidir. Bu nedenle farklı doymuşluk koşullarının zamana bağlı olarak kestirimi için aşağıda ayrıntıları verilecek olan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 10 adet kumtaşı numunesinden yararlanılmıştır. Her bir numune için öncelikle piknometre deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyle kaya örneklerinin özgül ağırlık değerleri elde edilmiştir. Her bir numuneye ait özgül ağırlık değerinden yararlanarak örneklerin tane birim hacim ağırlıkları (γ_s) belirlenmiştir. Ayrıca örnekler başlangıçta 24 saat süre ile 105 °C de etüvde kurutulmuş ve sonra atmosferik koşullarda soğuması beklenmiştir. Bu şekilde örnekler tartılarak kuru kütleleri ve buradan hareketle kuru birim hacim ağırlık (γ_k) değerleri hesaplanmıştır. Bu sayede her bir örneğin toplam gözeneklilik değeri önceki çalışmalarda da (Ulusay vd., 1994; Bell ve Lindsay, 1999; Heidari vd., 2013) kullanılan aşağıdaki 2.1 nolu eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$n = 1 - \frac{\gamma_k}{\gamma_s} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

n; Toplam gözeneklilik,

γ_k ; Kuru birim hacim ağırlık (kN/m³)

γ_s ; Tane birim hacim ağırlık (kN/m³)

Gözeneklilik değerleri, kaya numunelerinin boşluklarının hacminin belirlenmesinde kullanılmıştır. Kaya numunelerinde doygunluk ile zaman ilişkisini belirlemek için deney numuneleri önce kurutulmuştur. Daha sonra bu numuneler laboratuvar koşullarında hazırlanan bir havuzun içerisinde doyurulmaya bırakılmıştır. Kayalarda gözenekler ilk dakikalarda daha çabuk su emmektedir. Çünkü bu sürede kaya boşlukları suyu daha hızlı almaktadır. İlerleyen sürelerde boşluklar daha yavaş su emmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak 15, 30, 45 ve 60 ıncı dakikalar ve ilk 5 saatte birer saat ara ile kaya numunelerinin ağırlıkları tartılarak boşluklarının hangi oranda su aldıkları belirlenmiştir. İlk 5 saatten sonra ikişer saat ara ile ölçüm yapılmıştır. Bu süreler içerisinde kaya önemli oranda doygunluğa erişmiştir. Daha sonra kalan 36 saatlik sürede 12'şer saat aralıklarla benzer ölçümler gerçekleştirilerek 48 saatlik süre tamamlanmıştır. Her bir ölçüm aşamasında kaya numuneleri tartılmıştır. Sonra tartılan değerden örneklerin kuru ağırlıkları çıkarılarak tartım esnasındaki su ağırlığı belirlenmiştir. Suyun birim hacim ağırlığı bilindiğinden dolayı ölçüm esnasındaki su hacmi değeri belirlenmiş ve bu değer kaya numunesinin boşluk hacmine bölünerek ölçüm süresine ilişkin doygunluk değeri aşağıda 2.2 nolu eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\%Sr = \frac{V_w}{V_b} \times 100 \quad (2.2)$$

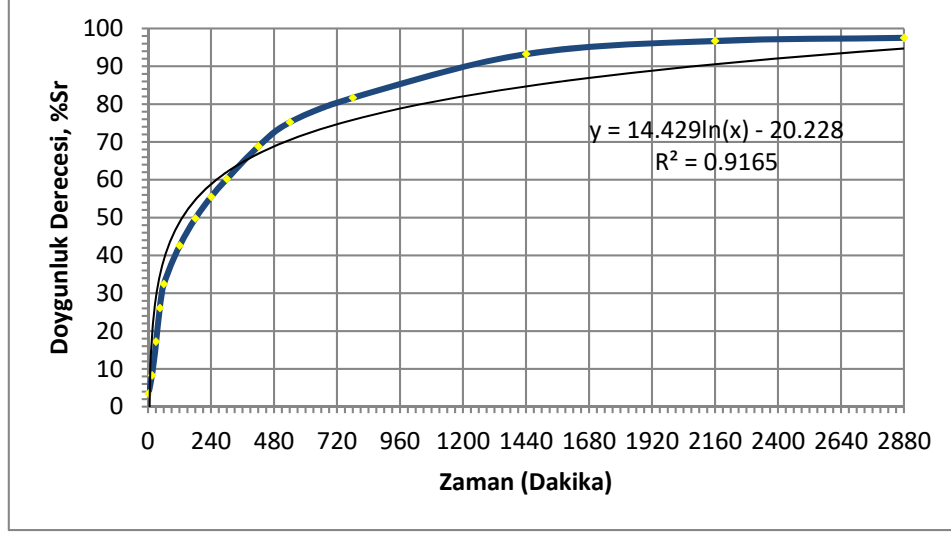
Eşitlikte;

Sr: Doygunluk derecesi,

V_w ; örneğin su hacmi

V_b ; örneğin boşluk hacmi

Bu şekilde her bir kaya numunesi için 48 saatlik süre içerisinde farklı sürelerdeki doygunluk dereceleri belirlenmiştir. 10 adet örnek üzerinde bu işlemler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme aşamasında ortalama değerlerden yararlanılmıştır. 48 saatlik süre içerisinde kaya numunelerinin kuru halden farklı doygunluk derecelerine gelene kadar doygunluk değerlerindeki değişimi gösteren grafik hazırlanmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Doygunluk derecesinin zamana bağlı değişimi

Kaya malzemesinin fiziksel özellikleri belirlendikten sonra yönelim açıları (β) 0° , 30° , 45° , 60° , 90° olan her biri 15' er adet örnekten oluşan toplam 75 adet örneğin farklı doygunluk koşullarında (%Sr 0, 25, 50, 75 ve 100) sonik hız değerleri ölçülmüştür. Ultrasonik hız deneyi ile boyuna dalga hızı (V_p) ve enine dalga hızı (V_s) değerleri belirlenmiştir. Bu verilerden hareketle dinamik poisson oranı (ν_d) ve dinamik elastisite modülü (E_d) değerleri hesaplanmıştır.

Kaya malzemesinin dayanım özelliklerini belirlemek için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler dikkate alınmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı için boyu çapının 2.5-3 katı olan silindirik örnekler, dolaylı (Brazilian) çekilme dayanımı için ise çapı (54 mm) boyunun yaklaşık 2 katı olan örnekler hazırlanmıştır. Çalışma amacına uygun olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda bu şekilde hazırlanan örnekler kullanılmıştır.

2.1.2.1. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık, katı kısmın ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilir. Özgül ağırlık tayini tane birim hacim ağırlığını elde etmek için yapılmaktadır. Kumtaşının özgül ağırlığını belirlemek için numune çeneli kırıcıda 40 nolu eleğin altına geçecek şekilde öğütülür. Öğütülen örnek 24 saat 105°C etüvde kurutulur. Kurutma işleminin ardından örneklerin homojen dağılım göstermesi sağlanarak çeyrekleme işlemi

uygulanır. Bir örnek için 3 adet piknometre deneyi yapıp ortalaması alınarak özgül ağırlık değeri tespit edilir.

Her örnek için 150-200 gram öğütülmüş örnek hazırlanır. Bu deneyde numune, etüv, terazi (0.01 g hassasiyetli), 3 adet piknometre (100 ml' lik) ve saf su kullanılmıştır. Piknometre işaretli seviyeye kadar saf su ile doldurularak hassas terazide tartılır (W_1). Özgül ağırlığı belirlenecek örnekten yaklaşık 10-12 gram kadar tartılır (W_k). Daha sonra örnek piknometrenin içine aktarılır ve işaretli seviyeye kadar saf su ile doldurulur. Bu işlem hava kabarcıklarının kalmaması için aşamalı olarak gerçekleştirilir. Piknometrenin dışı kuru bir bez yardımı ile kurulandıktan sonra tartılır (W_2). Aşağıdaki formül kullanılarak özgül ağırlık değeri hesaplanır. Bu işlem her örnek için 3 kez uygulanır ve ortalaması alınır.

$$G_s = \frac{W_k}{(W_1 - W_2 + W_k)} \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte;

G_s : Özgül Ağırlık

W_1 : Piknometre+Su (g)

W_2 : Piknometre+Su+Zemin (g)

W_k : Kuru Zemin Ağırlığı (g)

2.1.2.2. Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlık değeri kayanın bileşimi, dokusu, boşluk miktarı ve boşlukların içindeki maddenin (su, hava vb.) yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Kayanın ağırlığının hacmine oranı olarak ifade edilir. Pratikte yüksek birim hacim ağırlık değerine sahip kayalar genellikle düşük poroziteli, düşük su emmeli ve yüksek özgül ağırlıklı kayalardır (Erguvanlı, 1975). Erguvanlı (1973), birim hacim ve kütle ilişkisi için üç kavram nitelemiştir. Bunlar kuru birim hacim ağırlık, doğal birim hacim ağırlık ve doymun birim hacim ağırlıktır.

Birim hacim ağırlık tayini ISRM (2007) de önerilen yöntemle göre kumpas ve hassas terazi ile yapılmıştır. Düzgün geometriye sahip silindirik örneklerin çapı (D) ve boyu (L) kumpas ile birbirine dik yönde ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Örneklerin kütleleri 0.01 hassasiyetli terazi ile belirlenmiştir. Örneğin o anki kütlelerinden (m_n) yola çıkarak belirlenen yoğunluk değeri doğal yoğunluk değeridir. Örneğin 105 °C etüvde 24 saat

kurutulduktan sonraki kütlesinin (m_k) belirlenmesi ile kuru yoğunluk değeri tespit edilmiştir. Doymun yoğunluk ise 48 saat saf suda bekletilerek doymun hale gelen örneğin kütlesinin (m_d) tartılmasından yola çıkarak belirlenmiştir. Doğal, kuru ve doymun yoğunluk (ρ_n , ρ_k , ρ_d) değerlerinin yer çekimi ivmesi (g) ile çarpılması ile birim hacim ağırlık değerleri elde edilir.

$$\text{Yoğunluk, } (\rho) \text{ (g/cm}^3\text{)}, \rho = \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık } (\gamma) \text{ (kN/m}^3\text{)}, \gamma = \frac{m}{V} \times g \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte;

ρ : Yoğunluk (g/cm³)

m : Örnek kütlesi (g)

V : Örneğin hacmi (cm³)

g : Yer çekim ivmesi (9.81 m/sn²)

γ : Birim hacim ağırlık (kN/m³)

2.1.2.3. Ağırlıkça Su Emme

Ağırlıkça su emme, kayaların kuru durumda bünyelerine aldıkları suyun ağırlığının örneğin kuru ağırlığına oranı olarak ifade edilmektedir.

Deney için örnekler 24 saat 105 °C etüvde kurularak kuru ağırlıkları (W_k) belirlenmiştir. Sonra 48 saat saf suda bekletilerek örneğin doyması sağlanıp doymun ağırlığı (W_d) belirlenmiştir (Şekil 2.7). Aşağıdaki eşitlikten ağırlıkça su emme değerleri tespit edilmiştir.

$$\%A_w = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte;

A_w : Ağırlıkça su emme (%)

W_d : Örneğin doymun ağırlığı (g)

W_k : Örneğin kuru ağırlığıdır (g)



Şekil 2.7. Örneklerin laboratuvar ortamında doymun hale getirilmesi

2.1.2.4. Hacimce Su Emme

Hacimce su emme, kayaların kuru durumda bünyelerine aldıkları suyun hacminin örneğin hacmine oranı olarak ifade edilmektedir. Bu özellik kayadaki boşlukların ve dilimlenme, mikro çatlaklar gibi doğal zayıflık düzlemlerinin tahmininde ve kayanın ayrışma derecesi hakkında bilgi edinmeyi sağlar. Kaya içerisindeki boşlukların durumunun ve birbiri ile bağlantısının bilinmesinde hacimce su emme değeri oldukça önemlidir. Genel olarak kaya örnekleri çok az boşluk içermektedir. Çoğu kaya numunelerinde gözeneklilik durumu belirlenirken hacimce su emme değeri dikkate alınmaktadır. Hacimce su emme tayini görünür gözenekliliğin belirlenmesi için gerçekleştirilmektedir. Deney ISRM (2007) de önerilen yöntemlere dayandırılarak gerçekleştirilmiştir. Deney örnekleri 105 °C etüvde 24 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları (W_k) belirlenmiştir. Daha sonra örnekler 48 saat saf suda doyurularak doymun ağırlıkları (W_d) tespit edilmiştir. Aşağıdaki eşitlikten hacimce su emme değeri tespit edilmiştir.

$$V_v = \frac{W_d - W_k}{\gamma_w} \quad (2.7)$$

$$\%A_v = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (2.8)$$

Bu eşitlikte;

V_v : Boşluk hacmi

W_d: Doymun ağırlık (g)
W_k: Kuru ağırlık (g)
γ_w: Suyun birim hacim ağırlığı (g/cm³)
A_v: Hacimce su emme (görünür gözeneklilik)
V: Örneğin hacmi (cm³)

2.1.2.5. Sonik Hız Deneyi

Sonik hız deneyi kaya örneklerinin dinamik özelliklerinin (dinamik elastisite modülü, dinamik poisson oranı) belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir. Ultrasonik ölçümler kolay, hasarsız, hızlı ve ekonomik olmasından dolayı jeoteknik uygulamalarda oldukça yaygındır. Deney örneklerinin alt ve üst yüzeylerinin oldukça düz ve birbirine paralel olması gerekmektedir. Sonik hız deneyi örneğin alt ve üst yüzeylerine jel sürüldükten sonra alıcı-verici uçlar arasına yerleştirilerek dalganın bir uçtan diğer uca geçinceye kadarki sürenin ölçülmesi ve buradan hareketle de hızının belirlenmesi esasına dayanır. Deney kuru örnek üzerinde gerçekleştirilecekse kuru örnekler muhafaza edilmeli, doymun örneklerde gerçekleştirilecekse deney anına kadar suda bekletilmelidir.

ISRM (2007) de önerilen deney yöntemleri dikkate alınarak boyuna dalga hızı (V_p) ve enine dalga hızı (V_s) değerleri Proceq Pundit Plus (PL01-002-0189) test cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 2.8-2.9). P dalga hızı ölçümleri için 150 kHz, S dalga hızı ölçümleri için ise 250 kHz transdüserler kullanılmıştır. Deney gerçekleştirilirken her örneğin boyu cihaza girildiği için eşitlikte belirtilen dalga hızı değeri cihaz tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Deney, kumtaşlarının anizotropi ve doymunluk derecesi durumu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. 0°, 30°, 45°, 60°, 90° yönelim açalarına sahip her yönelim açısından 15 adet numune olmak üzere toplamda 75 adet numune kullanılmıştır. Farklı doymunluk dereceleri ve anizotropi koşulları dikkate alınarak kumtaşı örneklerinde 375 adet boyuna dalga hızı (V_p) ve 375 adet enine dalga hızı (V_s) ölçümü gerçekleştirilmiştir.

$$V = \frac{L}{T} \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte;

V: P ve S dalga hızları (m/sn)
L: Örneğin boyu (m)
T: Dalganın örneğe geçme zamanı (sn)



Şekil 2.8. Boyuna dalga hızı (V_p) ölçümü

Farklı doygunluk koşulları için gerçekleştirilen ultrasonik hız ölçümleri 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 2.10-2.11 nolu eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E_d = 2\rho V_s^2(1 + \nu) \quad (2.10)$$

$$\nu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (2.11)$$

Bu eşitlikte;

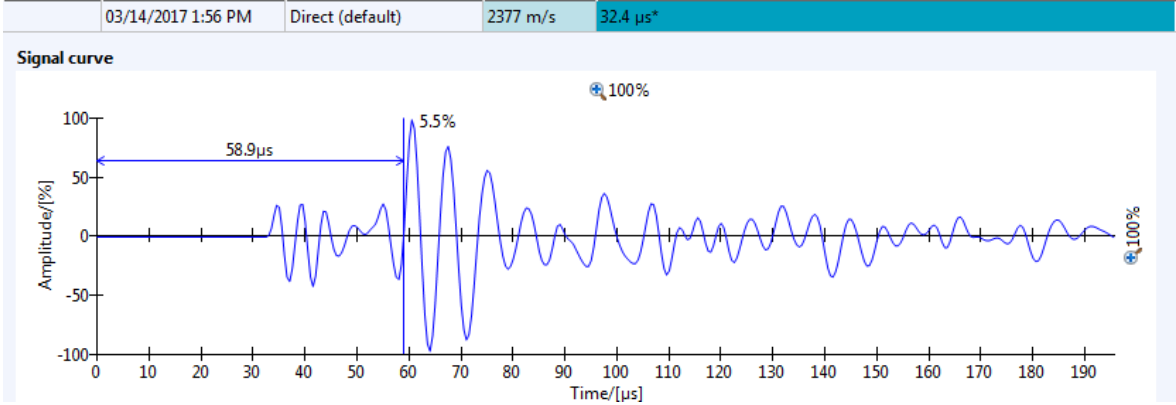
E_d ; Dinamik elastisite modülü (MPa)

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)



Şekil 2.9. Enine dalga hızı (Vs) ölçümü frekans grafiği

2.1.2.6. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Sıkışma dayanımı, kayaları belirli doğrultularda etkileyen gerilmeler karşısında gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Sıkışma dayanımı ile kayanın kırılmadan önceki en büyük dayanımı yani taşıyabileceği en büyük yük tespit edilmiş olur.

Bu deneyin amacı, düzgün geometrik biçimli kaya örneklerinin (silindir, küp veya prizma şeklinde), sadece düşey eksen boyunca uygulanan yük altında dayanımının belirlenmesidir. Bu çalışmada ISRM (2007)' de önerilen yöntemler esas alınmıştır. Deneyde örneklerin alt ve üst yüzeylerinin birbirine paralel ve pürüzsüz olmasına dikkat edilmeli, örnek kırık, çatlak içermemelidir. Deneyde örneğe sabit bir hızla yükleme yapabilen hidrolik press kullanılmıştır. Prese monteli başlıklar ve çelik silindirlerin düz yerleştirilmiş olmasına ve yüklemenin sağlıklı yapılmasına dikkat edilmiştir. Boyu çapının 2.5-3 katı arasında olacak şekilde ve 0°, 30°, 45°, 60°, 90° yönelim açılarında hazırlanan numunelerin (Şekil 2.10) farklı doyumluk koşulları altında (%Sr 0, 25, 50, 75 ve 100) tek eksenli sıkışma dayanımı deneyine tabi tutulmaları sağlanmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.10. Farklı yönelim açılarında hazırlanan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi örnekleri



Şekil 2.11. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi

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

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.12)$$

Bu eşitlikte;

σ_c : Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

F: Yenilme anında örneğe uygulanan kuvvet (N)

A: Yüklemenin yapıldığı örneğin yüzey alanı (mm²)

2.1.2.7. Dolaylı Çekilme Dayanımı (Brazilian) Deneyi

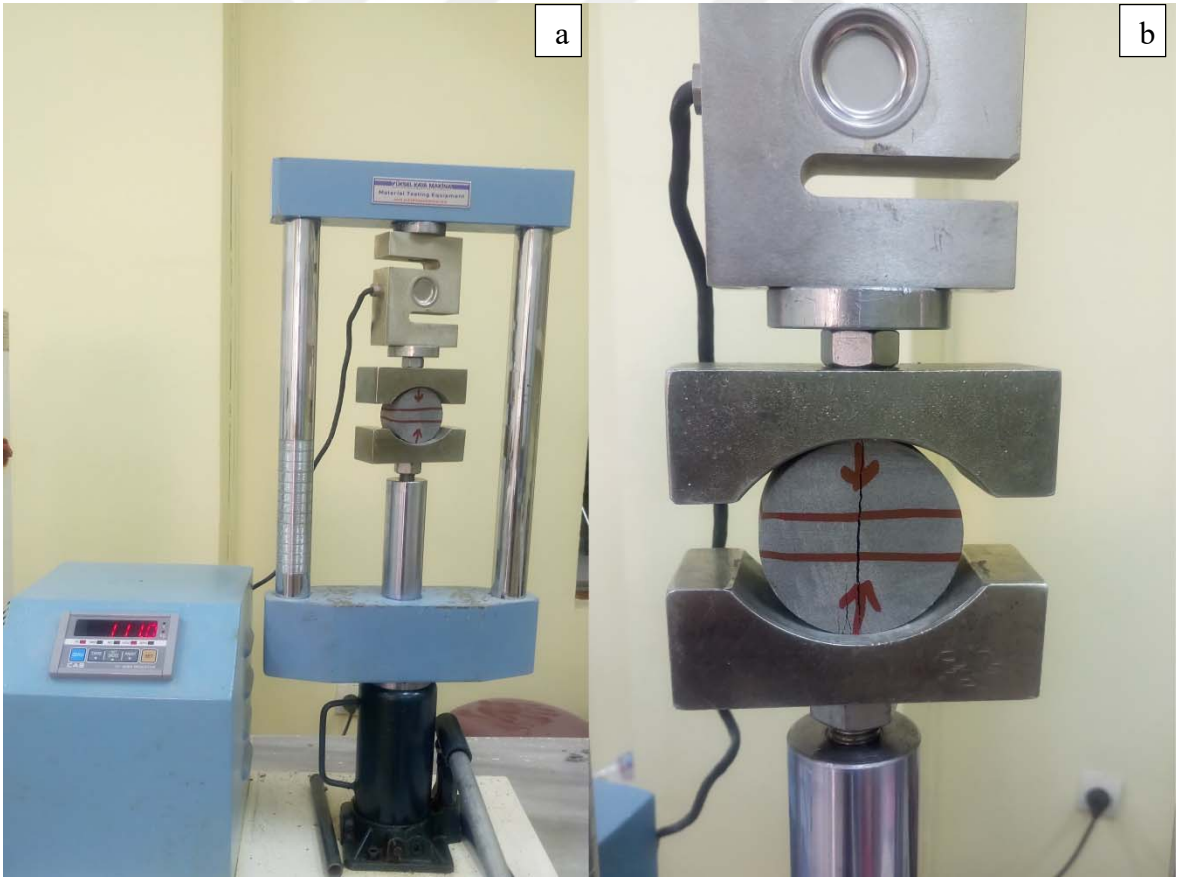
Bu deneyin amacı, disk şeklinde hazırlanmış kaya örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarını dolaylı yoldan tayin etmektir. Kayaların kazılabilirliğinde, yer altı kazılarında, patlayıcı madde kullanımında ve sökülebilirlikte çekilme direncinin bilinmesi gerekmektedir. Dolaylı çekilme dayanımı deneyi, silindirik kaya örneklerinin uçlarından sabitlenerek gerçekleştirilen doğrudan çekilme deneyine göre, genellikle biraz daha yüksek çekilme dayanımı değeri vermektedir. Daha küçük boyutlu örneklerle çalışılması, deney örneklerinin hazırlanmasındaki kolaylık ve deneyin pratik olması nedeni ile çekilme dayanımının belirlenmesinde dolaylı yöntem olan Brazilian yöntemi kullanılmıştır. Bu deney için ISRM (2007) ve CANMET (1977a)' in önerdiği yöntemler esas alınmıştır.

Deney için yükleme çeneleri, 0.01mm hassasiyette kumpas, yükleme presi ve kalınlığı (t) çapının (D) yaklaşık yarısı olan örnekler kullanılmıştır (Şekil 2.12). Örneğin kalınlığı ve çapı kumpas ile birbirine dik ve iki farklı yönde ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Anizotropi (0°, 30°, 45°, 60°, 90°) ve farklı doyumluk koşulları (%Sr 0, 25, 50, 75, 100) sağlanarak deney gerçekleştirilmiştir. 5 farklı yönelim açılarında alınan çapı boyunun yaklaşık iki katı olan silindirik örnekleri farklı doyumluk derecelerine getirmek için önce 24 saat 105 °C etüvde kurutulmuştur. Daha sonra zaman-doyumluk derecesi grafiğinden elde edilen zamanlar dikkate alınarak belli sürelerde suda bekletilmiş ve istenen doyumluk koşulu sağlanmış olduğu durumda örnek sudan alınarak deney gerçekleştirilmiştir. Örneğin yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde yerleştirilirken anizotropi açıları (β) baz alınmıştır. Bütün dolaylı çekilme dayanımı deneyi gerçekleştirilirken örneğin enine kesitindeki süreksizlik düzlemlerine (φ) dik yönde sabit

bir hızla yükleme yapılmıştır (Şekil 2.13). Örneğin yenildiği andaki yük presin göstergesinden okunarak deney gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.12. Farklı yönelim açılarında hazırlanan dolaylı (Brazilian) çekilme dayanımı için hazırlanan örnekler



Şekil 2.13. $\beta=0^\circ$ konumda $\phi=90^\circ$ yönelime sahip örneğin konumu (a) ve yenilmesi (b)

Örneklerin dolaylı (Brazilian) çekilme dayanımı (σ_t) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\sigma_t = \frac{Fx0.636}{Dxt} \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte;

σ_t : Örneğin çekilme dayanımı (kg/cm^2)

F: Yenilme anında örneğe uygulanan kuvvet (kg)

D: Örneğin çapı (cm)

t: Örnek kalınlığı (cm)

2.2. Petrografik Çalışmalar

Kaya malzemesinin bazı özellikleri arazide gerçekleştirilen ilk incelemelerle belirlenebilir. Ancak kayanın adlandırılması, mikro çatlakların yoğunluğu, hangi minerallerden oluştuğu ve bu minerallerin yüzde olarak dağılımı mikroskobik incelemeler sonucunda elde edilir. Bunun için de incelenecek kaya malzemesinden ince kesit hazırlanması gerekmektedir.

Örneklerin mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi için araziden getirilen blok örneklerden her bloğu temsil edecek şekilde 11 adet ince kesit Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında hazırlanmıştır.

İnce kesit hazırlama işlemi için kaya bloklarından kesilerek elde edilen plakaların aşındırıcı toz ile bir yüzü pürüzsüz hale getirilir. Daha sonra 2.5x5cm boyutundaki lamel üzerine kanada balzamu adındaki özel bir yapıştırıcı sürülerek belirli sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra kesilen plaka lamel üzerine bırakılır ve hava kalmayacak şekilde yapıştırma işlemi gerçekleştirilir. Kesilen plaka ile cam lamel kurduktan sonra ince kesit makinesi ile belirli aşamaya kadar inceltir. Daha sonra 0.03 mm kalınlığa ulaşana kadar farklı numaralardaki aşındırıcı tozlarla inceltilerek petrografik inceleme için hazır hale getirilir.

İnce kesiti hazırlanan örnekler Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü araştırma mikroskobu laboratuvarında Leica DFC450 marka polarizan mikroskop ile incelenmiştir. Minerallerin bolluk oranlarını ve kumtaşlarının türünü belirlemek için modal analiz yapılmıştır. Kumtaşlarının tane boyu dağılımını belirlemeye yönelik olarak tane boyu ölçümü yapılmış ve hangi tane boyuna

sahip olduğu tespit edilmiştir. Kayaları oluşturan minerallerin birbiri ile ilişkileri, optik özellikleri gözlemlenerek mikroskoba bağlı fotoğraf makinesi ile tek ve çift nikollerde mikroskop fotoğrafları çekilmiştir.

2.3. Büro Çalışmaları

Çalışma süresince arazi ve laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen veriler bir dizi büro çalışması gerçekleştirilerek değerlendirilmiştir. Bu aşamada öncelikle anizotropi ve farklı doyunluk koşulları göz önünde bulundurularak kumtaşlarının fiziksel özellikleri ve dayanım özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra sabit yönelim açıları için farklı doyunluk koşullarında belirlenen özelliklerin değişim gösterip göstermedikleri değerlendirilmiştir. Benzer şekilde sabit doyunluk koşulları için farklı yönelim açılarında konumlandırılan örneklerin test edilen özelliklerinin değişimleri incelenmiştir. Son olarak hem doyunluk hem de anizotropi koşulları birlikte değerlendirildiğinde incelenen fiziksel ve dayanım özelliklerinin en büyük ve en küçük değerler aldıkları koşulların neler olduğu araştırılmıştır.


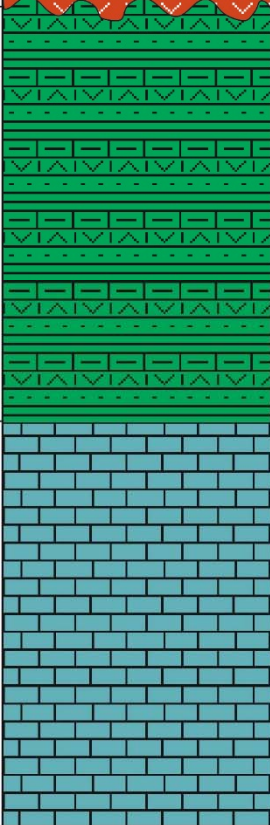
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi

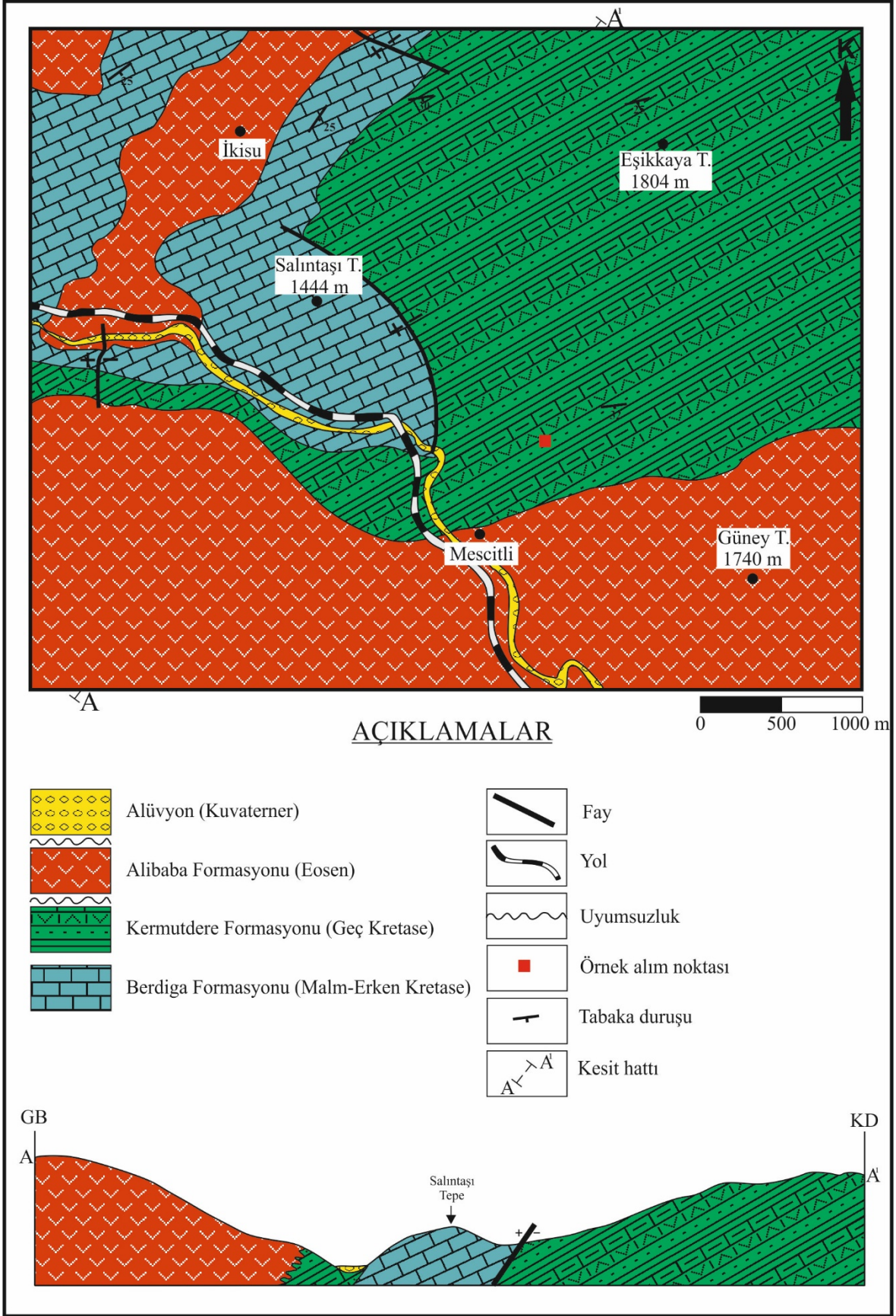
Çalışma alanı Pontid Tektonik Birliğinin Güney Zonu' nda yer almaktadır (Ketin,1966). Çalışma alanı ve çevresinde yüzeylenen birimler gençten yaşlıya doğru aşağıdaki gibidir;

1. Alüvyon (Kuvaterner)
2. Alibaba Formasyonu (Eosen)
3. Kermutdere Formasyonu (Geç Kretase)
4. Berdiga Formasyonu (Geç Jura-Erken Kretase)

Çalışma alanı ve çevresine ait litostratigrafik adlandırma kuralları göz önünde bulundurularak hazırlanmış stratigrafik kolon kesit ve jeoloji haritası sırasıyla Şekil 3.1 ve 3.2' de verilmiştir.

ZAMAN		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
DEVİR	KUV.			
DEVRE				
FORMASYON	ALÜVYON			
SENOZOYİK			<p>Sitli, killi, kumlu, çakıllı ve bloklu malzeme</p> <p>Andezit, bazalt ve piroklastitleri</p>	
TERSİYER	Eosen			
ALİBABA				
MESOZOYİK			<p>Kumtaşı, kiltası, marn ardalanması</p> <p>Grimsi beyaz ve beyaz renkte, çoğunlukla kalın tabakalı ve dolomitik özellikli kireçtaşı</p> <p>Ölçeksizdir</p>	
JURA-KRETASE				KERMUTDERE
GEÇ JURA-ERKEN KRETASE	BERDİGA			
GEÇ KRETASE				

Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresine ait stratigrafik kolon kesiti



Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası ve enine kesiti

3.1.1. Berdiga Formasyonu

Pelin (1977), Alucra' nın (Giresun) güneydoğusunda en iyi Berdiga dağları boyunca gözlenen killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı ve kumlu kireçtaşlarından oluşan birimi Berdiga Formasyonu olarak adlandırmıştır. Tüm Doğu Pontid kuşağında, Jura-Erken Kretase yaşlı kayaçların tanımlanmasında pek çok araştırmacı tarafından (Pelin, 1977; Eren, 1983; Hacıalioğlu, 1983; Yılmaz, 1992; Yılmaz, 1995) benimsenmiştir.

Berdiga Formasyonu çalışma alanının kuzeybatısında yer almakta olup; tabanda masif katmanlı, gri renkli dolomitlerden, orta seviyelerde kalın katmanlı dolomitleşmiş kireçtaşlarından, üst seviyelerde ise orta-ince katmanlı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Arazide, açık gri rengi ve diğer birimlerle karşılaştırıldığında daha dik bir topoğrafyaya sahip olması ile kolayca tanınabilmektedir.

3.1.2. Kermutdere Formasyonu

Kermutdere Formasyonu ilk olarak Tokel (1972) tarafından adlandırılmıştır. Tabanda orta tabakalı kumtaşı ve ince-orta tabakalı marn ile başlamaktadır. Üstünde ince-orta-kalın tabakalı yeşil-gri renkli marn-kireçtaşı ar dalanması ve üstünde kumtaşı-marn ar dalanması ile devam etmektedir. Bunun üzerine yeşil-gri renkli orta-kalın tabakalı kumtaşı ve yeşil-gri renkli ince-kalın tabakalı marn ar dalanması gelmekte ve istif kaba taneli kumtaşı ile son bulmaktadır. Kermutdere Formasyonu' nun röliyefi belirgin olup diğer birimlerden kolayca ayırt edilmektedir. Formasyon 'un yaşı Geç Kretase olarak kabul edilmiştir (Pelin, 1977). Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir.

Tabakalar yanal yönde devamlı ve düzgündür. Derecelenme ve laminalanma mevcuttur. İnce taneli ve iri taneli kayacın ar dalanmasından meydana gelmesi türbidit akıntılarla taşınıp çökeldiğini göstermektedir (Bourna, 1962).

3.1.3. Alibaba Formasyonu

Tokel (1972) tarafından Alibaba Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Tabanda volkanik breş, aglomera ve tüflerden oluşan birim yer almakta, bunu killi kireçtaşı ve kumtaşı ara seviyeli hornblend/ojit andezit, kuvarslı andezit ve tüflerden oluşan birimler

üstlemekte, en üstte ise riyolit, dasit ve piroklastlarından oluşmaktadır. Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu, Kermutdere Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir.

3.1.4. Alüvyon

Harşit çayı boyunca gözlenmekte olup harşit çayına bağlantılı olan dereler boyunca mevsimsel yağışlara bağlı olarak malzeme gelimi söz konusudur. Alüvyonların kalınlığı akarsu tabanının eğimine ve akış hızına bağlı olarak değişmekte olup güncel olarak oluşmaya devam etmektedir. Boyutları kil boyutundan çakıl boyutuna kadar değişmektedir. Yörede yüzeyleme veren kayaların bozunması ve taşınmasına bağlı olarak bileşimleri çevre kayalarla uyumludur. Bölgedeki en genç birimdir. Yöre sakinleri tarafından yerleşim yeri ve sebze, meyve bahçesi alanı olarak kullanılmaktadır.

3.2. Kumtaşlarının Petrografik Özellikleri

Araziden alınan kumtaşları üzerinde önce makro olarak inceleme yapılmıştır. Örneklerin mineralojik bileşimini ve tane boyu dağılımını belirlemek için her bloğu temsil eden toplamda 11 adet ince kesit hazırlanmıştır. Tane boyu analizi için polarizan mikroskopta kesiti iki yönde kestiği varsayılan bir hat boyunca tanelerin boyutu ölçülmüştür. Tane boyu ölçümlerine göre elde edilen tane boyları Wentworth boy sınıflaması ölçeğine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflama sonucunda kumtaşı bloklarına ait kesitlerin tane boyutları ortalamasının 0.21-0.25 mm boyutlarında değiştiği ve “orta kum” sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Kumtaşlarının mineralojik bileşimini belirlemek için polarizan mikroskobu ile nokta sayacı kullanılarak her kesitte 1000 adet nokta sayımı olmak üzere modal analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre kumtaşlarının kuvars, feldispat (alkali feldispat, plajiyoklas), kaya parçası (volkanik kaya parçası, sedimanter kaya parçası), opak mineral, tali mineral (olivin, piroksen, amfibol, epidot), matriks ve çimento içerdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Kumtaşı örneklerine ait modal analiz sonuçları

Ör. No	Kuvars %	Feldispat %		Kayaç Parçası %		Matriks %	Çimento %	Tali Mineral %				Opak %
		A.F.	Plj	S.k.p.	V.k.p.			Olivin	Amfibol	Piroksen	Epidot	
1	34.3	19	1.5	11.5	3.2	16.3	10.4	0	1.8	0.8	0	1.2
2	38.4	11.7	0.7	5.9	9.9	9.8	20.6	0	1.4	0.2	0	1.4
3	30.5	14.6	0.7	7.1	1.8	20.1	20.2	2.3	0.7	0	0.2	1.8
4	34.1	13	0.3	3.7	2.5	33	8.5	1.6	0.9	0	0	2.4
5	31.2	13.2	1	3.3	4.7	26	17	1.4	0	0	0	2.2
6	33.7	13.9	0.4	5.1	2.2	26.9	13.5	1.5	0.8	0	0.3	1.7
7	32.2	13.6	0.7	5.4	1.9	26.8	13.4	3.6	0.5	0	0	1.9
8	25.5	18.3	0	7.5	2.3	3.9	36.6	2.2	0.4	0	0.5	2.8
9	34.1	13.7	0.2	6	2.1	21.9	18.9	0.9	0.3	0.1	0	1.8
10	35.5	13.7	1.7	4.3	1.9	20.8	18.1	2.4	0.1	0	0	1.5
11	31.9	17.4	2.3	4.1	2.5	21	14.6	2.3	1.9	0.1	0	1.9

Mescitli (Gümüşhane) yöresinden alınan kumtaşı örneklerinin petrografik analizleri sonucunda elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmektedir.

Kuvars: Kaya içerisinde %25.5-38.4 arasında değişmekte olup ortalama %32.9 olarak hesaplanmıştır. Tane boyutları genellikle eşit değildir, gelişigüzedir. Boyutları 0.08-0.52 mm arasında değişmektedir. Taneler yarı köşeli-yarı yuvarlaktır ve dalgalı sönme gösteren de düz sönme gösteren de vardır.

Feldispat:

Alkali Feldispat (Ortoklas): Kaya içerisinde %11.7-19 arasında değişmekte olup ortalama %14.7 olarak hesaplanmıştır. Tane boyutları 0.1-0.4 mm arasında değişmekte olup köşeli ve kısmen de yuvarlaktır.

Plajiyoklas: Kaya içerisinde %0-2.3 arasında değişmekte olup ortalama %0.9 olarak hesaplanmıştır. Boyutları 0.15-0.35 mm arasında değişmektedir ve taneler köşelidir. Genellikle albit ikizi, az da olsa karslbad ikizi göstermektedir.

Kaya Parçası:

Volkanik Kaya Parçası (V.K.P.): Kaya içerisinde %1.8-9.9 arasında değişmekte olup ortalama %3.2 olarak hesaplanmıştır. Boyutları 0.06-0.35 mm arasında değişmektedir. Taneler yarı yuvarlak-yuvarlaktır.

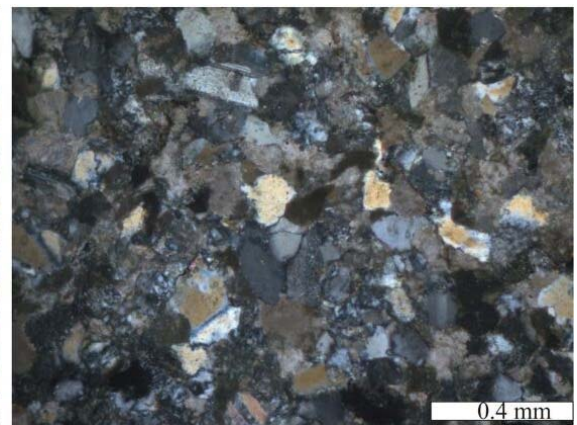
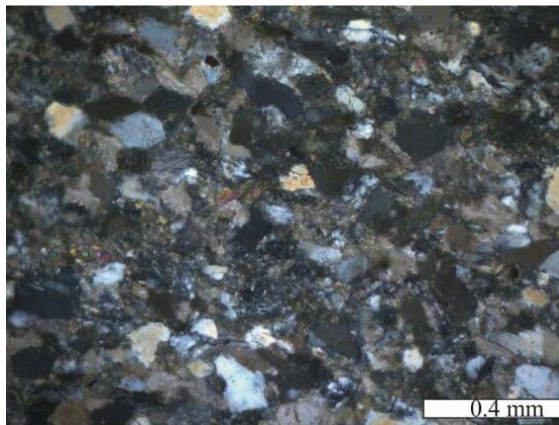
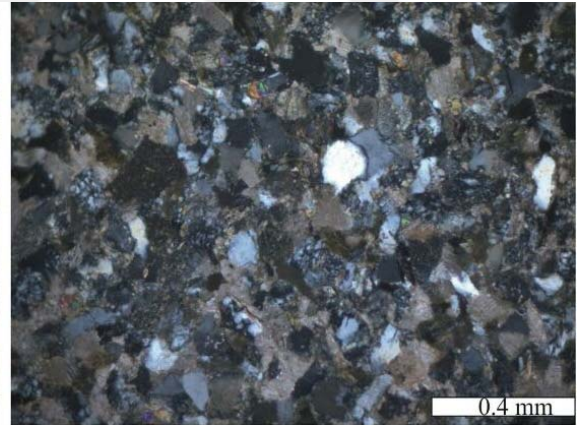
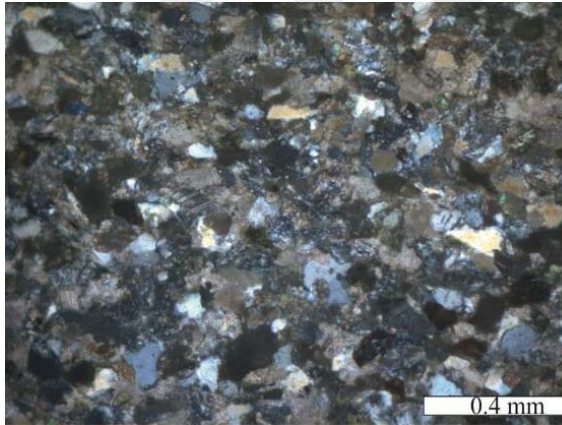
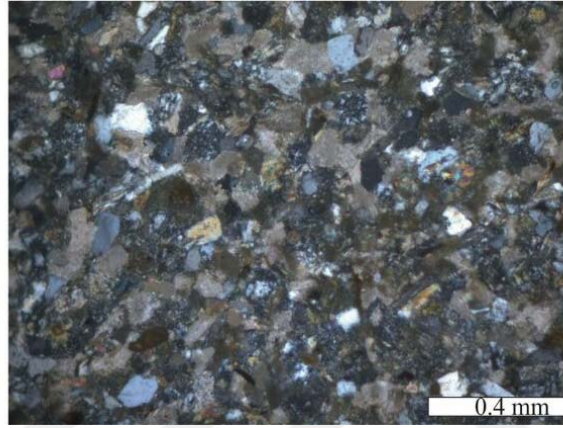
Sedimanter Kaya Parçası (S.K.P.): Kaya içerisinde %3.3-11.5 arasında değişmekte olup ortalama %5.8 olarak hesaplanmıştır. Boyutları 0.07-0.32 mm arasında değişmektedir. Taneler yarı yuvarlak-yuvarlaktır. Mevcut sedimanter kaya parçaları kireçtaşıdır.

Tali mineral: Kaya içerisinde olivin %0-3.6, amfibol %0-1.9, piroksen %0-0.8, epidot %0- 0.5 arasında değişiklik göstermektedir.

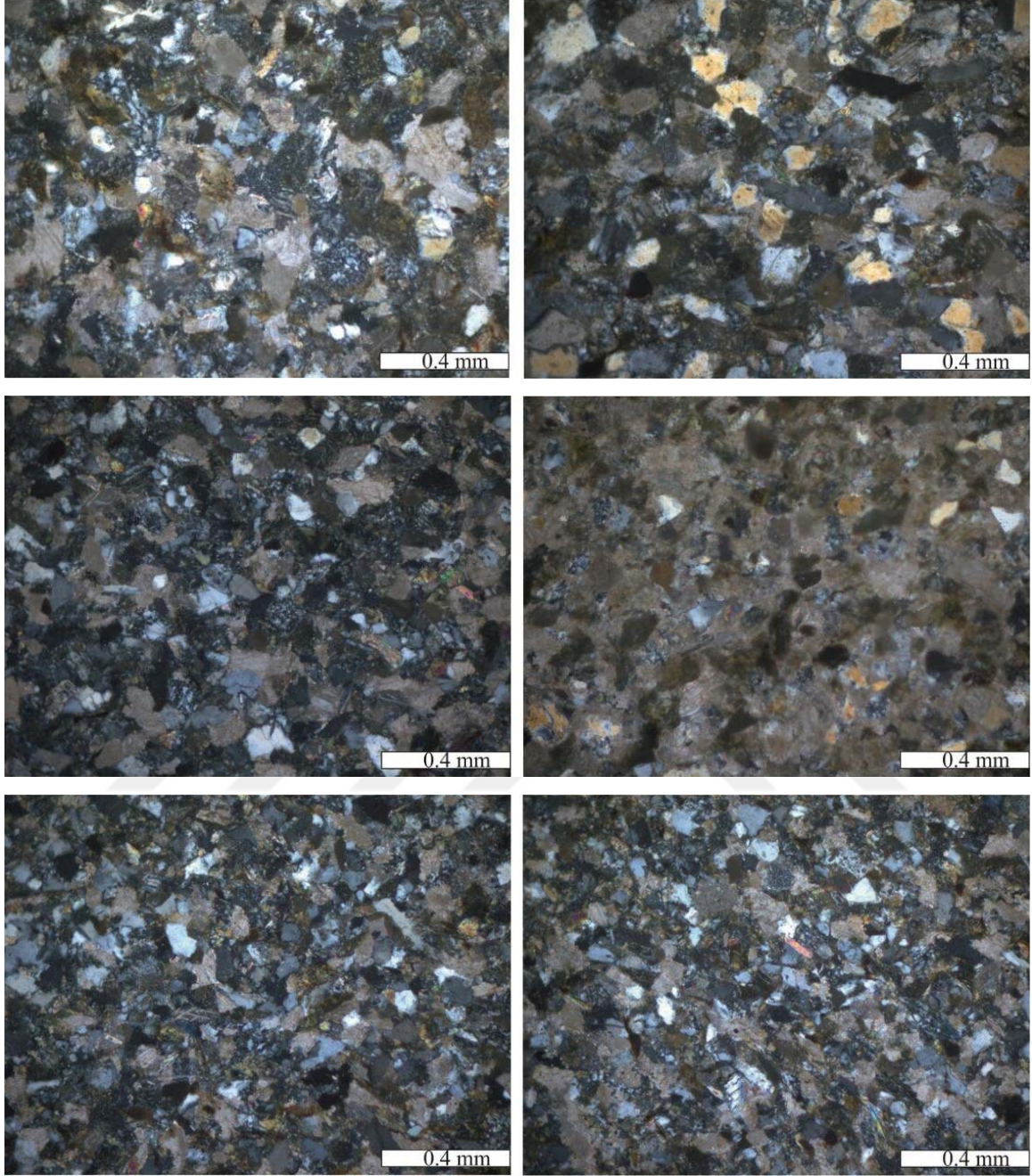
Opak mineral: Kaya içerisinde %1.2-2.8 arasında değişmektedir.

Çimento: Kayanın %8.5-36.6' lik kısmını oluşturmaktadır, ortalama %17.4 olarak hesaplamıştır.

Matriks: Kaya içerisinde %3.9-33 arasında değişmekte olup ortalama %20.6 olarak hesaplanmıştır.

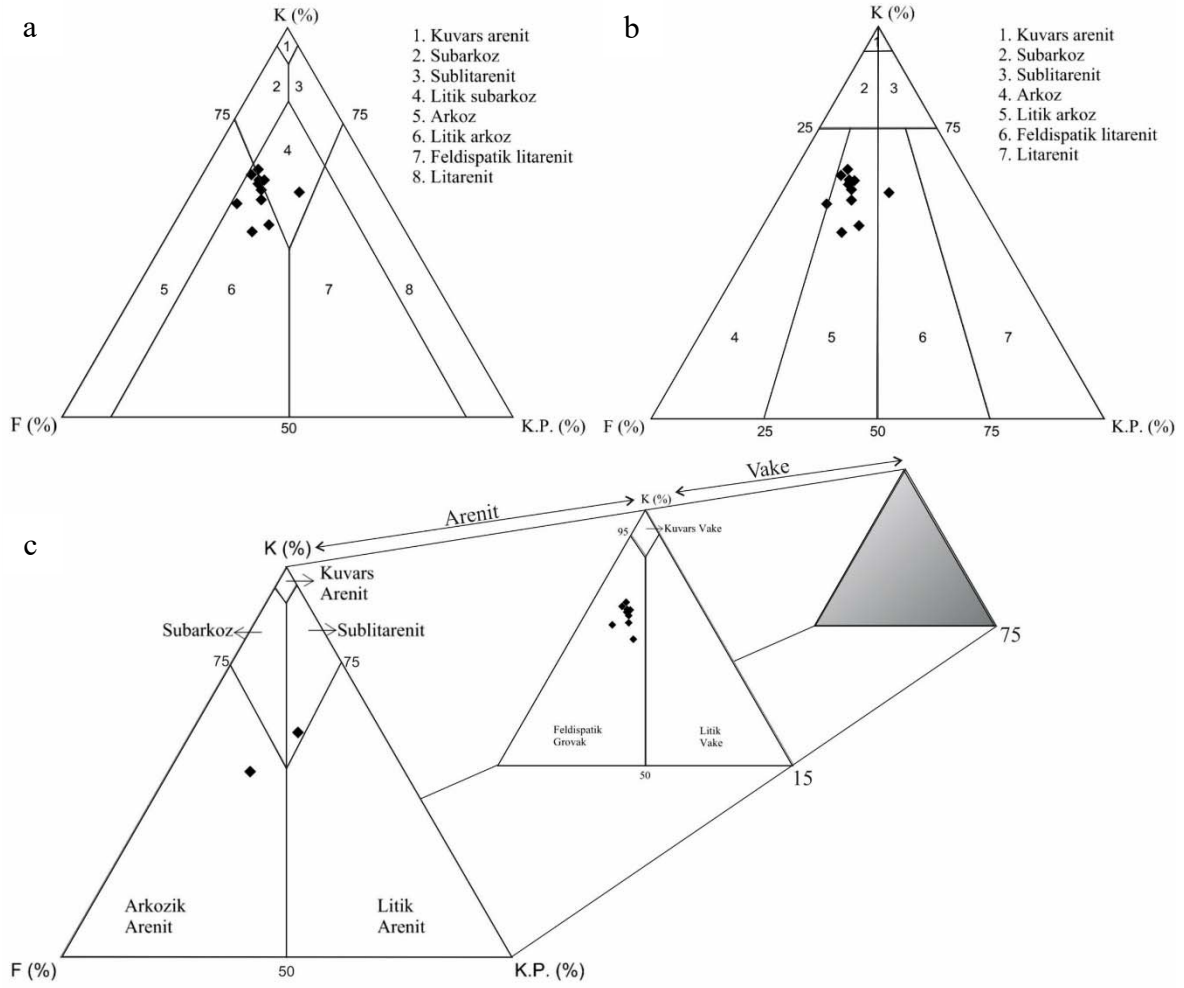


Şekil 3.2. Kumtaşı bloklarına ait kesitlerin çift nikolde mikroskobik görüntüleri



Şekil 3.3. (devamı)

Kumtaşları, modal analiz sonuçlarına göre Folk vd. (1970), McBride (1963), Dott (1964)' ın geliştirmiş oldukları diyagramlar kullanılarak sınıflandırılmışlardır.



Şekil 3.4. Kumtaşlarının Folk vd. (1970), McBride (1963), Dott (1964) sınıflaması

Folk vd. (1970) diyagramında 2., 4. ve 9. bloklara ait örnekler **litik subarkoz**, diğer bloklara ait örnekler **litik arkoz** bölgesine düşmüştür (Şekil 3.4a).

McBride (1963) diyagramında 2. bloğa ait örnek **feldispatik litarenit**, diğer bloklara ait örnekler **litik arkoz** bölgesine düşmüştür (Şekil 3.4b).

Dott (1964) diyagramında matriks hesaba katılmadan diyagram kullanıldığında 2. bloğa ait örnek **sublitarenit**, 8. bloğa ait örnek **arkozik arenit** bölgesine düşmüştür. Matriks hesaba katıldığında diğer 9 örneğin matriks oranı %15' den fazla olduğu için 9 örnekte **feldispatik grovak** bölgesine düşmüştür (Şekil 3.4c).

3.3. Kumtaşlarının Mühendislik Özellikleri

3.3.1. Giriş

Bu alışmada Mescitli (Gümüşhane) yöresinden alınan kumtaşlarının değişen doyunluk derecesi (%Sr 0, 25, 50, 75, 100) ve anizotropiye (0°, 30°, 45°, 60°, 90°) bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deneysel alışmalar kaya grubunu en iyi temsil edecek şekilde araziden yaklaşık boyutları 20x30x40cm olan blok örneklerden laboratuvar ortamında hazırlanan karot örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kayaların mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır.

3.3.2. Kumtaşlarının Fiziksel Özellikleri

Tez alışması kapsamında fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneysel alışmalar Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvar imkânları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kumtaşlarının özgül ağırlık (Gs), birim hacim ağırlığı (γ), ağırlıkça su emme (Aw), hacimce su emme (görünür gözeneklilik) (Av) ve dalga boyu hızları (Vp, Vs) değerleri yapılan deneysel çalışmalar ve ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca fiziksel özellikler arasındaki bağıntılardan yararlanılarak diğer bazı fiziksel özellikler belirlenmiştir.

3.3.2.1. Kumtaşlarının Özgül Ağırlığı

Özgül ağırlık değerinin belirlenmesi için piknometre deneyinden yararlanılmıştır. Kumtaşlarında özgül ağırlık değeri her bir blok için bir set (3 adet) piknometre deneyi yapılarak ortalaması alınmıştır. Piknometre deneyi sonucunda kumtaşlarının özgül ağırlık değeri 2.68-2.73 değerleri arasında belirlenmiştir. Ortalama değeri 2.71 ± 0.01 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.2).

3.3.2.2. Kumtaşlarının Birim Hacim Ağırlığı

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

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kumtaşlarının kuru birim hacim ağırlık (γ_k) değerinin 25.73-26.38 kN/m³ arasında, doygun birim hacim ağırlık (γ_d) değerinin 25.94-26.51 kN/m³ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ortalaması 26.04 kN/m³ \pm 0.12, doygun birim hacim ağırlık değerlerinin ortalaması 26.23 kN/m³ \pm 0.10 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.2).

3.3.2.3. Kumtaşlarının Ağırlıkça Su Emme Değerleri

Kayaların su alabilme kapasitesini gösteren ağırlıkça su emme (A_w) değerinin belirlenmesinde 75 adet silindirik kaya numunesi kullanılmıştır. Örneklerin doygun ve kuru kütleleri dikkate alınarak gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda kumtaşlarının ağırlıkça su emme değerleri aşağıda belirlenmiştir. ISRM (2007)'de önerilen yöntemler esas alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kumtaşlarının ağırlıkça su emme (A_w) değerleri %0.42-0.95 arasında değişmektedir ve ortalama değerleri %0.72 \pm 0.12 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.2).

3.3.2.4. Kumtaşlarının Hacimce Su Emme Değerleri

Kaya içerisinde birbirleri ile bağlantılı olan boşlukların saptanmasında önemli olan hacimce su emme (A_v) (görünür gözeneklilik) değerinin tayini için ISRM (2007)'de önerilen yöntemler esas alınmıştır. Örneklerin hacimleri, doygun ve kuru kütleleri dikkate alınarak gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda kumtaşlarının hacimce su emme değerleri aşağıda ifade edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kumtaşlarının hacimce su emme (A_v) değerlerinin %1.13-2.53 arasında değiştiği ve ortalama değerleri %1.92 \pm 0.32 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Kumtaşlarının fiziksel özellikleri

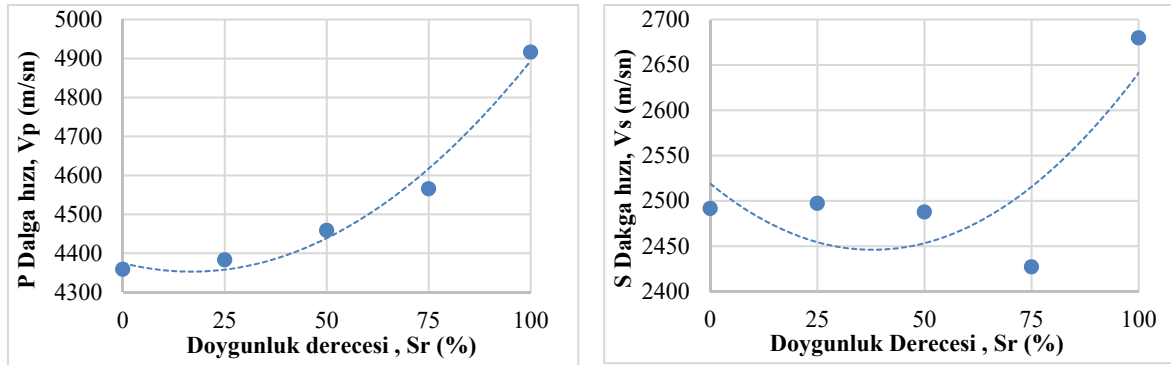
Örnek No	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	A_v (%)	A_w (%)	Örnek No	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	A_v (%)	A_w (%)
1/90°	25.99	26.16	1.77	0.67	41/45°	26.05	26.28	2.38	0.89
2/90°	25.99	26.16	1.80	0.68	42/45°	26.23	26.39	1.63	0.61
3/90°	25.98	26.15	1.80	0.68	43/45°	26.38	26.51	1.33	0.50
4/90°	25.95	26.14	1.98	0.75	44/45°	25.86	26.10	2.41	0.91
5/90°	25.96	26.14	1.84	0.69	45/45°	25.94	26.19	2.50	0.94
6/90°	25.93	26.12	1.91	0.72	46/30°	26.01	26.21	2.10	0.79
7/90°	25.90	26.09	2.02	0.76	47/30°	26.13	26.30	1.80	0.68
8/90°	25.95	26.13	1.89	0.71	48/30°	26.14	26.31	1.75	0.66
9/90°	25.94	26.11	1.75	0.66	49/30°	26.15	26.32	1.76	0.66
10/90°	26.02	26.19	1.65	0.62	50/30°	26.15	26.32	1.67	0.63
11/90°	26.01	26.17	1.65	0.62	51/30°	26.19	26.36	1.70	0.64
12/90°	25.99	26.16	1.66	0.63	52/30°	26.20	26.37	1.71	0.64
13/90°	26.00	26.18	1.83	0.69	53/30°	26.17	26.35	1.79	0.67
14/90°	25.99	26.18	1.92	0.72	54/30°	26.06	26.23	1.72	0.65
15/90°	26.04	26.21	1.66	0.63	55/30°	26.15	26.31	1.68	0.63
16/60°	25.96	26.19	2.34	0.88	56/30°	26.18	26.34	1.69	0.63
17/60°	25.99	26.22	2.31	0.87	57/30°	26.10	26.28	1.77	0.67
18/60°	26.01	26.24	2.38	0.90	58/30°	26.17	26.33	1.64	0.61
19/60°	26.02	26.24	2.30	0.87	59/30°	25.99	26.22	2.37	0.89
20/60°	26.11	26.29	1.83	0.69	60/30°	25.81	26.01	2.03	0.77
21/60°	26.16	26.33	1.77	0.66	61/0°	25.84	26.05	2.19	0.83
22/60°	26.13	26.31	1.80	0.67	62/0°	25.93	26.13	2.07	0.78
23/60°	26.10	26.28	1.82	0.69	63/0°	26.08	26.26	1.85	0.70
24/60°	26.17	26.36	1.93	0.72	64/0°	25.86	26.08	2.20	0.83
25/60°	26.02	26.22	1.96	0.74	65/0°	25.73	25.94	2.13	0.81
26/60°	26.02	26.25	2.32	0.87	66/0°	25.99	26.15	1.68	0.63
27/60°	26.13	26.34	2.12	0.80	67/0°	25.89	26.05	1.68	0.64
28/60°	26.10	26.30	2.01	0.76	68/0°	25.98	26.16	1.87	0.70
29/60°	26.04	26.24	1.99	0.75	69/0°	26.18	26.29	1.13	0.42
30/60°	26.08	26.27	2.03	0.76	70/0°	26.31	26.43	1.21	0.45
31/45°	25.88	26.11	2.37	0.90	71/0°	26.12	26.25	1.26	0.47
32/45°	25.96	26.16	1.99	0.75	72/0°	26.17	26.28	1.19	0.45
33/45°	26.11	26.31	2.04	0.77	73/0°	26.22	26.35	1.33	0.50
34/45°	26.10	26.32	2.22	0.83	74/0°	26.03	26.27	2.46	0.93
35/45°	26.04	26.25	2.12	0.80	75/0°	26.01	26.26	2.53	0.95
36/45°	26.00	26.21	2.15	0.81					
37/45°	25.98	26.19	2.17	0.82	En Büyük	26.38	26.51	2.53	0.95
38/45°	25.87	26.07	2.06	0.78	En Küçük	25.73	25.94	1.13	0.42
39/45°	25.98	26.21	2.37	0.89	Ortalama	26.04	26.23	1.92	0.72
40/45°	26.09	26.29	2.08	0.78	S.Sapma	0.12	0.10	0.32	0.12

3.3.2.5. Kumtaşlarının Ultrasonik Hız Ölçümleri ve Dinamik Elastik Parametreler

Bu çalışmada kumtaşlarında standartlara uygun olarak hazırlanan anizotropik (0° , 30° , 45° , 60° , 90°) örnekler üzerinde 5 farklı doyunluk koşullarında (%Sr 0, 25, 50, %75, 100) ultrasonik hız deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deney ile kumtaşlarının boyuna dalga hızı (V_p) ve enine dalga hızı (V_s) değerleri belirlenmiştir. Sabit bir yönelim açısına sahip örneklerin farklı doyunluk koşulları için ölçülen P ve S dalga hızı değerleri Tablo 3.3-3.7’de ve bu değerler yardımı ile hazırlanan değişim grafikleri ise Şekil 3.5-3.9’da verilmiştir. Ayrıca farklı yönelim açlarına sahip örneklerin değişen doyunluk koşullarında ölçülen P ve S dalga hızları ortalama değerleri değişim grafiği ve anizotropi durumu dikkate alınmaksızın sadece farklı doyunluk koşullarındaki ortalama P ve S dalga hızlarının değişimi grafiklerde verilmiştir (Şekil 3.10-3.11). Benzer şekilde sabit bir doyunluk koşulu için P ve S dalga hızı değerleri farklı yönelim açısına sahip örnekler üzerinde ölçülmüştür. Farklı yönelim açlarına sahip örneklerde ölçülen P ve S dalga hızı değerleri Tablo 3.8-3.12’de ve bu ölçüm değerlerinden yararlanarak hazırlanan değişim grafikleri de Şekil 3.12-3.16’ da verilmiştir. Ayrıca farklı doyunluk koşullarına sahip örneklerin farklı anizotropi koşulları için ölçülen P ve S dalga hızı ortalama değerlerinin değişim grafiği ve doyunluk koşulu dikkate alınmaksızın sadece farklı yönelim açlarındaki P ve S dalga hızı ortalama değerlerine ait grafikler hazırlanmıştır (Şekil 3.17-3.18).

Tablo 3.3. Yönelim açısı (β) 90° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri

Örnek No	%Sr					%Sr				
	Vp (m/sn)					Vs (m/sn)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
1	4352	4352	4508	4638	4965	2820	2889	2495	2452	2727
2	4321	4321	4444	4590	5018	2452	2541	2414	2349	2734
3	4347	4347	4483	4628	4948	2363	2470	2895	2395	2787
4	4251	4251	4410	4551	4913	2432	2549	2407	2407	2741
5	4377	4444	4444	4514	4816	2432	2424	2470	2449	2470
6	4389	4459	4516	4531	4912	2377	2593	2593	2406	2718
7	4414	4414	4497	4628	5018	2448	2383	2457	2403	2809
8	4383	4383	4438	4508	4830	2359	2399	2436	2419	2461
9	4338	4420	4420	4476	4747	2423	2435	2382	2418	2461
10	4383	4420	4508	4522	4931	2432	2444	2461	2427	2483
11	4406	4420	4420	4505	4862	2386	2487	2461	2500	2759
12	4414	4414	4483	4643	4948	2638	2474	2509	2500	2798
13	4338	4352	4490	4563	5018	2423	2410	2414	2478	2759
14	4251	4303	4316	4522	4913	2795	2427	2457	2403	2752
15	4424	4451	4508	4671	4913	2596	2536	2465	2403	2741
En Büyük	4424	4459	4516	4671	5018	2820	2889	2895	2500	2809
En Küçük	4251	4251	4316	4476	4747	2359	2383	2382	2349	2461
Ortalama	4359.2	4383.4	4459.0	4566.0	4916.8	2491.7	2497.4	2487.7	2427.3	2680.0
S. Sapma	53.9	60.4	54.0	61.9	77.8	149.8	124.6	123.3	41.6	134.3

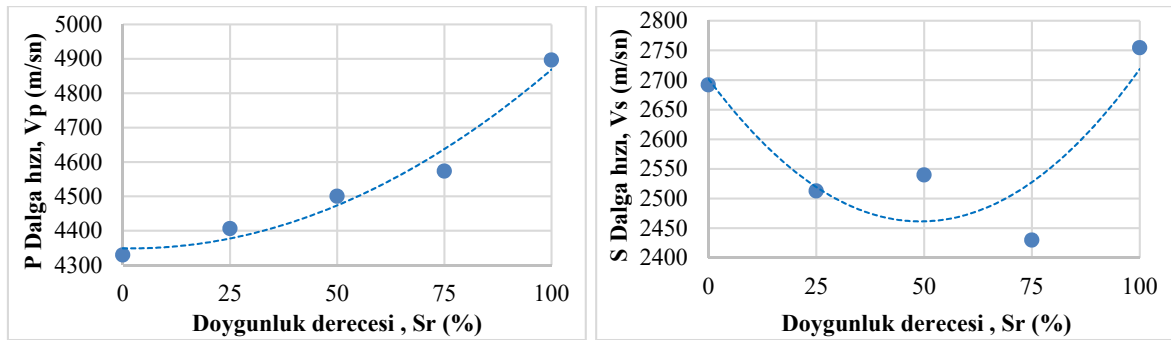


Şekil 3.5. Yönelim açısı (β) 90° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında değişimi

90° yönelim açısına sahip örneklerin P dalga hızları artan doygunluk koşullarında artış göstermiştir. Buna rağmen S dalga hızları %50 doygunluk koşuluna kadar hemen hemen sabit iken %75 doygunluktan sonra doygunluk derecesindeki artışla birlikte önemli oranda artış göstermiştir.

Tablo 3.4. Yönelim açısı (β) 60° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri

Örnek No	%Sr									
	Vp (m/sn)					Vs (m/sn)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
16	4189	4303	4508	4595	4897	2363	2399	2387	2387	2747
17	4281	4414	4554	4628	4864	2540	2403	2395	2340	2745
18	4251	4383	4522	4595	4863	2752	2549	2812	2320	2710
19	4281	4497	4554	4689	4864	2440	2424	2572	2356	2750
20	4356	4383	4551	4595	4931	2869	2126	2491	2892	2843
21	4420	4420	4505	4698	5000	2871	2452	2640	2469	2820
22	4377	4431	4571	4528	4948	2863	2571	2439	2449	2851
23	4325	4352	4476	4519	4862	2846	2418	2439	2406	2748
24	4383	4451	4451	4522	4700	2846	2461	2620	2440	2757
25	4451	4508	4566	4581	4913	2596	2432	2465	2436	2470
26	4294	4414	4469	4511	4948	2399	2415	2432	2428	2760
27	4251	4316	4383	4410	4830	2768	2863	2863	2367	2763
28	4383	4451	4479	4581	5071	2869	2886	2268	2363	2823
29	4357	4427	4498	4649	4964	2814	2908	2890	2434	2786
30	4352	4352	4420	4505	4796	2545	2386	2386	2362	2748
En Büyük	4451	4508	4571	4698	5071	2871	2908	2890	2892	2851
En Küçük	4189	4303	4383	4410	4700	2363	2126	2268	2320	2470
Ortalama	4330.1	4406.8	4500.5	4573.7	4896.7	2692.1	2512.9	2539.9	2429.9	2754.7
S. Sapma	71.2	59.6	55.3	76.5	88.7	190.3	215.9	189.1	135.4	88.8

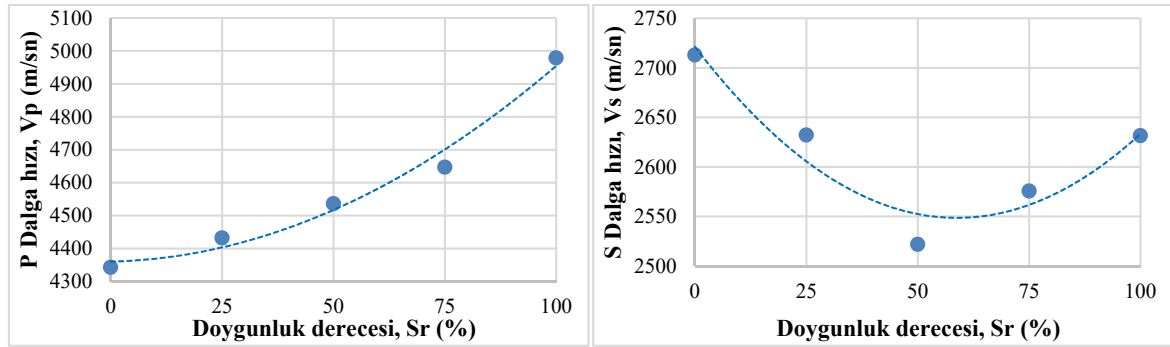


Şekil 3.6. Yönelim açısı (β) 60° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında değişimi

60° yönelim açısına sahip örneklerin P dalga hızları artan doygunluk koşullarında artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak S dalga hızlarında kurudan %75 doygunluk derecesine kadar genellikle azaldığı, %75 doygunluk derecesinden %100 doygunluk koşuluna kadar önemli derecede artış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 3.5. Yönelim açısı (β) 45° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri

Örnek No	%Sr					%Sr				
	Vp (m/sn)					Vs (m/sn)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
31	4251	4383	4494	4595	5000	2823	2846	2298	2391	2763
32	4383	4451	4465	4671	5000	2892	2874	2453	2470	2801
33	4375	4473	4516	4605	4912	2692	2851	2478	2410	2703
34	4406	4420	4534	4716	5036	2461	2568	2478	2435	2809
35	4189	4316	4451	4522	4897	2763	2829	2465	2834	2747
36	4218	4347	4554	4628	4931	2782	2848	2415	2609	2436
37	4251	4316	4508	4671	4897	2522	2851	2892	2892	2448
38	4316	4369	4451	4548	4913	2779	2448	2440	2568	2419
39	4192	4334	4563	4716	4965	2444	2136	2394	2406	2456
40	4338	4448	4563	4638	4965	2825	2452	2461	2439	2738
41	4192	4255	4403	4473	4762	2504	2761	2365	2593	2667
42	4625	4671	4749	4830	5279	2496	2208	2536	2527	2615
43	4913	5000	4913	4982	5379	3114	2857	2874	2582	2705
44	4451	4451	4566	4595	5000	2846	2465	2540	2679	2757
45	4046	4251	4316	4522	4749	2752	2491	2741	2801	2411
En Büyük	4913	5000	4913	4982	5379	3114	2874	2892	2892	2809
En Küçük	4046	4251	4316	4473	4749	2444	2136	2298	2391	2411
Ortalama	4343.1	4432.3	4536.4	4647.5	4979.0	2713.0	2632.3	2522.0	2575.7	2631.7
S. Sapma	209.3	188.4	141.1	129.6	164.7	191.2	253.1	176.1	163.0	152.7

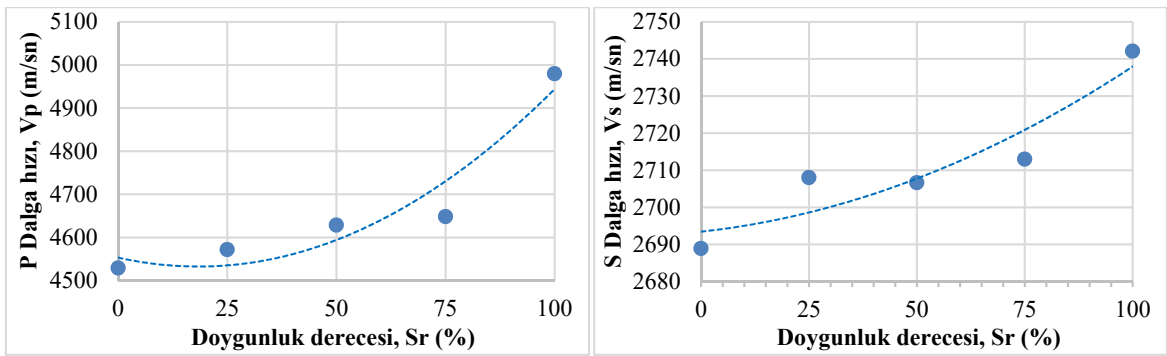


Şekil 3.7. Yönelim açısı (β) 45° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında değişimi

45° yönelim açısına sahip örneklerin P dalga hızları artan doygunluk koşullarında artış göstermiştir. Ancak S dalga hızlarının %50 doygunluk derecesine kadar azaldığı, %50 doygunluktan %100 doygunluk derecesine kadar artış gösterdiği gözlenmiştir.

Tablo 3.6. Yönelim açısı (β) 30° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri

Örnek No	V _p (m/sn)					V _s (m/sn)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
46	4451	4522	4522	4566	5182	2379	2444	2880	2415	2829
47	4671	4749	4847	4863	5125	2958	2536	2705	2726	2863
48	4780	4796	4796	4796	5146	2711	2701	2722	2727	2848
49	4638	4716	4716	4716	4965	2540	2680	2660	2650	2770
50	4563	4638	4638	4638	4965	2860	2968	2962	2665	2770
51	4563	4563	4623	4700	4965	2866	2423	2491	2635	2814
52	4444	4459	4531	4531	4930	2393	2875	2881	2962	2734
53	4522	4566	4581	4671	4913	2823	2649	2664	2910	2773
54	4641	4671	4749	4671	5000	2880	2965	2669	2922	2487
55	4638	4638	4638	4638	4879	2877	2937	2925	2937	2765
56	4490	4548	4563	4563	4965	2854	2626	2495	2680	2765
57	4548	4563	4669	4700	5054	2536	2919	2877	2495	2775
58	4554	4554	4598	4628	4948	2883	2924	2673	2936	2771
59	4069	4214	4438	4451	4749	2375	2470	2347	2351	2367
60	4369	4383	4522	4595	4913	2399	2504	2649	2684	2801
En Büyük	4780	4796	4847	4863	5182	2958	2968	2962	2962	2863
En Küçük	4069	4214	4438	4451	4749	2375	2423	2347	2351	2367
Ortalama	4529.4	4572.0	4628.7	4648.5	4979.9	2688.9	2708.1	2706.7	2713.0	2742.1
S. Sapma	163.6	146.6	112.1	103.2	110.9	223.6	206.1	175.9	193.9	134.5

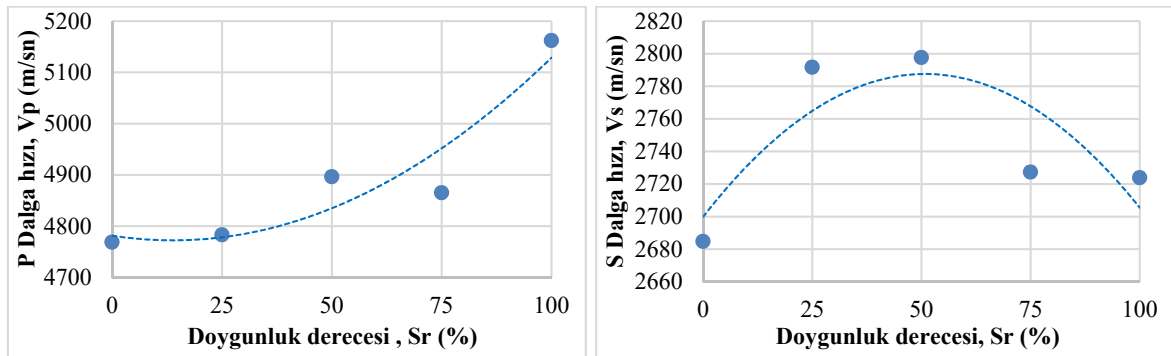


Şekil 3.8. Yönelim açısı (β) 30° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında değişimi

30° yönelim açısına sahip örneklerin P ve S dalga hızları artan doygunluk koşullarında artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3.7. Yönelim açısı (β) 0° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında ölçülen değerleri

Örnek No	%Sr									
	Vp (m/sn)					Vs (m/sn)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
61	4671	4671	4749	4749	5090	2910	2934	2934	2403	2790
62	4605	4667	4682	4762	5018	2426	2647	2911	2652	2767
63	4581	4595	5749	4830	5182	2674	2536	2669	2461	2559
64	4595	4595	4641	4749	5090	2615	2904	2946	2952	2768
65	4595	4595	4749	4749	4913	2568	2874	2874	2880	2705
66	4798	4816	4816	4816	5161	2769	2753	2785	2780	2897
67	4864	4864	4898	4948	5125	2729	2755	2804	2793	2535
68	4796	4796	4862	4879	5146	2680	2732	2717	2722	2854
69	5242	5242	5242	5242	5444	2860	2889	2907	2883	2655
70	5200	5125	5200	5219	5417	2693	2918	2912	2912	2698
71	5073	4982	4982	4982	5367	2643	2831	2831	2860	2951
72	5125	5219	5219	5219	5417	2948	2930	2930	2942	2718
73	4913	4931	4982	4982	5279	2817	2829	2863	2577	2958
74	4347	4400	4414	4469	4783	2628	2831	2558	2804	2653
75	4128	4251	4264	4383	5000	2313	2513	2324	2290	2351
En Büyük	5242	5242	5749	5242	5444	2948	2934	2946	2952	2958
En Küçük	4128	4251	4264	4383	4783	2313	2513	2324	2290	2351
Ortalama	4768.9	4783.3	4896.6	4865.2	5162.1	2684.9	2791.7	2797.7	2727.4	2723.9
S. Sapma	314.1	286.5	363.7	249.4	194.6	170.3	136.0	171.6	207.8	163.5

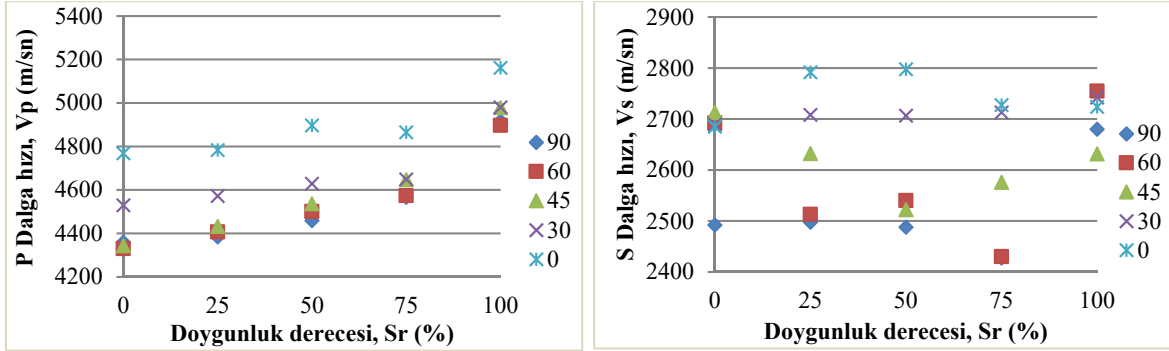


Şekil 3.9. Yönelim açısı (β) 0° olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı doygunluk koşullarında değişimi

0° yönelim açısına sahip örneklerin P dalga hızları artan doygunluk koşullarında artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

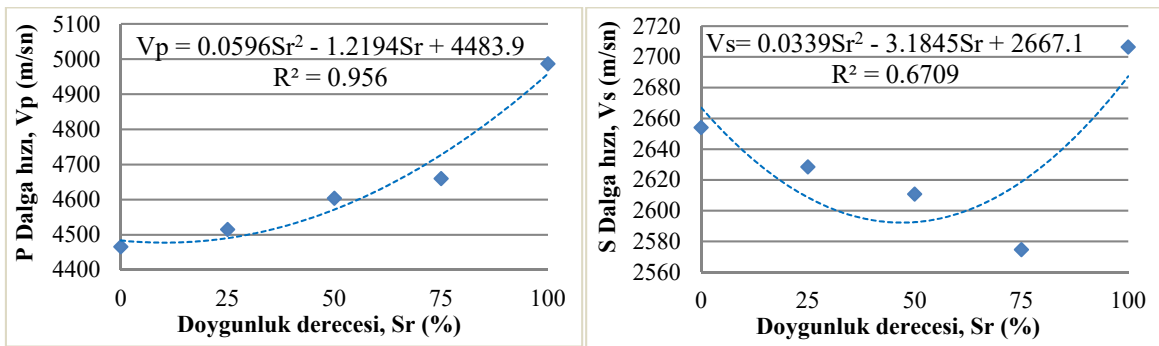
Genel olarak P dalga hızları sabit bir yönelim açısında doygunluk koşullarına bağlı olarak artış göstermektedir. Ancak S dalga hızlarında düzenli bir değişim söz konusu değildir.

Farklı yönelim açılarına sahip örneklerin değişen doygunluk koşullarında ölçülen P ve S dalga hızı ortalama değerlerinin değişim grafiği aşağıda Şekil 3.10' da verilmiştir.



Şekil 3.10. Farklı yönelim açılarında konumlandırılan örneklerin değişen doygunluk koşullarında ölçülen P ve S dalga hızı değerlerinin değişimi

Şekil 3.10 incelendiğinde her yönelim için P dalga hızlarının artan doygunluk koşulları ile artış gösterdiği ve 90° yönelim açısından 0° yönelim açısına göre konumlanmış örneklerde de P dalga hızı değerinin arttığı gözlemlenmiştir. S dalga hızı için aynı şeyleri söylemek söz konusu değildir. Genel olarak doymun örneklerin S dalga hızı değerlerinin daha yüksek olduğu söylenebilirken bu durumun düzenli olmadığı da bir gerçektir. Bununla birlikte yönelim açısı 0° olan örneklerin S dalga hızı değerleri 90° yönelim açısına sahip örneklerden daha yüksektir. Anizotropi durumu dikkate alınmaksızın örnekler değerlendirildiğinde sadece farklı doygunluk koşullarındaki ortalama değerler dikkate alınarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir (Şekil 3.11).

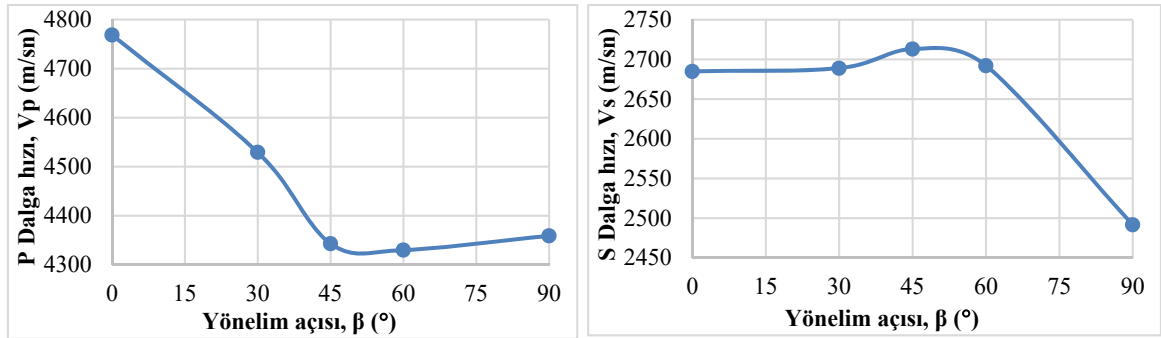


Şekil 3.11. Anizotropi durumu dikkate alınmadan farklı doygunluk koşullarındaki ortalama değerlerin değişimi

Ortalama değerler dikkate alındığında P dalga hızlarının artan doygunlukla birlikte artış gösterdiği, bununla birlikte ortalama S dalga hızı değerlerinin ise önce bir düşüş gösterdiği ve doymun koşullarda arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.8. Kuru örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri

Anizotropi										
Örnek No	V _p (m/sn)					V _s (m/sn)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
1	4352	4189	4251	4451	4671	2820	2363	2823	2379	2910
2	4321	4281	4383	4671	4605	2452	2540	2892	2958	2426
3	4347	4251	4375	4780	4581	2363	2752	2692	2711	2674
4	4251	4281	4406	4638	4595	2432	2440	2461	2540	2615
5	4377	4356	4189	4563	4595	2432	2869	2763	2860	2568
6	4389	4420	4218	4563	4798	2377	2871	2782	2866	2769
7	4414	4377	4251	4444	4864	2448	2863	2522	2393	2729
8	4383	4325	4316	4522	4796	2359	2846	2779	2823	2680
9	4338	4383	4192	4641	5242	2423	2846	2444	2880	2860
10	4383	4451	4338	4638	5200	2432	2596	2825	2877	2693
11	4406	4294	4192	4490	5073	2386	2399	2504	2854	2643
12	4414	4251	4625	4548	5125	2638	2768	2496	2536	2948
13	4338	4383	4913	4554	4913	2423	2869	3114	2883	2817
14	4251	4357	4451	4069	4347	2795	2814	2846	2375	2628
15	4424	4352	4046	4369	4128	2596	2545	2752	2399	2313
En Büyük	4424	4451	4913	4780	5242	2820	2871	3114	2958	2948
En Küçük	4251	4189	4046	4069	4128	2359	2363	2444	2375	2313
Ortalama	4359.2	4330.1	4343.1	4529.4	4768.9	2491.7	2692.1	2713.0	2688.9	2684.9
S. Sapma	53.9	71.2	209.3	163.6	314.1	149.80	190.33	191.21	223.62	170.32

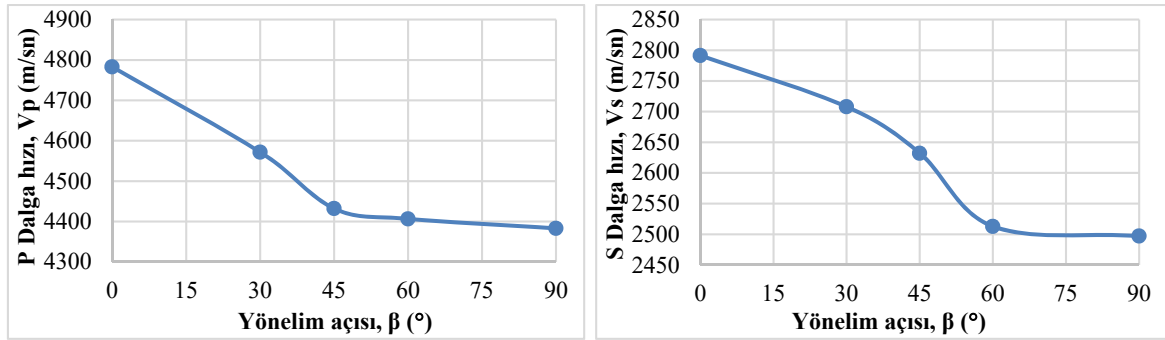


Şekil 3.12. Kuru örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında değişimi

Kuru örneklerin değişen yönelim açıları ile birlikte P dalga hızlarının 0°' den 45°' ye kadar önemli oranda azalma gösterdiği, 45°' den sonra neredeyse sabit kaldığı görülmüştür. S dalga hızının 90° yönelim açısında en düşük hızda olduğu, diğer yönelim açılarında ise hemen hemen aynı değerler aldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.9. %25 doygunluk derecesindeki örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri

Örnek No	Anizotropi									
	V _p (m/sn)					V _s (m/sn)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
16	4352	4303	4383	4522	4671	2889	2399	2846	2444	2934
17	4321	4414	4451	4749	4667	2541	2403	2874	2536	2647
18	4347	4383	4473	4796	4595	2470	2549	2851	2701	2536
19	4251	4497	4420	4716	4595	2549	2424	2568	2680	2904
20	4444	4383	4316	4638	4595	2424	2126	2829	2968	2874
21	4459	4420	4347	4563	4816	2593	2452	2848	2423	2753
22	4414	4431	4316	4459	4864	2383	2571	2851	2875	2755
23	4383	4352	4369	4566	4796	2399	2418	2448	2649	2732
24	4420	4451	4334	4671	5242	2435	2461	2136	2965	2889
25	4420	4508	4448	4638	5125	2444	2432	2452	2937	2918
26	4420	4414	4255	4548	4982	2487	2415	2761	2626	2831
27	4414	4316	4671	4563	5219	2474	2863	2208	2919	2930
28	4352	4451	5000	4554	4931	2410	2886	2857	2924	2829
29	4303	4427	4451	4214	4400	2427	2908	2465	2470	2831
30	4451	4352	4251	4383	4251	2536	2386	2491	2504	2513
En Büyük	4459	4508	5000	4796	5242	2889	2908	2874	2968	2934
En Küçük	4251	4303	4251	4214	4251	2383	2126	2136	2423	2513
Ortalama	4383.4	4406.8	4432.3	4572.0	4783.3	2497.4	2512.9	2632.3	2708.1	2791.7
S. Sapma	60.4	59.6	188.4	146.6	286.5	124.6	215.9	253.1	206.1	136.0

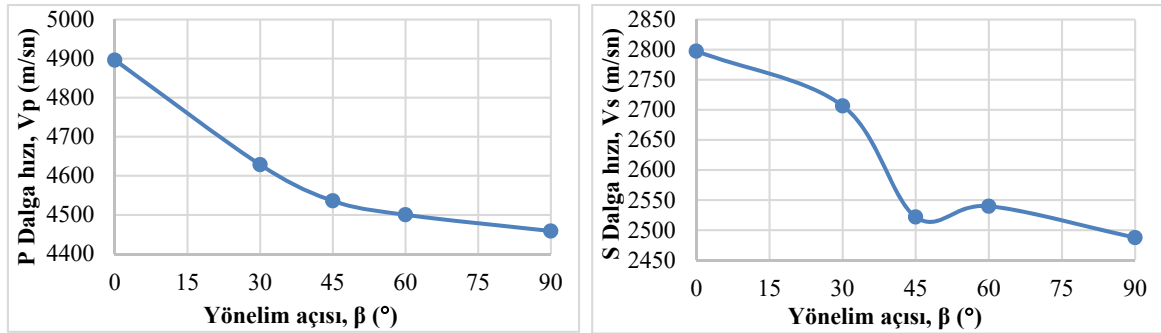


Şekil 3.13. Doygunluk derecesi %25 olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı yönelim açılarında değişimi

Doygunluk derecesi %25 olan örneklerin değişen yönelim açıları ile birlikte P ve S dalga hızlarında düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. En yüksek P ve S dalga hızı 0° yönelim açısına sahip örneklerde ölçülürken en düşük P ve S dalga hızı değerleri ise 90° yönelim açısına göre konumlanmış örneklerde ölçülmüştür.

Tablo 3.10. %50 doygunluk derecesindeki örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri

Örnek No	V _p (m/sn)					V _s (m/sn)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
31	4508	4508	4494	4522	4749	2495	2387	2298	2880	2934
32	4444	4554	4465	4847	4682	2414	2395	2453	2705	2911
33	4483	4522	4516	4796	5749	2895	2812	2478	2722	2669
34	4410	4554	4534	4716	4641	2407	2572	2478	2660	2946
35	4444	4551	4451	4638	4749	2470	2491	2465	2962	2874
36	4516	4505	4554	4623	4816	2593	2640	2415	2491	2785
37	4497	4571	4508	4531	4898	2457	2439	2892	2881	2804
38	4438	4476	4451	4581	4862	2436	2439	2440	2664	2717
39	4420	4451	4563	4749	5242	2382	2620	2394	2669	2907
40	4508	4566	4563	4638	5200	2461	2465	2461	2925	2912
41	4420	4469	4403	4563	4982	2461	2432	2365	2495	2831
42	4483	4383	4749	4669	5219	2509	2863	2536	2877	2930
43	4490	4479	4913	4598	4982	2414	2268	2874	2673	2863
44	4316	4498	4566	4438	4414	2457	2890	2540	2347	2558
45	4508	4420	4316	4522	4264	2465	2386	2741	2649	2324
En Büyük	4516	4571	4913	4847	5749	2895	2890	2892	2962	2946
En Küçük	4316	4383	4316	4438	4264	2382	2268	2298	2347	2324
Ortalama	4459.0	4500.5	4536.4	4628.7	4896.6	2487.7	2539.9	2522.0	2706.7	2797.7
S. Sapma	54.0	55.3	141.1	112.1	363.7	123.3	189.1	176.1	175.9	171.6

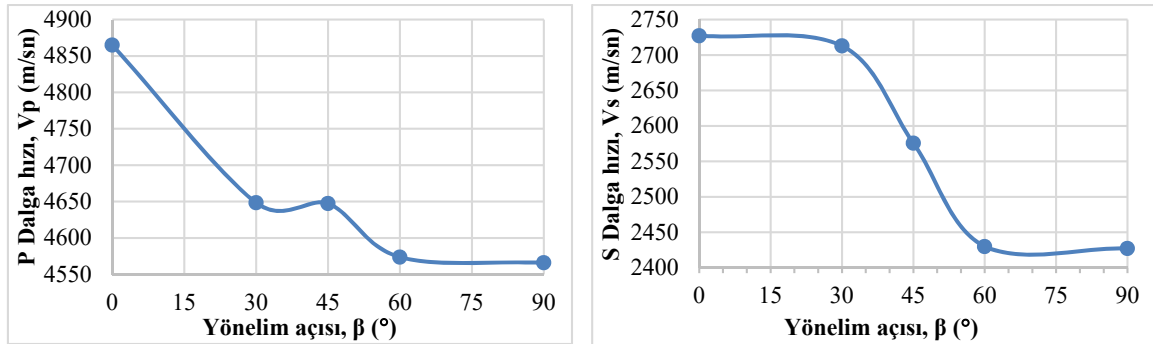


Şekil 3.14. Doygunluk derecesi %50 olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı yönelim açılarında değişimi

Doygunluk derecesi %50 olan örneklerin 0°' den 90°'ye değişen yönelim açıları ile birlikte P ve S dalga hızlarında düşüş gösterdiği gözlenmiştir. En yüksek P ve S dalga hızı 0° yönelim açısında, en düşük P ve S dalga hızı 90° yönelim açısında görülmüştür.

Tablo 3.11. %75 doygunluk derecesindeki örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri

Anizotropi										
Örnek No	V _p (m/sn)					V _s (m/sn)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
46	4638	4595	4595	4566	4749	2452	2387	2391	2415	2403
47	4590	4628	4671	4863	4762	2349	2340	2470	2726	2652
48	4628	4595	4605	4796	4830	2395	2320	2410	2727	2461
49	4551	4689	4716	4716	4749	2407	2356	2435	2650	2952
50	4514	4595	4522	4638	4749	2449	2892	2834	2665	2880
51	4531	4698	4628	4700	4816	2406	2469	2609	2635	2780
52	4628	4528	4671	4531	4948	2403	2449	2892	2962	2793
53	4508	4519	4548	4671	4879	2419	2406	2568	2910	2722
54	4476	4522	4716	4671	5242	2418	2440	2406	2922	2883
55	4522	4581	4638	4638	5219	2427	2436	2439	2937	2912
56	4505	4511	4473	4563	4982	2500	2428	2593	2680	2860
57	4643	4410	4830	4700	5219	2500	2367	2527	2495	2942
58	4563	4581	4982	4628	4982	2478	2363	2582	2936	2577
59	4522	4649	4595	4451	4469	2403	2434	2679	2351	2804
60	4671	4505	4522	4595	4383	2403	2362	2801	2684	2290
En Büyük	4671	4698	4982	4863	5242	2500	2892	2892	2962	2952
En Küçük	4476	4410	4473	4451	4383	2349	2320	2391	2351	2290
Ortalama	4566.0	4573.7	4647.5	4648.5	4865.2	2427.3	2429.9	2575.7	2713.0	2727.4
S. Sapma	61.9	76.5	129.6	103.2	249.4	41.6	135.4	163.0	193.9	207.8

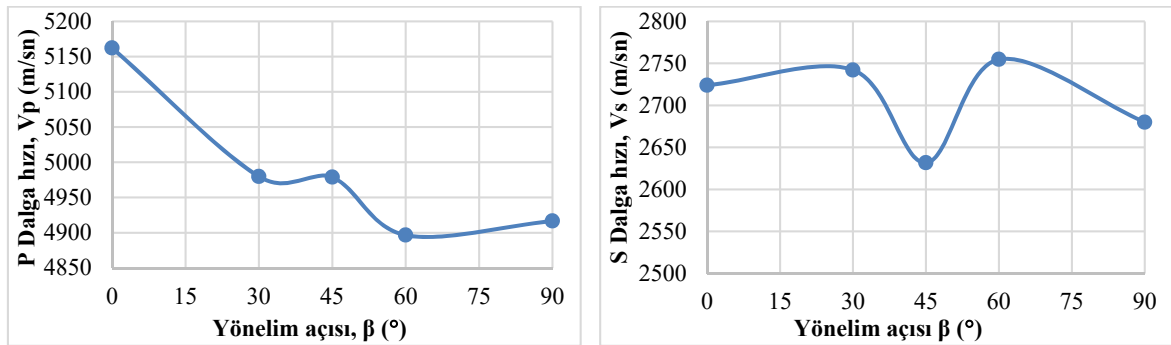


Şekil 3.15. Doygunluk derecesi %75 olan örneklerin P ve S dalga hızlarının farklı yönelim açılarında değişimi

Doygunluk derecesi %75 olan örneklerin değişen yönelim açıları ile birlikte P dalga hızlarında düşüş gösterdiği görülmüştür. S dalga hızlarının 30° yönelim açısından 60° yönelim açısına kadar önemli oranda düşüş gösterdiği, 60° ve 90° yönelim açılarında sabit bir hızda olduğu görülmüştür.

Tablo 3.12. Doygun örneklerin ($S_r = \%100$) P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında ölçülen değerleri

Anizotropi										
Örnek No	V _p (m/sn)					V _s (m/sn)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
61	4965	4897	5000	5182	5090	2727	2747	2763	2829	2790
62	5018	4864	5000	5125	5018	2734	2745	2801	2863	2767
63	4948	4863	4912	5146	5182	2787	2710	2703	2848	2559
64	4913	4864	5036	4965	5090	2741	2750	2809	2770	2768
65	4816	4931	4897	4965	4913	2470	2843	2747	2770	2705
66	4912	5000	4931	4965	5161	2718	2820	2436	2814	2897
67	5018	4948	4897	4930	5125	2809	2851	2448	2734	2535
68	4830	4862	4913	4913	5146	2461	2748	2419	2773	2854
69	4747	4700	4965	5000	5444	2461	2757	2456	2487	2655
70	4931	4913	4965	4879	5417	2483	2470	2738	2765	2698
71	4862	4948	4762	4965	5367	2759	2760	2667	2765	2951
72	4948	4830	5279	5054	5417	2798	2763	2615	2775	2718
73	5018	5071	5379	4948	5279	2759	2823	2705	2771	2958
74	4913	4964	5000	4749	4783	2752	2786	2757	2367	2653
75	4913	4796	4749	4913	5000	2741	2748	2411	2801	2351
En Büyük	5018	5071	5379	5182	5444	2809	2851	2809	2863	2958
En Küçük	4747	4700	4749	4749	4783	2461	2470	2411	2367	2351
Ortalama	4916.8	4896.7	4979.0	4979.9	5162.1	2680.0	2754.7	2631.7	2742.1	2723.9
S. Sapma	77.8	88.7	164.7	110.9	194.6	134.3	88.8	152.7	134.5	163.5

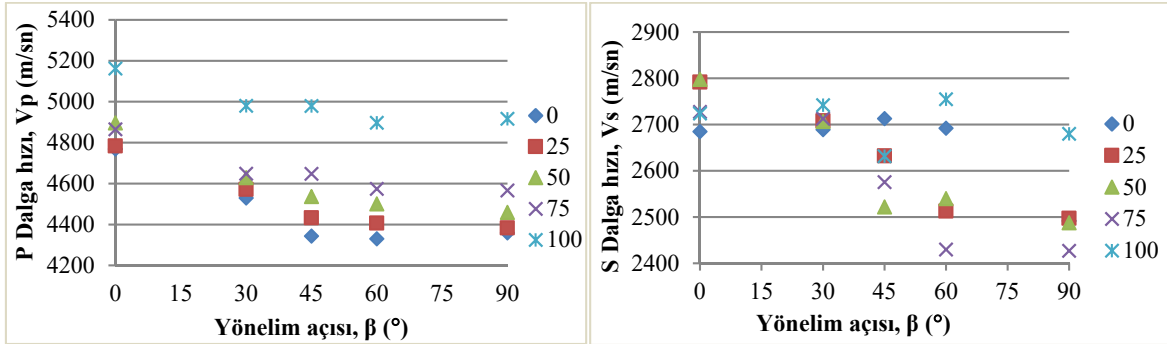


Şekil 3.16. Doygun örneklerin örneklerin P ve S dalga hızlarının değişen yönelim açılarında değişimi

Doygun örneklerin değişen yönelim açıları ile birlikte P dalga hızlarında düşüş gösterdiği görülmüştür.

Genel olarak hemen hemen her doyunluk koşulu için laminalanmaya paralel örneklerde hem P hem de S dalga hızları daha yüksek değerlerde iken laminalanmaya dik konumlanmış örneklerde daha düşük dalga hızı değerleri ölçülmüştür.

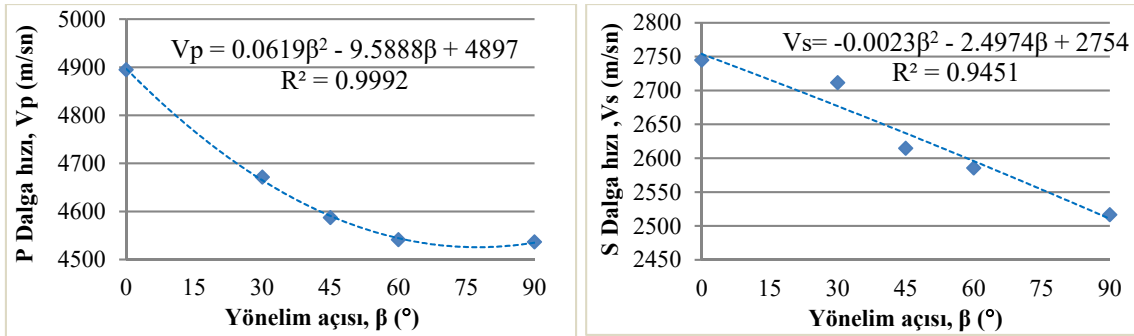
Farklı doygunluk koşullarına sahip örneklerin değişen yönelim açılarında ölçülen P ve S dalga hızı ortalama değerlerinin değişim grafiği aşağıda Şekil 3.17’ de verilmiştir.



Şekil 3.17. Farklı doygunluk koşuluna göre örneklerin değişen yönelim açılarında ölçülen P ve S dalga hızı değerlerinin değişimi

Şekil 3.17 incelendiğinde her doygunluk için P dalga hızlarının 0°’ den 90°’ye değişen yönelim açıları ile azalış gösterdiği ve doygun örneklerde kuru örneklerle göre P dalga hızı değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. S dalga hızı için aynı şeyleri söylemek söz konusu değildir. Genel olarak yönelim açısı 0° olan örneklerin S dalga hızı değerleri 90° yönelim açısına sahip örneklerden daha yüksektir.

Farklı doygunluk koşulları göz ardı edilerek sadece değişen yönelim açılarındaki ortalama değerler dikkate alındığında aşağıdaki grafikler elde edilmiştir (Şekil 3.18).



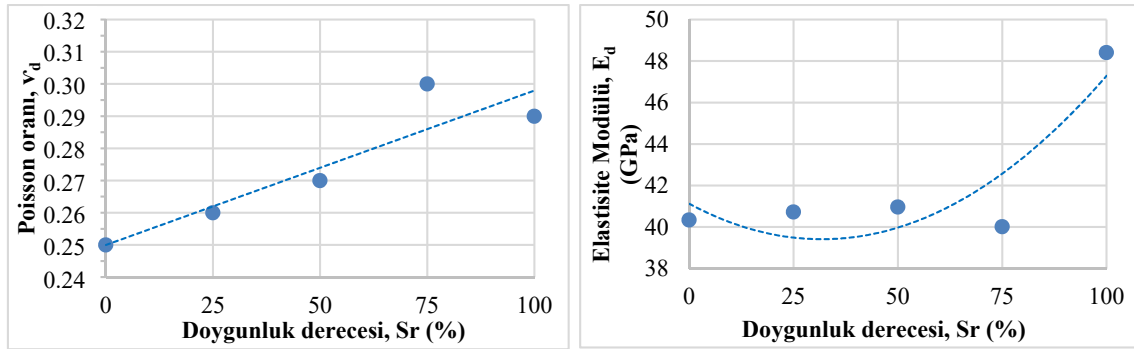
Şekil 3.18. Doymunluk koşulu dikkate alınmadan değişen yönelim açılarında ortalama değerlerin değişimi

Ortalama değerler dikkate alındığında hem ortalama P hem de ortalama S dalga hızlarının değişen yönelim açıları ile birlikte azaldığı gözlemlenmiştir.

Deney örneklerinin P ve S dalga hızları ve yoğunluk değerlerinden hareketle daha önce 2. Bölüm’ de verilen eşitlik (2.10-2.11) yardımı ile dinamik elastisite modülü (E_d) ve dinamik poisson oranı (ν_d) değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.13-3.22) ve benzer şekilde değişim grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 3.19-3.32).

Tablo 3.13. Yönelim açısı (β) 90° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	%Sr					E_d (GPa)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
1	0.14	0.11	0.28	0.31	0.28	47.04	48.04	41.48	40.96	49.96
2	0.26	0.24	0.29	0.32	0.29	39.45	41.52	39.18	38.07	50.41
3	0.29	0.26	0.14	0.32	0.27	37.43	40.04	49.86	39.40	51.50
4	0.26	0.22	0.29	0.31	0.27	38.58	41.18	38.83	39.43	50.05
5	0.28	0.29	0.28	0.29	0.32	39.20	39.35	40.53	40.36	42.15
6	0.29	0.24	0.25	0.30	0.28	37.87	43.47	43.84	39.29	49.36
7	0.28	0.29	0.29	0.32	0.27	39.66	38.13	40.36	39.51	52.37
8	0.30	0.29	0.28	0.30	0.32	37.43	38.48	39.66	39.57	41.93
9	0.27	0.28	0.30	0.29	0.32	38.79	39.50	38.22	39.39	41.63
10	0.28	0.28	0.29	0.30	0.33	39.33	39.84	40.68	39.92	42.95
11	0.29	0.27	0.28	0.28	0.26	38.28	40.87	40.27	41.68	50.30
12	0.22	0.27	0.27	0.30	0.26	44.22	40.50	41.72	42.25	51.80
13	0.27	0.28	0.30	0.29	0.28	38.88	38.70	39.41	41.39	51.16
14	0.12	0.27	0.26	0.30	0.27	45.45	39.03	39.65	39.28	50.41
15	0.24	0.26	0.29	0.32	0.27	43.44	42.26	40.82	39.84	50.17
En Büyük	0.30	0.29	0.30	0.32	0.33	47.04	48.04	49.86	42.25	52.37
En Küçük	0.12	0.11	0.14	0.28	0.26	37.43	38.13	38.22	38.07	41.63
Ortalama	0.25	0.26	0.27	0.30	0.29	40.34	40.73	40.97	40.02	48.41
S. Sapma	0.05	0.05	0.04	0.01	0.02	3.09	2.50	2.81	1.11	3.98

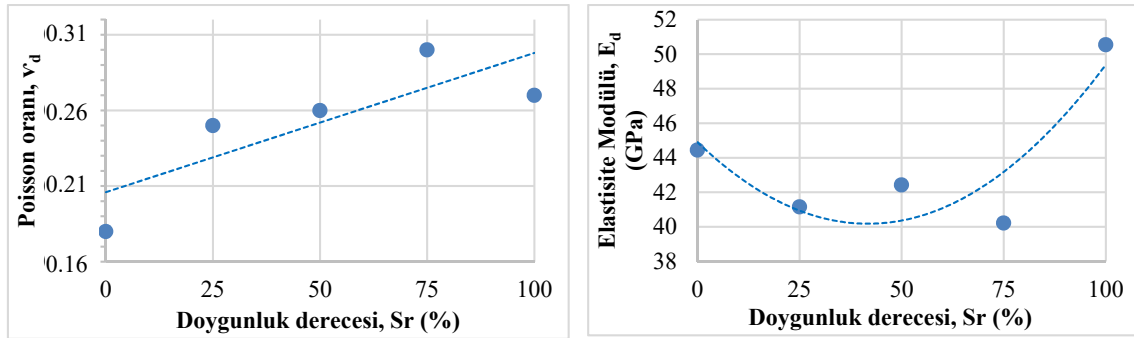


Şekil 3.19. Yönelim açısı (β) 90° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında değişimi

Yönelim açısı 90° olan örneklerin doygunluk derecesi arttıkça dinamik poisson oranının arttığı görülmüştür. Dinamik elastisite modülünün ise %75 doygunluk derecesinden sonra önemli derecede artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3.14. Yönelim açısı (β) 60° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	%Sr					E_d (GPa)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
16	0.27	0.27	0.31	0.32	0.27	36.72	38.19	38.77	39.16	50.22
17	0.23	0.29	0.31	0.33	0.27	41.19	38.80	39.18	38.03	50.03
18	0.14	0.24	0.18	0.33	0.27	44.88	42.16	48.92	37.43	49.13
19	0.26	0.30	0.27	0.33	0.27	39.02	39.69	43.74	38.68	50.21
20	0.12	0.35	0.29	0.17	0.25	48.01	31.81	41.77	51.37	53.16
21	0.14	0.28	0.24	0.31	0.27	48.94	40.24	45.26	41.90	53.05
22	0.13	0.25	0.30	0.29	0.25	48.24	43.12	40.54	40.69	53.53
23	0.12	0.28	0.29	0.30	0.27	47.28	39.02	40.11	39.50	50.22
24	0.14	0.28	0.23	0.29	0.24	48.14	40.63	44.47	40.50	49.59
25	0.24	0.29	0.29	0.30	0.33	43.57	39.94	41.06	40.42	42.57
26	0.27	0.29	0.29	0.30	0.27	38.13	39.14	39.84	39.98	50.95
27	0.13	0.11	0.13	0.30	0.26	45.33	47.52	48.46	38.17	50.55
28	0.13	0.14	0.33	0.32	0.28	48.34	49.53	35.74	38.60	53.46
29	0.14	0.12	0.15	0.31	0.27	47.11	49.43	50.10	40.63	51.73
30	0.24	0.29	0.29	0.31	0.26	41.89	38.22	38.53	38.29	49.83
En Büyük	0.27	0.35	0.33	0.33	0.33	48.94	49.53	50.10	51.37	53.53
En Küçük	0.12	0.11	0.13	0.17	0.24	36.72	31.81	35.74	37.43	42.57
Ortalama	0.18	0.25	0.26	0.30	0.27	44.26	41.16	42.43	40.22	50.55
S. Sapma	0.06	0.07	0.06	0.04	0.02	4.46	4.69	4.25	3.33	2.67

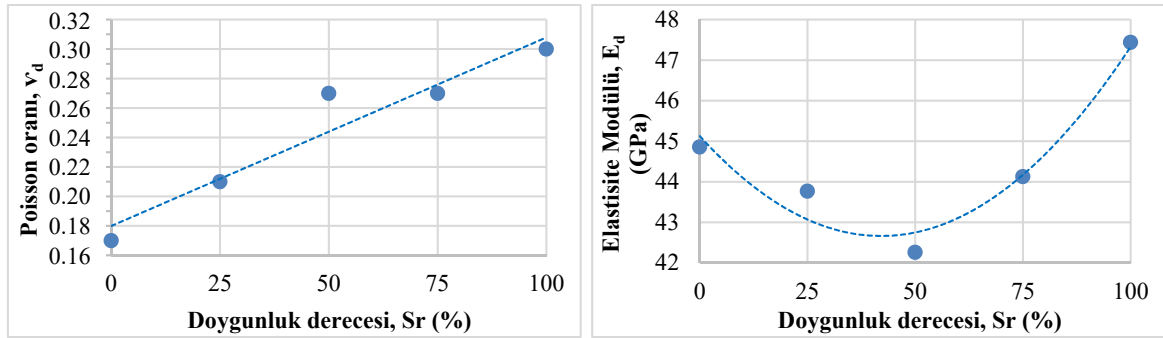


Şekil 3.20. Yönelim açısı (β) 60° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında değişimi

Yönelim açısı 60° olan örneklerin doygunluk derecesi arttıkça dinamik poisson oranının arttığı görülmüştür. Dinamik elastisite modülünün ise %75 doygunluk derecesinden sonra önemli derecede artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3.15. Yönelim açısı (β) 45° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	%Sr					E_d (GPa)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
31	0.11	0.14	0.32	0.31	0.28	45.61	47.71	36.29	39.11	51.04
32	0.11	0.14	0.28	0.31	0.27	48.40	49.09	40.23	41.57	52.18
33	0.20	0.16	0.28	0.31	0.28	45.23	49.23	41.31	39.96	49.31
34	0.27	0.25	0.29	0.32	0.27	40.25	42.94	41.38	40.97	52.91
35	0.11	0.12	0.28	0.18	0.27	44.32	46.91	40.60	49.47	50.32
36	0.12	0.12	0.30	0.27	0.34	44.87	47.49	39.68	45.08	41.63
37	0.23	0.11	0.15	0.19	0.33	40.60	47.10	50.16	51.96	41.86
38	0.15	0.27	0.29	0.27	0.34	45.79	39.49	39.71	43.41	40.89
39	0.24	0.34	0.31	0.32	0.34	38.56	31.83	39.16	40.08	42.31
40	0.13	0.28	0.29	0.31	0.28	47.12	40.28	41.05	40.83	50.51
41	0.22	0.14	0.30	0.25	0.27	39.93	45.23	37.94	43.94	47.53
42	0.29	0.36	0.30	0.31	0.34	42.30	34.74	43.98	44.10	48.26
43	0.16	0.26	0.24	0.32	0.33	59.56	54.22	54.13	46.44	51.62
44	0.15	0.28	0.28	0.24	0.28	48.35	40.27	42.72	46.37	50.84
45	0.07	0.24	0.16	0.19	0.33	42.03	39.98	45.50	48.72	40.38
En Büyük	0.29	0.36	0.32	0.32	0.34	59.56	54.22	54.13	51.96	52.91
En Küçük	0.07	0.11	0.15	0.18	0.27	38.56	31.83	36.29	39.11	40.38
Ortalama	0.17	0.21	0.27	0.27	0.30	45.36	43.77	42.26	44.13	47.44
S. Sapma	0.07	0.08	0.05	0.05	0.03	6.21	5.99	4.66	3.87	4.63

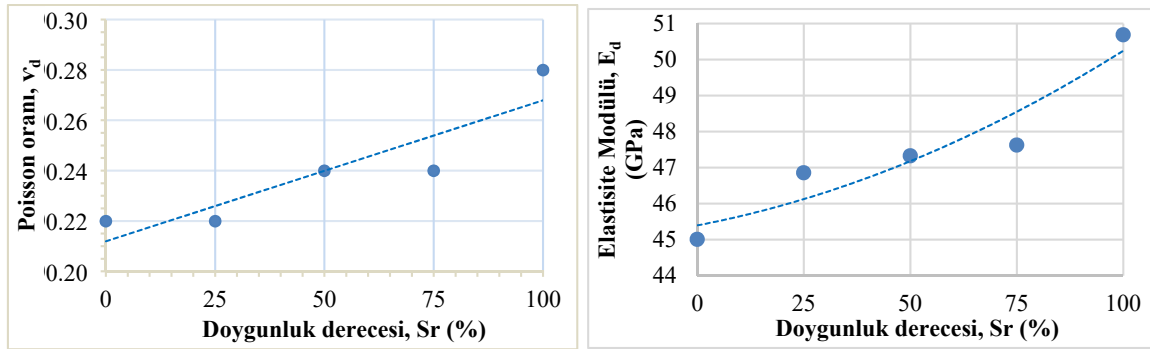


Şekil 3.21. Yönelim açısı (β) 45° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında değişimi

Yönelim açısı 45° olan örneklerin doygunluk derecesi arttıkça poisson oranının arttığı görülmüştür. Elastisite modülünün %50 doygunluk derecesine kadar azaldığı, %50 doygunluktan sonra %100 doygunluğa kadar arttığı görülmüştür.

Tablo 3.16. Yönelim açısı (β) 30° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	%Sr					%Sr				
	ν_d					E_d (GPa)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
46	0.30	0.29	0.16	0.31	0.29	38.27	40.26	50.15	39.80	54.03
47	0.17	0.30	0.27	0.27	0.27	53.28	43.77	48.83	49.54	54.90
48	0.26	0.27	0.26	0.26	0.28	48.52	48.41	49.01	49.21	54.60
49	0.29	0.26	0.27	0.27	0.27	43.39	47.46	46.98	46.79	51.46
50	0.18	0.15	0.16	0.25	0.27	32.81	53.20	53.15	46.73	51.45
51	0.17	0.30	0.30	0.27	0.26	50.53	40.15	42.20	46.39	52.74
52	0.30	0.14	0.16	0.13	0.28	38.89	49.64	50.61	52.01	50.38
53	0.18	0.25	0.24	0.18	0.27	49.26	45.85	46.34	52.63	51.31
54	0.19	0.16	0.27	0.18	0.34	51.31	53.34	47.24	52.63	43.34
55	0.19	0.17	0.17	0.17	0.26	51.39	52.64	52.46	52.74	50.83
56	0.16	0.25	0.29	0.24	0.28	49.51	45.19	42.03	46.67	51.36
57	0.27	0.15	0.19	0.30	0.28	42.79	51.39	51.71	42.52	51.97
58	0.17	0.15	0.24	0.16	0.27	50.70	51.49	46.64	52.66	51.41
59	0.24	0.24	0.31	0.31	0.33	36.40	39.37	37.55	37.78	39.22
60	0.28	0.26	0.24	0.24	0.26	38.15	40.77	45.00	46.35	51.39
En Büyük	0.30	0.30	0.31	0.31	0.34	53.28	53.34	53.15	52.74	54.90
En Küçük	0.16	0.14	0.16	0.13	0.26	32.81	39.37	37.55	37.78	39.22
Ortalama	0.22	0.22	0.24	0.24	0.28	44.78	46.86	47.33	47.63	50.69
S. Sapma	0.06	0.06	0.05	0.06	0.02	7.24	5.09	4.31	4.76	4.13

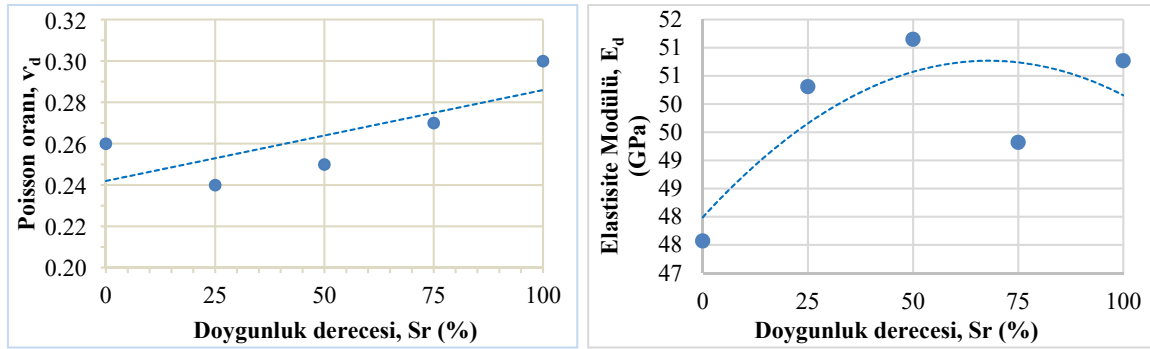


Şekil 3.22. Yönelim açısı (β) 30° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında değişimi

Yönelim açısı 30° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülü değerlerinin doygunluk derecesindeki artışa bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.17. Yönelim açısı (β) 0° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

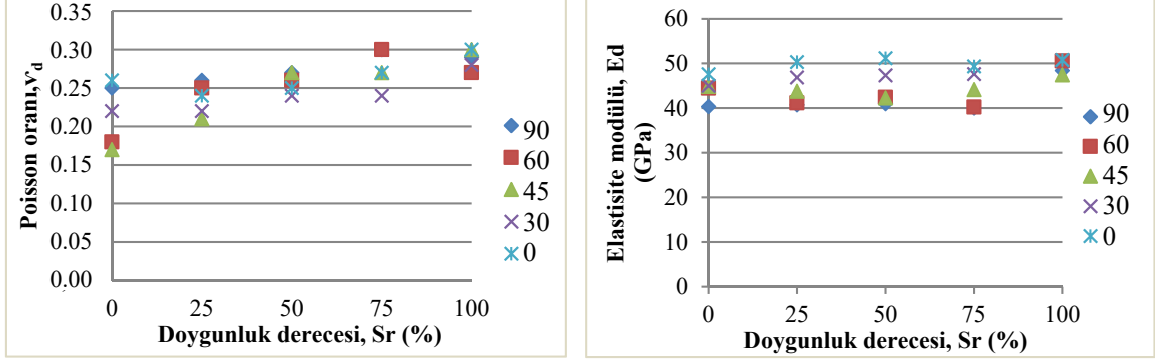
Örnek No	%Sr					%Sr				
	ν_d					E_d (GPa)				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
61	0.18	0.17	0.19	0.33	0.29	51.76	52.34	53.18	39.83	52.13
62	0.31	0.26	0.18	0.28	0.28	39.91	45.96	52.22	46.72	51.27
63	0.24	0.28	0.36	0.32	0.34	46.31	43.04	50.77	42.02	46.05
64	0.26	0.17	0.16	0.19	0.29	44.58	51.02	52.33	53.70	51.55
65	0.27	0.18	0.21	0.21	0.28	43.20	50.19	51.64	51.87	48.69
66	0.25	0.26	0.25	0.25	0.27	49.82	49.59	50.46	50.40	55.75
67	0.27	0.26	0.26	0.27	0.34	48.99	49.74	51.27	51.33	44.81
68	0.27	0.26	0.27	0.27	0.28	47.50	48.93	48.94	49.24	54.46
69	0.29	0.28	0.28	0.28	0.34	55.16	56.08	56.63	55.97	49.80
70	0.32	0.26	0.27	0.27	0.34	50.24	56.51	56.82	56.99	51.36
71	0.31	0.26	0.26	0.25	0.28	47.95	52.88	52.92	53.76	58.66
72	0.25	0.27	0.27	0.27	0.33	56.97	57.11	57.14	57.53	51.72
73	0.26	0.25	0.25	0.32	0.27	52.22	52.72	53.97	46.01	58.61
74	0.21	0.15	0.25	0.18	0.28	43.57	47.97	42.66	48.41	47.25
75	0.27	0.23	0.29	0.31	0.36	35.38	40.54	36.33	36.00	39.42
En Büyük	0.32	0.28	0.36	0.33	0.36	56.97	57.11	57.14	57.53	58.66
En Küçük	0.18	0.15	0.16	0.18	0.27	35.38	40.54	36.33	36.00	39.42
Ortalama	0.26	0.24	0.25	0.27	0.30	47.41	50.31	51.15	49.32	50.77
S. Sapma	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	6.56	4.71	5.43	6.33	5.14



Şekil 3.23. Yönelim açısı (β) 0° olan örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün farklı doygunluk koşullarında değişimi

Yönelim açısı 0° olan örneklerin poisson oranının artan doygunluk derecelerinde arttığı gözlenmiştir. Elastisite modülünün %50 doygunluk derecesine kadar arttığı %50 doygunluktan sonra düştüğü, %100 doygunlukta tekrar arttığı gözlenmiştir.

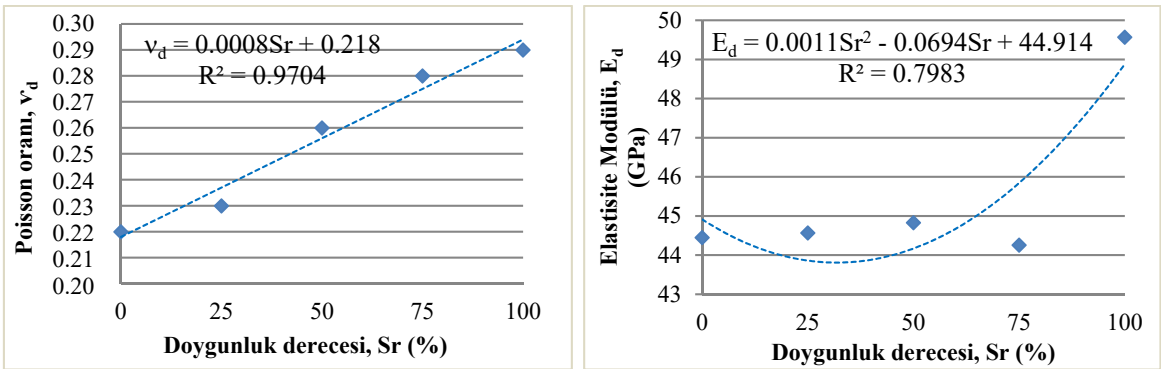
Farklı yönelim açılarında sahip örneklerin değişen doygunluk koşullarında hesaplanan dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülü ortalama değerlerinin değişim grafiği aşağıda Şekil 3.24' te verilmiştir.



Şekil 3. 24. Farklı yönelim açılarında göre konumlandırılan örneklerin değişen doynunluk koşullarında hesaplanan dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülü değerlerinin değişimi

Şekil 3.24 incelendiğinde her yönelim açısı için dinamik poisson oranı değerlerinin artan doynunluk koşulları ile artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Dinamik elastisite modülü değerlerinin artan doynunluk koşullarında kısmen arttığı görülmektedir. Benzer şekilde yönelim açısı 0° olan örneklerin 90° olan örneklerden daha yüksek dinamik elastisite modülü değeri gösterdiği görülmektedir.

Anizotropi durumu dikkate alınmaksızın sadece farklı doynunluk koşullarındaki ortalama değerlere göre aşağıdaki grafikler elde edilmiştir (Şekil 3.25).

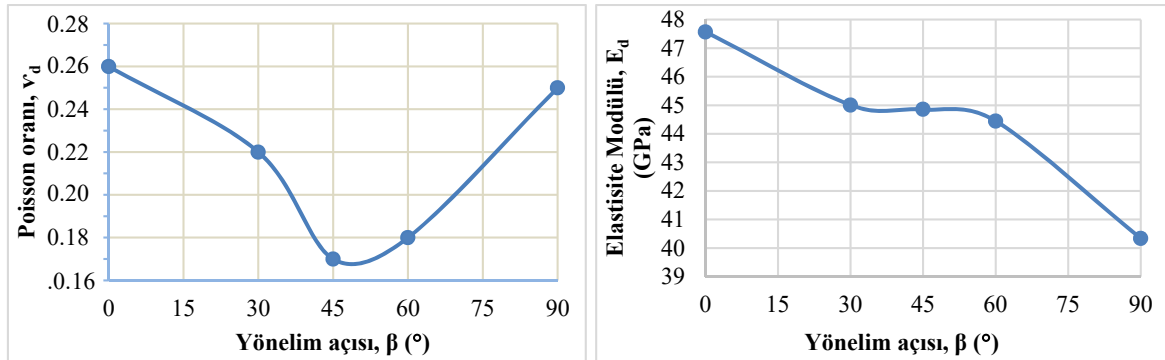


Şekil 3.25. Anizotropi durumu dikkate alınmadan farklı doynunluk koşullarındaki ortalama değerlerin değişimi

Ortalama değerler dikkate alındığında dinamik poisson oranının artan doynunlukla birlikte artış gösterdiği, bununla birlikte ortalama dinamik elastisite modülü değerlerinin ise hemen hemen %75 doynunluk derecesine kadar aynı aralıkta kaldığı, doynun koşullarda ise belirgin miktarda arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.18. Kuru örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Anizotropi										
Örnek No	ν_d					E_d (GPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
1	0.14	0.27	0.11	0.30	0.18	47.04	36.72	45.61	38.27	51.76
2	0.26	0.23	0.11	0.17	0.31	39.45	41.19	48.40	53.28	39.91
3	0.29	0.14	0.20	0.26	0.24	37.43	44.88	45.23	48.52	46.31
4	0.26	0.26	0.27	0.29	0.26	38.58	39.02	40.25	43.39	44.58
5	0.28	0.12	0.11	0.18	0.27	39.20	48.01	44.32	32.81	43.20
6	0.29	0.14	0.12	0.17	0.25	37.87	48.94	44.87	50.53	49.82
7	0.28	0.13	0.23	0.30	0.27	39.66	48.24	40.60	38.89	48.99
8	0.30	0.12	0.15	0.18	0.27	37.43	47.28	45.79	49.26	47.50
9	0.27	0.14	0.24	0.19	0.29	38.79	48.14	38.56	51.31	55.16
10	0.28	0.24	0.13	0.19	0.32	39.33	43.57	47.12	51.39	50.24
11	0.29	0.27	0.22	0.16	0.31	38.28	38.13	39.93	49.51	47.95
12	0.22	0.13	0.29	0.27	0.25	44.22	45.33	42.30	42.79	56.97
13	0.27	0.13	0.16	0.17	0.26	38.88	48.34	59.56	50.70	52.22
14	0.12	0.14	0.15	0.24	0.21	45.45	47.11	48.35	36.40	43.57
15	0.24	0.24	0.07	0.28	0.27	43.44	41.89	42.03	38.15	35.38
En Büyük	0.30	0.27	0.29	0.30	0.32	47.04	48.94	59.56	53.28	56.97
En Küçük	0.12	0.12	0.07	0.16	0.18	37.43	36.72	38.56	32.81	35.38
Ortalama	0.25	0.18	0.17	0.22	0.26	40.34	44.45	44.86	45.01	47.57
S. Sapma	0.05	0.06	0.07	0.06	0.04	3.09	4.13	5.11	6.67	5.68

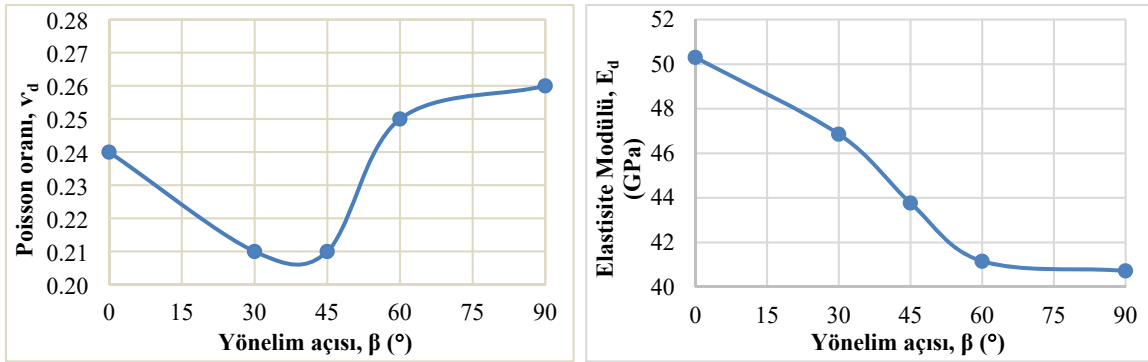


Şekil 3.26. Kuru örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişimi

Kuru örneklerin değişen yönelim açılarındaki dinamik poisson oranlarının 0° den 45° yönelim açısına kadar azaldığı, 90° yönelim açısına kadar arttığı gözlenmiştir. Dinamik elastisite modülü ise 0° den 90° yönelim açısına doğru azaldığı görülmüştür.

Tablo 3.19. %25 doygunluk derecesindeki örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Anizotropi										
Örnek No	ν_d					E_d (GPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
1	0.11	0.27	0.14	0.29	0.17	48.04	38.19	47.71	40.26	52.34
2	0.24	0.29	0.14	0.30	0.26	41.52	38.80	49.09	43.77	45.96
3	0.26	0.24	0.16	0.27	0.28	40.04	42.16	49.23	48.41	43.04
4	0.22	0.30	0.25	0.26	0.17	41.18	39.69	42.94	47.46	51.02
5	0.29	0.35	0.12	0.15	0.18	39.35	31.81	46.91	53.20	50.19
6	0.24	0.28	0.12	0.30	0.26	43.47	40.24	47.49	40.15	49.59
7	0.29	0.25	0.11	0.14	0.26	38.13	43.12	47.10	49.64	49.74
8	0.29	0.28	0.27	0.25	0.26	38.48	39.02	39.49	45.85	48.93
9	0.28	0.28	0.34	0.16	0.28	39.50	40.63	31.83	53.34	56.08
10	0.28	0.29	0.28	0.17	0.26	39.84	39.94	40.28	52.64	56.51
11	0.27	0.29	0.14	0.25	0.26	40.87	39.14	45.23	45.19	52.88
12	0.27	0.11	0.36	0.15	0.27	40.50	47.52	34.74	51.39	57.11
13	0.28	0.14	0.26	0.15	0.25	38.70	49.53	54.22	51.49	52.72
14	0.27	0.12	0.28	0.24	0.15	39.03	49.43	40.27	39.37	47.97
15	0.26	0.29	0.24	0.26	0.23	42.26	38.22	39.98	40.77	40.54
En Büyük	0.29	0.35	0.36	0.30	0.28	48.04	49.53	54.22	53.34	57.11
En Küçük	0.11	0.11	0.11	0.14	0.15	38.13	31.81	31.83	39.37	40.54
Ortalama	0.26	0.25	0.21	0.22	0.24	40.73	41.16	43.77	46.86	50.31
S. Sapma	0.05	0.07	0.08	0.06	0.05	2.50	4.69	5.99	5.09	4.71

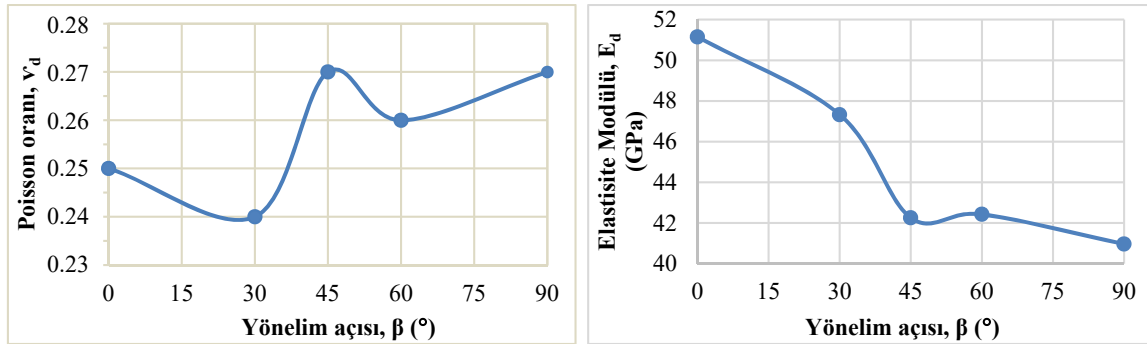


Şekil 3.27. Doygunluk derecesi %25 örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişimi

Doygunluk derecesi %25 örneklerin değişen yönelim açılarında dinamik poisson oranlarının 0° den 45° yönelim açısına doğru azaldığı, 45° den 90° yönelim açısına kadar arttığı gözlenmiştir. Dinamik elastisite modülünün ise 0° den 90° yönelim açısına doğru azaldığı görülmüştür.

Tablo 3.20. %50 doygunluk derecesindeki örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Anizotropi										
Örnek No	ν_d					E_d (GPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
1	0.28	0.31	0.32	0.16	0.19	41.48	38.77	36.29	50.15	53.18
2	0.29	0.31	0.28	0.27	0.18	39.18	39.18	40.23	48.83	52.22
3	0.14	0.18	0.28	0.26	0.36	49.86	48.92	41.31	49.01	50.77
4	0.29	0.27	0.29	0.27	0.16	38.83	43.74	41.38	46.98	52.33
5	0.28	0.29	0.28	0.16	0.21	40.53	41.77	40.60	53.15	51.64
6	0.25	0.24	0.30	0.30	0.25	43.84	45.26	39.68	42.20	50.46
7	0.29	0.30	0.15	0.16	0.26	40.36	40.54	50.16	50.61	51.27
8	0.28	0.29	0.29	0.24	0.27	39.66	40.11	39.71	46.34	48.94
9	0.30	0.23	0.31	0.27	0.28	38.22	44.47	39.16	47.24	56.63
10	0.29	0.29	0.29	0.17	0.27	40.68	41.06	41.05	52.46	56.82
11	0.28	0.29	0.30	0.29	0.26	40.27	39.84	37.94	42.03	52.92
12	0.27	0.13	0.30	0.19	0.27	41.72	48.46	43.98	51.71	57.14
13	0.30	0.33	0.24	0.24	0.25	39.41	35.74	54.13	46.64	53.97
14	0.26	0.15	0.28	0.31	0.25	39.65	50.10	42.72	37.55	42.66
15	0.29	0.29	0.16	0.24	0.29	40.82	38.53	45.50	45.00	36.33
En Büyük	0.30	0.33	0.32	0.31	0.36	49.86	50.10	54.13	53.15	57.14
En Küçük	0.14	0.13	0.15	0.16	0.16	38.22	35.74	36.29	37.55	36.33
Ortalama	0.27	0.26	0.27	0.24	0.25	40.97	42.43	42.26	47.33	51.15
S. Sapma	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	2.81	4.25	4.66	4.31	5.43

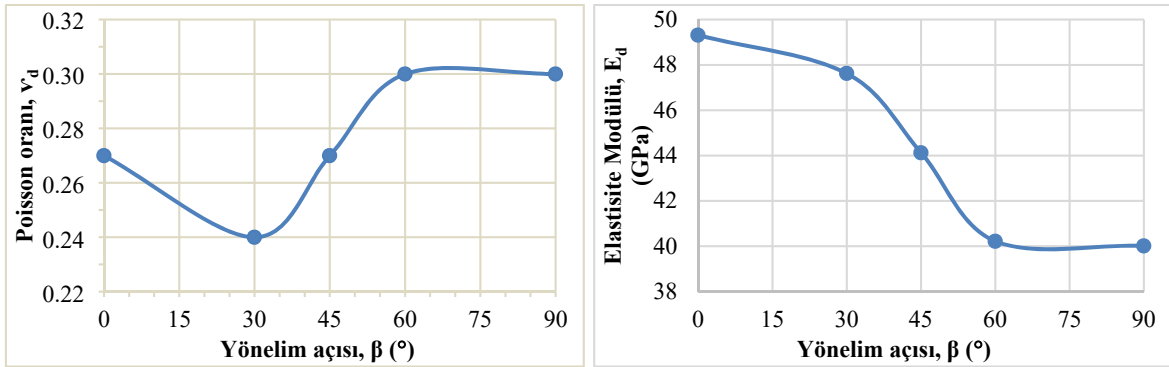


Şekil 3.28. Doygunluk derecesi %50 örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişimi

Doygunluk derecesi %50 olan örneklerin değişen yönelim açılarında dinamik poisson oranı değerlerinin farklılıklar sunduğu, dinamik elastisite modülü değerlerinin ise 0°' den 90° yönelim açısına doğru azalım gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 3.21. %75 doygunluk derecesindeki örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Örnek No	Anizotropi									
	ν					E (GPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
1	0.31	0.32	0.31	0.31	0.33	40.96	39.16	39.11	39.80	39.83
2	0.32	0.33	0.31	0.27	0.28	38.07	38.03	41.57	49.54	46.72
3	0.32	0.33	0.31	0.26	0.32	39.40	37.43	39.96	49.21	42.02
4	0.31	0.33	0.32	0.27	0.19	39.43	38.68	40.97	46.79	53.70
5	0.29	0.17	0.18	0.25	0.21	40.36	51.37	49.47	46.73	51.87
6	0.30	0.31	0.27	0.27	0.25	39.29	41.90	45.08	46.39	50.40
7	0.32	0.29	0.19	0.13	0.27	39.51	40.69	51.96	52.01	51.33
8	0.30	0.30	0.27	0.18	0.27	39.57	39.50	43.41	52.63	49.24
9	0.29	0.29	0.32	0.18	0.28	39.39	40.50	40.08	52.63	55.97
10	0.30	0.30	0.31	0.17	0.27	39.92	40.42	40.83	52.74	56.99
11	0.28	0.30	0.25	0.24	0.25	41.68	39.98	43.94	46.67	53.76
12	0.30	0.30	0.31	0.30	0.27	42.25	38.17	44.10	42.52	57.53
13	0.29	0.32	0.32	0.16	0.32	41.39	38.60	46.44	52.66	46.01
14	0.30	0.31	0.24	0.31	0.18	39.28	40.63	46.37	37.78	48.41
15	0.32	0.31	0.19	0.24	0.31	39.84	38.29	48.72	46.35	36.00
En Büyük	0.32	0.33	0.32	0.31	0.33	42.25	51.37	51.96	52.74	57.53
En Küçük	0.28	0.17	0.18	0.13	0.18	38.07	37.43	39.11	37.78	36.00
Ortalama	0.30	0.30	0.27	0.24	0.27	40.02	40.22	44.13	47.63	49.32
S. Sapma	0.01	0.04	0.05	0.06	0.05	1.11	3.33	3.87	4.76	6.33

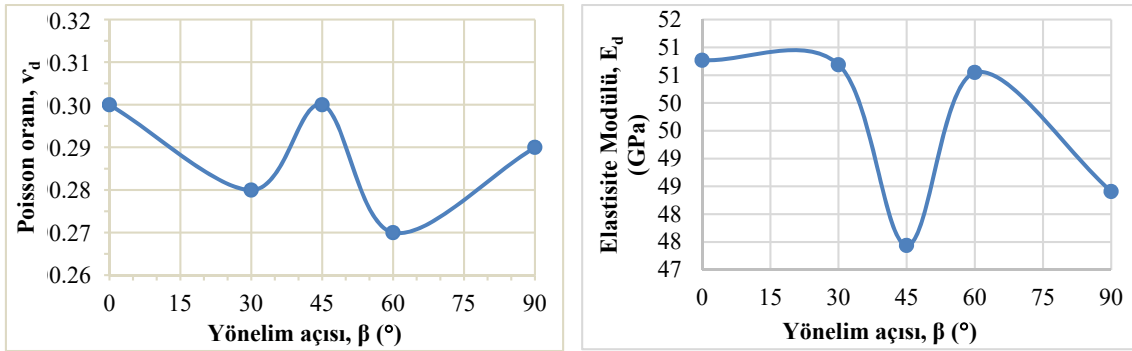


Şekil 3.29. Doygunluk derecesi %75 örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişim

%75 doygunluk koşulunda örneklerin dinamik poisson oranı 30°' den itibaren artmakta olup dinamik elastisite modülü değerleri ise 0°' den 90° yönelim açısına doğru azalmış göstermiştir.

Tablo 3.22. Doygun örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

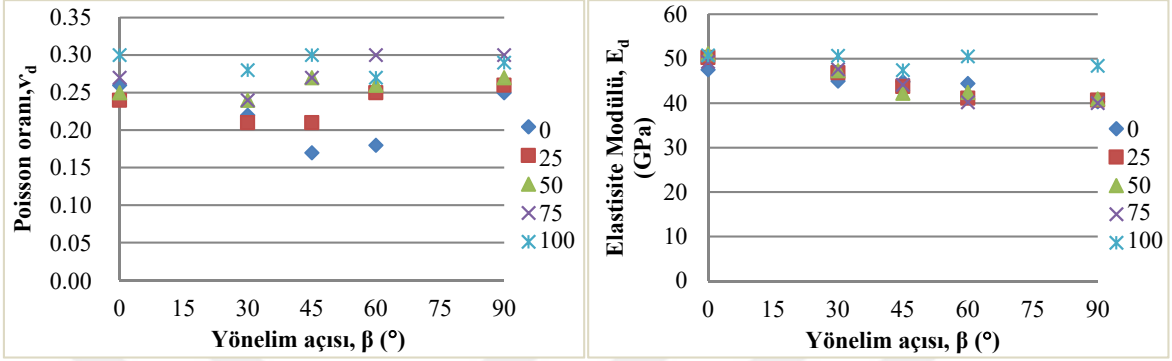
Anizotropi										
Örnek No	ν_d					E_d (GPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
1	0.28	0.27	0.28	0.29	0.29	49.96	50.22	51.04	54.03	52.13
2	0.29	0.27	0.27	0.27	0.28	50.41	50.03	52.18	54.90	51.27
3	0.27	0.27	0.28	0.28	0.34	51.50	49.13	49.31	54.60	46.05
4	0.27	0.27	0.27	0.27	0.29	50.05	50.21	52.91	51.46	51.55
5	0.32	0.25	0.27	0.27	0.28	42.15	53.16	50.32	51.45	48.69
6	0.28	0.27	0.34	0.26	0.27	49.36	53.05	41.63	52.74	55.75
7	0.27	0.25	0.33	0.28	0.34	52.37	53.53	41.86	50.38	44.81
8	0.32	0.27	0.34	0.27	0.28	41.93	50.22	40.89	51.31	54.46
9	0.32	0.24	0.34	0.34	0.34	41.63	49.59	42.31	43.34	49.80
10	0.33	0.33	0.28	0.26	0.34	42.95	42.57	50.51	50.83	51.36
11	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	50.30	50.95	47.53	51.36	58.66
12	0.26	0.26	0.34	0.28	0.33	51.80	50.55	48.26	51.97	51.72
13	0.28	0.28	0.33	0.27	0.27	51.16	53.46	51.62	51.41	58.61
14	0.27	0.27	0.28	0.33	0.28	50.41	51.73	50.84	39.22	47.25
15	0.27	0.26	0.33	0.26	0.36	50.17	49.83	40.38	51.39	39.42
En Büyük	0.33	0.33	0.34	0.34	0.36	52.37	53.53	52.91	54.90	58.66
En Küçük	0.26	0.24	0.27	0.26	0.27	41.63	42.57	40.38	39.22	39.42
Ortalama	0.29	0.27	0.30	0.28	0.30	48.41	50.55	47.44	50.69	50.77
S. Sapma	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	3.98	2.67	4.63	4.13	5.14



Şekil 3.30. Doygun örneklerin dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülünün değişen yönelim açılarındaki değişimi

Doygun örneklerin gerek dinamik poisson oranı gerekse dinamik elastisite modülü değerleri farklılıklar sunmakla birlikte 0°' den 90° yönelim açısına doğru azalım göstermiştir.

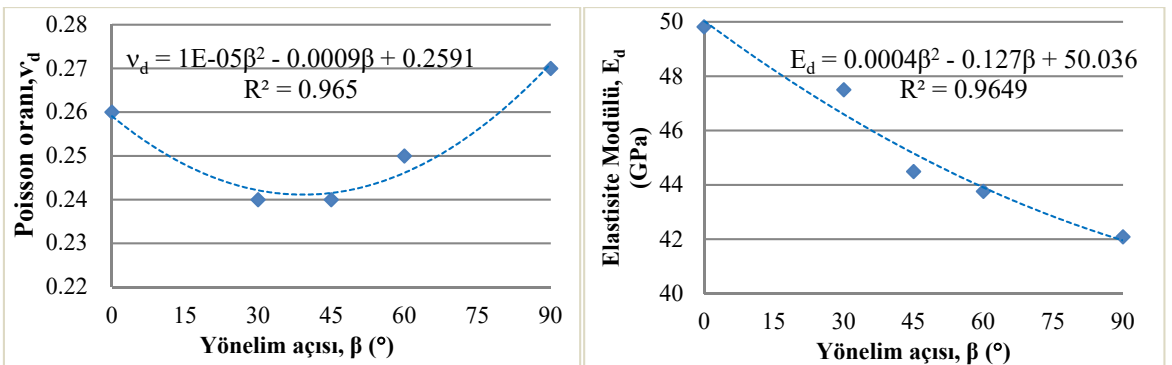
Farklı doygunluk koşullarına sahip örneklerin değişen yönelim açılarında hesaplanan dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülü ortalama değerlerinin değişim grafiği aşağıda Şekil 3.31’ de verilmiştir.



Şekil 3.31. Farklı doygunluk koşuluna göre örneklerin değişen yönelim açılarında hesaplanan dinamik poisson oranı ve dinamik elastisite modülü değerlerinin değişimi

Şekil 3.31 incelendiğinde dinamik poisson oranı değerlerinin yönelim açlarına göre değişim gösterdiği ancak bu değişimin düzensiz olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kuru örneklerin dinamik poisson oranı değerlerinin doygun örneklerle karşılaştırıldığında daha küçük değerler aldıkları tespit edilmiştir. Dinamik elastisite modülü değerleri ise laminalanmaya paralel örneklerde daha yüksek iken laminalanmaya dik konumdaki örneklerde daha düşük değerler almıştır. Benzer şekilde kuru örneklerin dinamik elastisite modülü değerleri de doygun örneklerden daha küçüktür.

Farklı doygunluk koşulları dikkate alınmaksızın değişen yönelim açılarındaki ortalama değerlere göre aşağıdaki grafikler elde edilmiştir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Doygunluk koşulu dikkate alınmadan değişen yönelim açılarında ortalama değerlerin değişimi

Ortalama değerler dikkate alındığında dinamik poisson oranının kısmen arttığı, dinamik elastisite modülünün ise değişen yönelim açıları ile birlikte azaldığı gözlemlenmiştir.

3.3.3. Kumtaşlarının Dayanım Özellikleri

3.3.3.1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

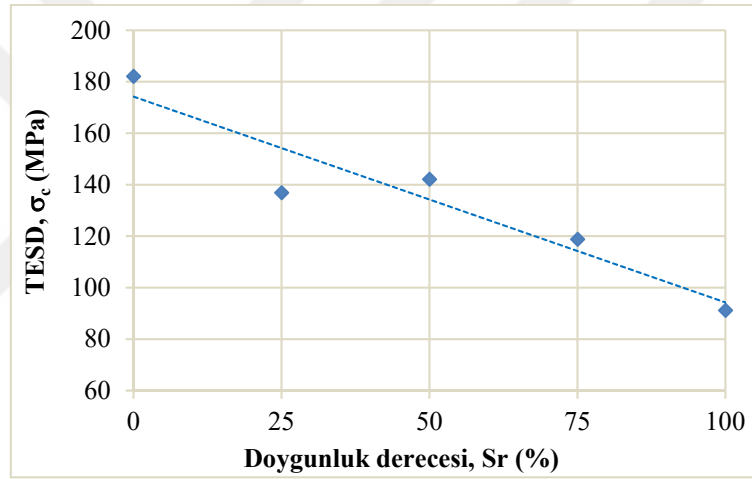
Bu çalışmada boyu çapının 2.5-3 katı olacak şekilde hazırlanan 0°, 30°, 45°, 60°, 90° yönelim açılarına sahip silindirik numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri belirlenirken ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Anizotropi durumu (0°, 30°, 45°, 60°, 90°) ve farklı doğunluk koşulu (%Sr 0, 25, 50, 75, 100) dikkate alınarak yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) her durum için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değişen yönelim açısına sahip örneklerin farklı doğunluk koşulları için belirlenen tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri Tablo 3.23-3.27' de ve bu değerler yardımı ile hazırlanan değişim grafikleri ise Şekil 3.33-3.37' de verilmiştir. Ayrıca farklı yönelim açılarına sahip örneklerin değişen doğunluk koşullarında belirlenen tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama değerleri değişim grafiği ve anizotropi durumu dikkate alınmaksızın sadece farklı doğunluk koşullarındaki ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin değişimi grafiklerde verilmiştir (Şekil 3.38-3.39). Benzer şekilde farklı doğunluk koşulu için farklı yönelim açısına sahip örneklerin belirlenen tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri Tablo 3.28-3.32' de ve bu ölçüm değerlerinden yararlanarak hazırlanan değişim grafikleri de Şekil 3.40-3.44' te verilmiştir. Ayrıca farklı doğunluk koşullarına sahip örneklerin farklı anizotropi koşulları için belirlenen tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama değerlerinin değişim grafiği ve doğunluk koşulu dikkate alınmaksızın sadece farklı yönelim açılarındaki tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama değerlerine ait grafikler hazırlanmıştır (Şekil 3.45-3.46).

Farklı yönelimlerdeki tek eksenli sıkışma dayanımlarının en büyük ve en küçük değerlerinin birbirlerine oranından elde edilen dayanım anizotropisi değeri 1.35 olarak elde edilmiştir. Bu duruma göre kumtaşlarının “düşük anizotropi” gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 3.23. Yönelim açısı (β) 90° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	%Sr				
	0	25	50	75	100
1	181.83	143.89	142.36	125.94	85.72
2	187.64	132.27	143.80	118.47	95.68
3	176.99	134.56	140.35	112.14	92.31
En Büyük	187.64	143.89	143.80	125.94	95.68
En Küçük	176.99	132.27	140.35	112.14	85.72
Ortalama	182.15	136.91	142.17	118.85	91.24
S. Sapma	5.33	6.16	1.73	6.91	5.07

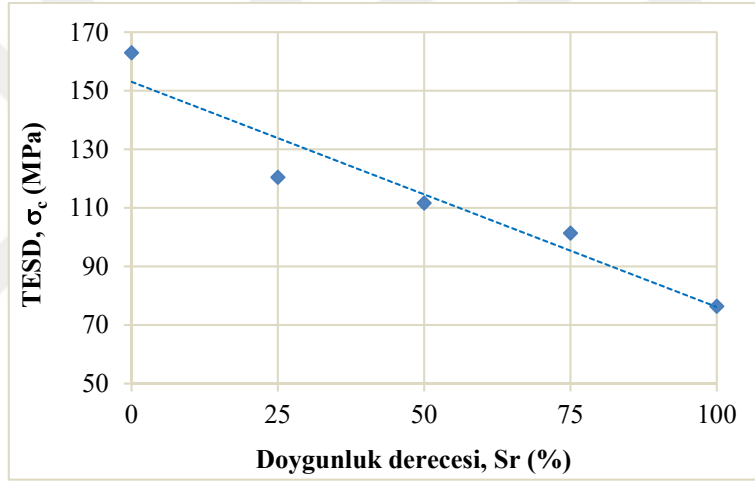


Şekil 3.33. Yönelim açısı (β) 90° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi

Yönelim açısı 90° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımları, doygunluk derecesi arttıkça azalım göstermiştir. 90° yönelim açısına sahip örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 91.24 MPa ile 182.15 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.24. Yönelim açısı (β) 60° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	%Sr				
	0	25	50	75	100
1	168.79	122.27	119.42	98.86	76.59
2	160.40	126.94	113.76	106.11	83.62
3	159.83	112.31	101.90	99.26	69.13
En Büyük	168.79	126.94	119.42	106.11	83.62
En Küçük	159.83	112.31	101.90	98.86	69.13
Ortalama	163.01	120.51	111.69	101.41	76.45
S. Sapma	5.02	7.47	8.94	4.08	7.25

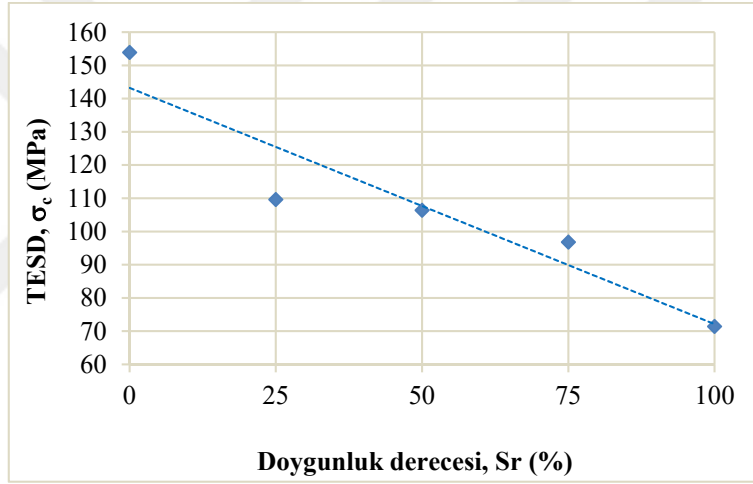


Şekil 3.34. Yönelim açısı (β) 60° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi

Yönelim açısı 60° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımları, doygunluk derecesi arttıkça azalım gösterdiği gözlemlenmiştir. 60° yönelim açısına sahip örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 76.45 MPa ile 163.01 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.25. Yönelim açısı (β) 45° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	%Sr				
	0	25	50	75	100
1	158.82	113.06	114.45	105.50	77.66
2	150.17	110.21	112.88	103.84	71.94
3	152.88	105.72	91.92	81.27	64.85
En Büyük	158.82	113.06	114.45	105.50	77.66
En Küçük	150.17	105.72	91.92	81.27	64.85
Ortalama	153.96	109.66	106.42	96.87	71.48
S. Sapma	4.42	3.70	12.58	13.54	6.42

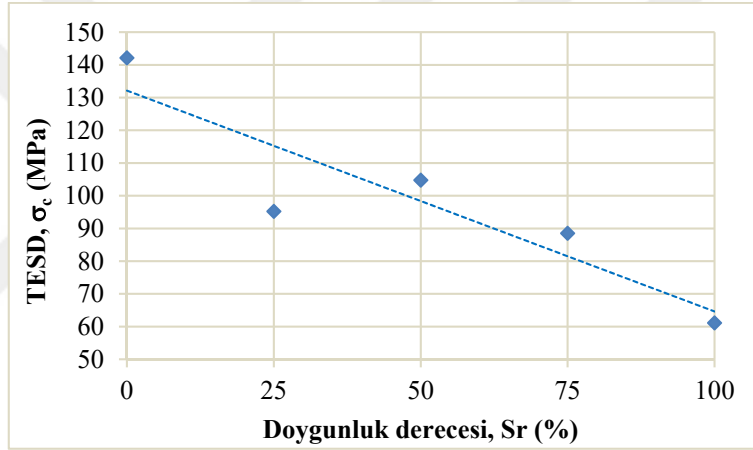


Şekil 3.35. Yönelim açısı (β) 45° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişim

Yönelim açısı 45° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımlarının doygunluk derecesi arttıkça azalım gösterdiği gözlemlenmiştir. 45° yönelim açısına sahip örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 71.48 MPa ile 153.96 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.26. Yönelim açısı (β) 30° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	%Sr				
	0	25	50	75	100
1	155.24	104.50	105.68	83.01	56.20
2	131.44	96.11	111.13	92.31	69.48
3	139.91	85.15	96.64	90.35	57.86
En Büyük	155.24	104.50	111.13	92.31	69.48
En Küçük	131.44	85.15	96.64	83.01	56.20
Ortalama	142.20	95.25	104.48	88.56	61.18
S. Sapma	12.06	9.70	7.32	4.90	7.24

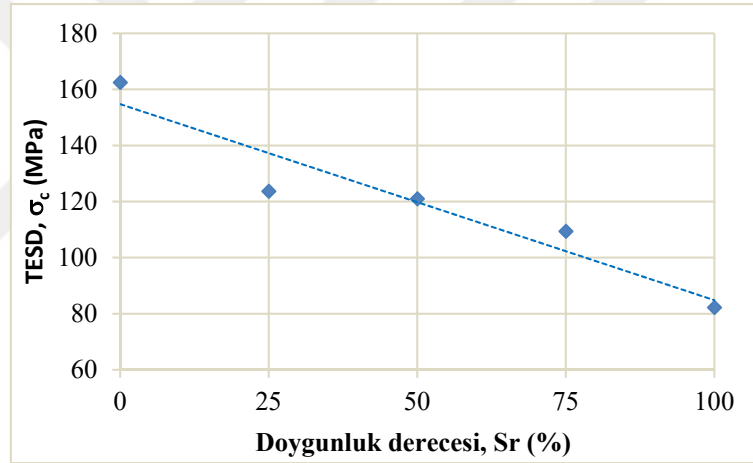


Şekil 3.36. Yönelim açısı (β) 30° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi

Yönelim açısı 30° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımlarının doygunluk derecesi arttıkça azalım gösterdiği görülmüştür. 30° yönelim açısına sahip örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 61.18 MPa ile 142.20 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu değerler aynı zamanda farklı yönelim açıları içerisinde belirlenen en küçük ortalama değerleri oluşturmaktadır.

Tablo 3.27. Yönelim açısı (β) 0° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

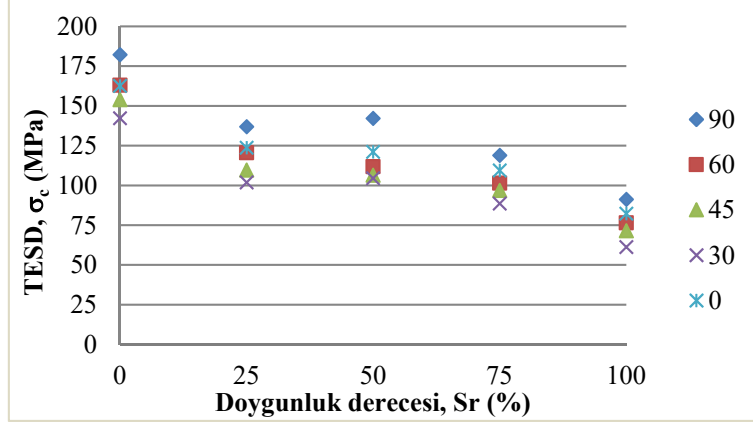
Örnek No	%Sr				
	0	25	50	75	100
1	156.44	121.31	130.35	101.62	80.92
2	169.24	117.30	118.25	107.55	87.51
3	161.96	132.49	114.59	119.17	78.47
En Büyük	169.24	132.49	130.35	119.17	87.51
En Küçük	156.44	117.30	114.59	101.62	78.47
Ortalama	162.55	123.70	121.06	109.45	82.30
S. Sapma	6.42	7.87	8.25	8.93	4.68



Şekil 3.37. Yönelim açısı (β) 0° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi

Yönelim açısı 0° olan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımlarının doygunluk derecesi arttıkça azalım gösterdiği gözlemlenmiştir. Yönelim açısı 0° olan örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 82.30 MPa ile 162.55 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

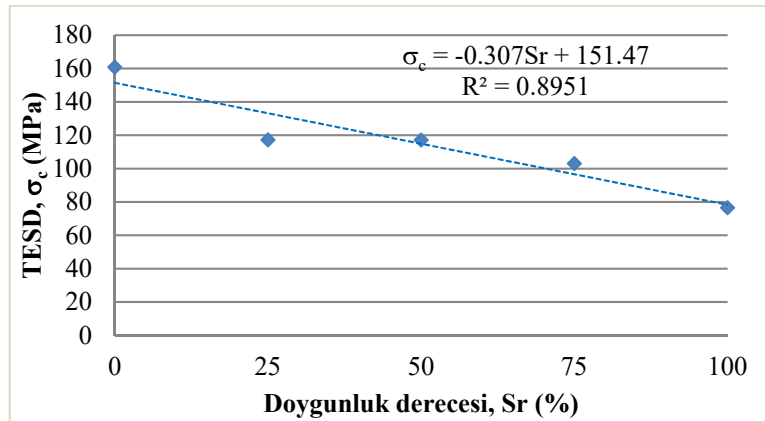
Değişen yönelim açılara sahip örneklerin farklı doygunluk koşullarında ölçülen tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama değerlerinin değişim grafiği aşağıda Şekil 3.38' de verilmiştir.



Şekil 3.38. Değişen yönelim açılarında ölçülen tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin doygunluk derecesine göre değişimi

Şekil 3.38 incelendiğinde tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin doygunluk derecesi arttıkça azalma gösterdiği gözlemlenmiştir. 90° yönelime sahip örneklerin diğer yönelim açılarındaki örneklerle göre daha yüksek dayanım gösterdiği, en düşük dayanımın ise 30° yönelime sahip örneklerde olduğu tespit edilmiştir.

Değişen yönelim açısı dikkate alınmaksızın sadece farklı doygunluk derecelerinin ortalama değerlerine göre değişimler incelendiğinde aşağıdaki grafik elde edilmiştir (Şekil 3.39).

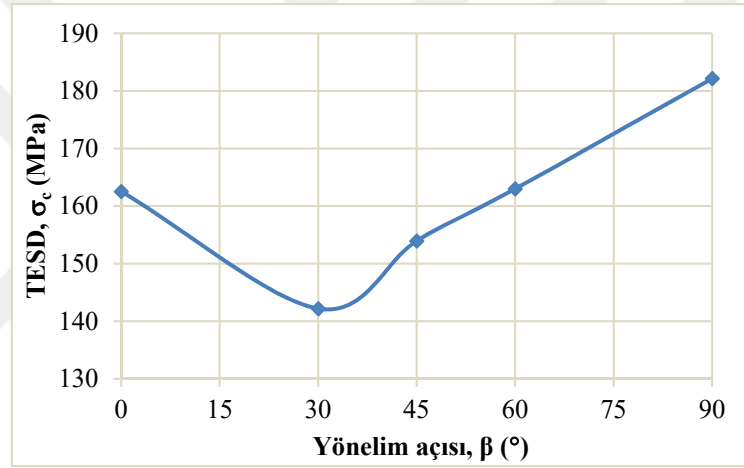


Şekil 3.39. Yönelim açısı dikkate alınmadan farklı doygunluk derecelerindeki ortalama değerlerin değişimi

Ortalama değerler dikkate alındığında tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin doygunluk derecesindeki artışa bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.28. Kuru örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Örnek No	Anizotropi σ_c (MPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°
1	181.83	168.79	158.82	155.24	156.44
2	187.64	160.40	150.17	131.44	169.24
3	176.99	159.83	152.88	139.91	161.96
En Büyük	187.64	168.79	158.82	155.24	169.24
En Küçük	176.99	159.83	150.17	131.44	156.44
Ortalama	182.15	163.01	153.96	142.20	162.55
S. Sapma	5.33	5.02	4.42	12.06	6.42

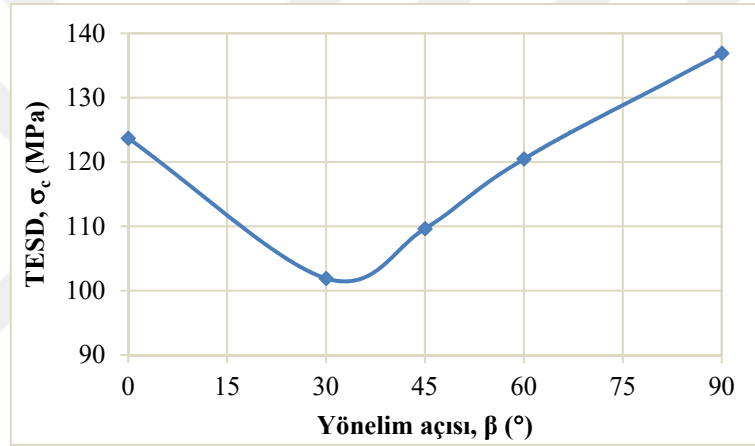


Şekil 3.40. Kuru örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi

Kuru örneklerde en düşük tek eksenli sıkışma dayanımının 30° yönelime sahip örneklerde olduğu, en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımının ise 90° yönelime sahip örneklerde olduğu gözlemlenmiştir. Kuru örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 142.20 MPa ile 182.15 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.29. Doygunluk derecesi %25 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Örnek No	Anizotropi σ_c (MPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°
1	143.89	122.27	113.06	104.50	121.31
2	132.27	126.94	110.21	106.11	117.30
3	134.56	112.31	105.72	95.15	132.49
En Büyük	143.89	126.94	113.06	106.11	132.49
En Küçük	132.27	112.31	105.72	95.15	117.30
Ortalama	136.91	120.51	109.66	101.92	123.70
S. Sapma	6.16	7.47	3.70	5.92	7.87

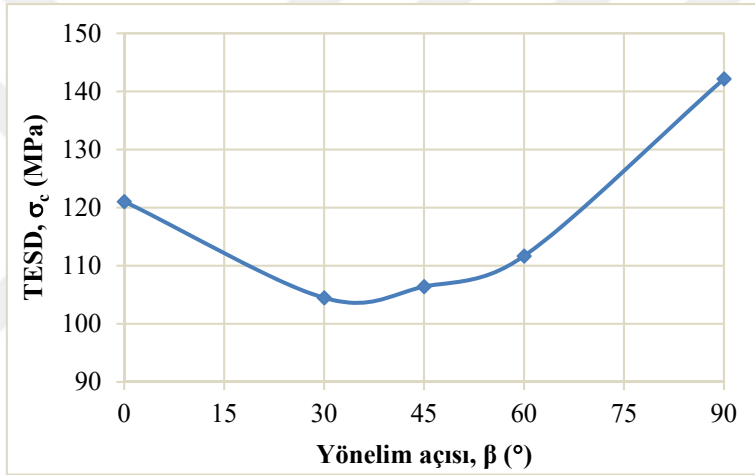


Şekil 3.41. Doygunluk derecesi %25 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi

%25 doygunluk derecesindeki örneklerde en düşük tek eksenli sıkışma dayanımının 30° yönelime sahip örneklerde olduğu, en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımının ise 90° yönelime sahip örneklerde olduğu gözlemlenmiştir. Doygunluk derecesi %25 olan örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 101.92 MPa ile 136.91 MPa arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 3.30. Doygunluk derecesi %50 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Örnek No	Anizotropi σ_c (MPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°
1	142.36	119.42	114.45	105.68	130.35
2	143.80	113.76	112.88	111.13	118.25
3	140.35	101.90	91.92	96.64	114.59
En Büyük	143.80	119.42	114.45	111.13	130.35
En Küçük	140.35	101.90	91.92	96.64	114.59
Ortalama	142.17	111.69	106.42	104.48	121.06
S. Sapma	1.73	8.94	12.58	7.32	8.25

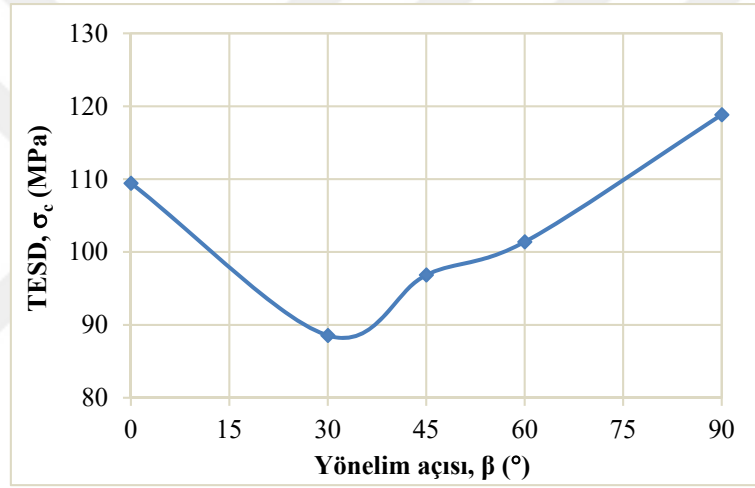


Şekil 3.42. Doygunluk derecesi %50 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi

%50 doygunluk derecesindeki örneklerde en düşük tek eksenli sıkışma dayanımının 30° yönelime sahip örneklerde olduğu, en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımının ise 90° yönelime sahip örneklerde olduğu gözlemlenmiştir. Doygunluk derecesi %50 olan örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 104.48 MPa ile 142.17 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.31. Doygunluk derecesi %75 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Örnek No	Anizotropi σ_c (MPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°
1	125.94	98.86	105.50	83.01	101.62
2	118.47	106.11	103.84	92.31	107.55
3	112.14	99.26	81.27	90.35	119.17
En Büyük	125.94	106.11	105.50	92.31	119.17
En Küçük	112.14	98.86	81.27	83.01	101.62
Ortalama	118.85	101.41	96.87	88.56	109.45
S. Sapma	6.91	4.08	13.54	4.90	8.93

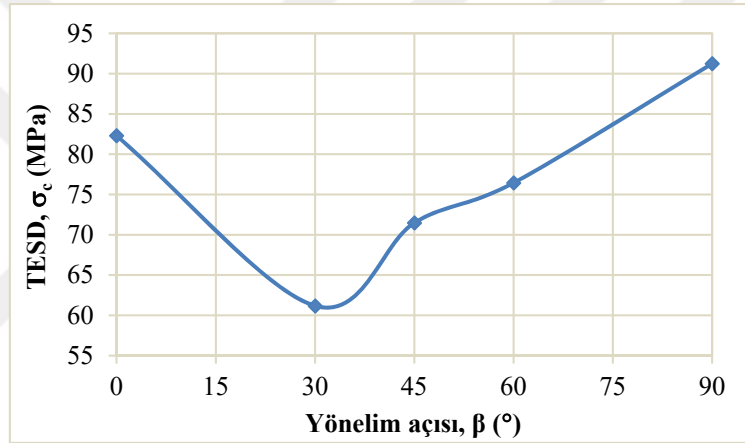


Şekil 3.43. Doygunluk derecesi %75 örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi

%75 doygunluk derecesindeki örneklerde en düşük tek eksenli sıkışma dayanımının 30° yöneline sahip örneklerde, en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımının ise 90° yöneline sahip örneklerde olduğu görülmüştür. %75 doygunluk derecesine sahip örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 88.56 MPa ile 118.85 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.32. Doymun örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

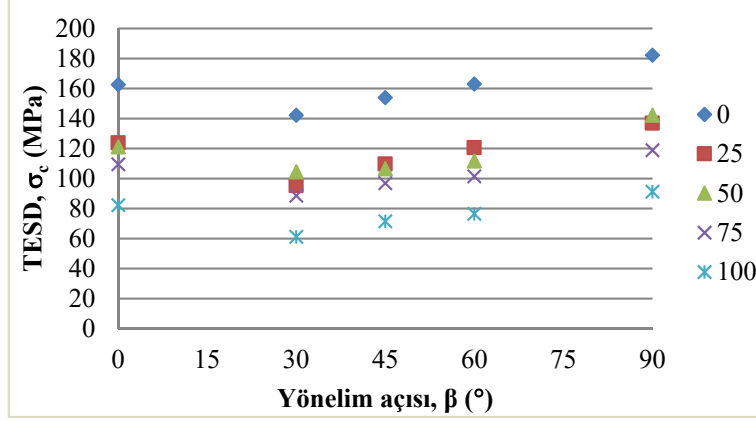
Örnek No	Anizotropi σ_c (MPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°
1	85.72	76.59	77.66	56.20	80.92
2	95.68	83.62	71.94	69.48	87.51
3	92.31	69.13	64.85	57.86	78.47
En Büyük	95.68	83.62	77.66	69.48	87.51
En Küçük	85.72	69.13	64.85	56.20	78.47
Ortalama	91.24	76.45	71.48	61.18	82.30
S. Sapma	5.07	7.25	6.42	7.24	4.68



Şekil 3.44. Doymun örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının değişen yönelim açılarındaki değişimi

Doymun örneklerde en düşük tek eksenli sıkışma dayanımının 60° yönelime sahip örneklerde, en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımının ise 90° yönelime sahip örneklerde olduğu görülmüştür. Doymun örneklerde ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 61.18 MPa ile 91.24 MPa arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

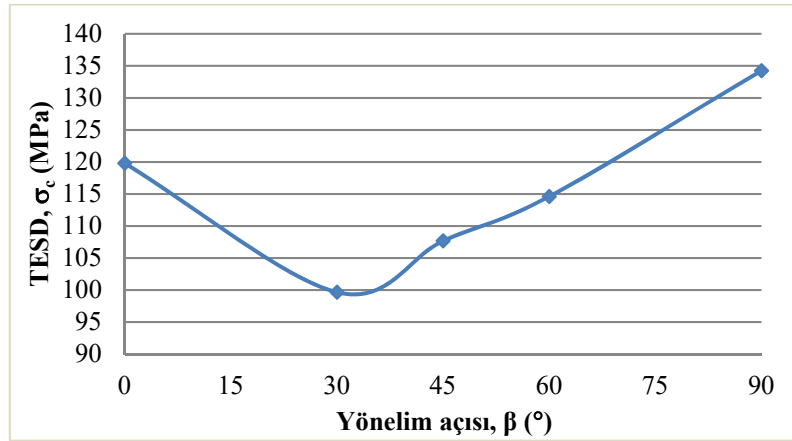
Farklı doymunluk koşullarındaki örneklerin değişen yönelim açılarındaki ölçülen tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama değerlerinin değişim grafiği Şekil 3.45' te verilmiştir.



Şekil 3.45. Farklı doygunluk koşulunda örneklerin değişen yönelim açılarındaki tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin değişimi

Şekil 3.45 incelendiğinde kuru örneklerden doygun örneklerle doğru tek eksenli sıkışma dayanımlarında bir azalma olduğu görülmüştür. En düşük tek eksenli sıkışma dayanımının 30° yönelime sahip örneklerde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımının 90° yönelime sahip örneklerde olduğu tespit edilmiştir.

Farklı doygunluk koşulları dikkate alınmaksızın değişen yönelim açılarındaki ortalama değerlere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir (Şekil 3.46).



Şekil 3.46. Doygunluk koşulu dikkate alınmadan değişen yönelim açılarındaki ortalama değerlerin değişimi

Ortalama değerler dikkate alındığında tek eksenli sıkışma dayanımının 90° yönelim açılarındaki en yüksek, 30° yönelim açısında en düşük olduğu tespit edilmiştir.

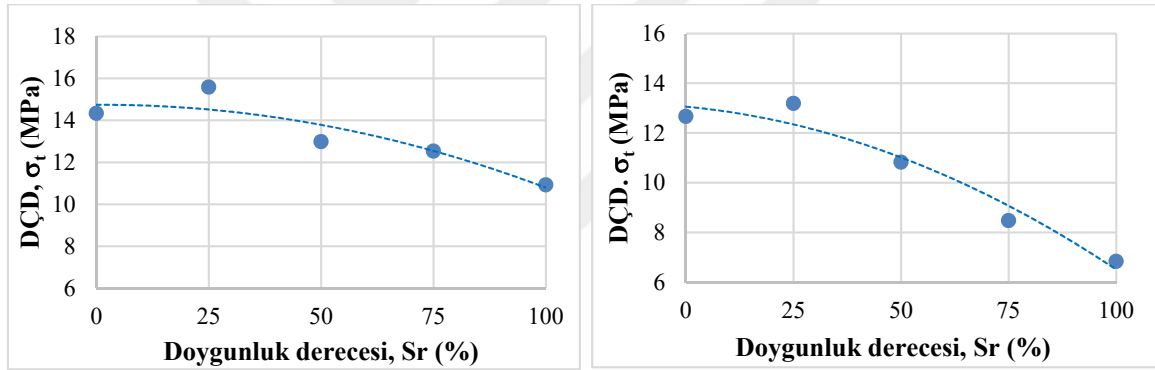
3.3.3.2. Dolaylı (Brazilian) Çekilme Dayanımı

Bu çalışmada çapı boyunun yarısı olacak şekilde hazırlanan 0°, 30°, 45°, 60°, 90° yönelim açlarına sahip numunelerin dolaylı çekilme dayanımı değerleri belirlenirken ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Anizotropi durumu (0°, 30°, 45°, 60°, 90°) ve farklı doygunluk koşulu (%Sr 0, 25, 50, 75, 100) dikkate alınarak yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kumtaşlarının dolaylı çekilme dayanımı (σ_t) her durum için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değişen yönelim açısına sahip örneklerin farklı doygunluk koşulları için belirlenen dolaylı çekilme dayanımı değerleri Tablo 3.33-3.35' de ve bu değerler yardımı ile hazırlanan değişim grafikleri ise Şekil 3.47-3.49' da verilmiştir. Ayrıca farklı yönelim açlarına sahip örneklerin değişen doygunluk koşullarında belirlenen dolaylı çekilme dayanımı ortalama değerleri değişim grafiği ve anizotropi durumu dikkate alınmaksızın sadece farklı doygunluk koşullarındaki ortalama dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin değişimi grafiklerde verilmiştir (Şekil 3.50-3.51). Benzer şekilde sabit bir doygunluk koşulu için farklı yönelim açısına sahip örneklerin belirlenen dolaylı çekilme dayanımı değerleri Tablo 3.36-3.38' de ve bu ölçüm değerlerinden yararlanarak hazırlanan değişim grafikleri de Şekil 3.52-3.54' te verilmiştir. Ayrıca farklı doygunluk koşullarına sahip örneklerin farklı anizotropi koşulları için belirlenen dolaylı çekilme dayanımı ortalama değerlerinin değişim grafiği ve doygunluk koşulu dikkate alınmaksızın sadece farklı yönelim açlarındaki dolaylı çekilme dayanımı ortalama değerlerine ait grafikler hazırlanmıştır (Şekil 3.55-3.56).

Tablo 3.33. Yönelim açısı (β) 90° ve 60° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	σ_t (MPa)					%Sr				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
1	14.96	12.65	12.51	11.64	9.50	10.12	14.68	13.60	9.74	8.14
2	14.98	17.01	13.45	11.11	12.27	14.64	13.21	10.78	7.53	6.62
3	13.72	15.64	11.46	14.19	9.66	13.33	15.69	8.92	11.22	6.45
4	12.08	17.50	11.51	13.94	11.38	15.44	11.92	12.50	6.86	7.67
5	11.89	14.81	12.63	11.40	10.99	13.31	12.23	10.06	6.16	6.54
6	18.38	15.94	16.39	12.94	11.78	9.19	11.43	9.12	9.35	5.64
En Büyük	18.38	17.50	16.39	14.19	12.27	15.44	15.69	13.60	11.22	8.14
En Küçük	11.89	12.65	11.46	11.11	9.50	9.19	11.43	8.92	6.16	5.64
Ortalama	14.34	15.59	12.99	12.54	10.93	12.67	13.19	10.83	8.48	6.84
S. Sapma	2.39	1.74	1.82	1.34	1.13	2.49	1.68	1.88	1.94	0.91

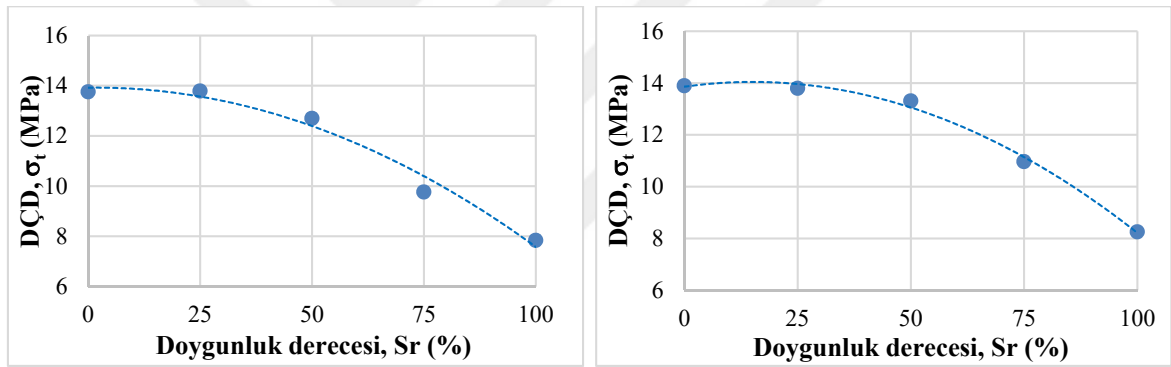


Şekil 3.47. Yönelim açısı (β) 90° ve 60° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi

Yönelim açısı 90° ve 60° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının artan doygunluk derecesi ile azaldığı gözlemlenmektedir. Yönelim açısı 90° olan örneklerde ortalama dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin 10.93 MPa ile 15.59 MPa arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. 60° yönelim açısına sahip örneklerde ortalama dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin 6.84 MPa ile 13.19 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.34. Yönelim açısı (β) 45° ve 30° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

Örnek No	σ_t (MPa)					%Sr				
	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
1	12.88	12.60	13.24	11.28	8.20	13.49	12.22	12.36	7.20	7.48
2	12.04	17.58	12.37	9.36	6.88	12.96	17.50	12.93	8.95	8.93
3	12.70	12.02	12.15	9.62	8.64	14.41	14.26	14.15	12.12	9.50
4	18.37	15.98	13.13	8.22	8.79	13.76	12.24	14.61	10.21	8.11
5	14.17	11.89	9.97	10.71	7.14	16.72	13.07	14.43	14.95	6.70
6	12.41	12.66	15.31	9.41	7.40	12.07	13.54	11.40	12.39	8.87
En Büyük	18.37	17.58	15.31	11.28	8.79	16.72	17.50	14.61	14.95	9.50
En Küçük	12.04	11.89	9.97	8.22	6.88	12.07	12.22	11.40	7.20	6.70
Ortalama	13.76	13.79	12.70	9.77	7.84	13.90	13.80	13.31	10.97	8.26
S. Sapma	2.37	2.39	1.74	1.08	0.81	1.59	1.97	1.29	2.76	1.04

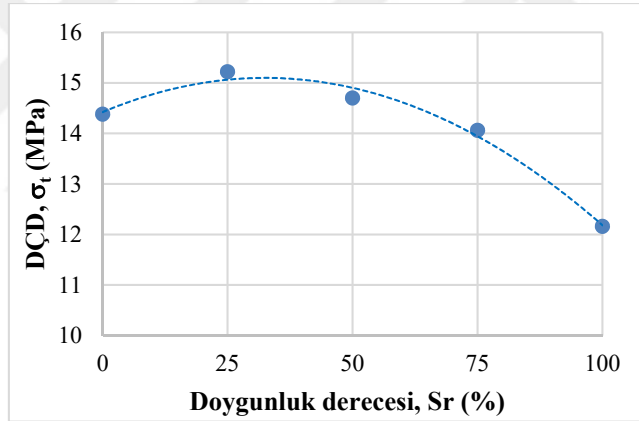


Şekil 3.48. Yönelim açısı (β) 45° ve 30° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi

Yönelim açısı 45° ve 30° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin artan doygunluk derecesi ile birlikte azaldığı görülmüştür. Yönelim açısı 45° olan örneklerde ortalama dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin 7.84 MPa ile 13.79 MPa arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. 30° yönelim açısına sahip örneklerde ortalama dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin 8.26 MPa ile 13.90 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.35. Yönelim açısı (β) 0° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımının farklı doygunluk koşullarında hesaplanan değerleri

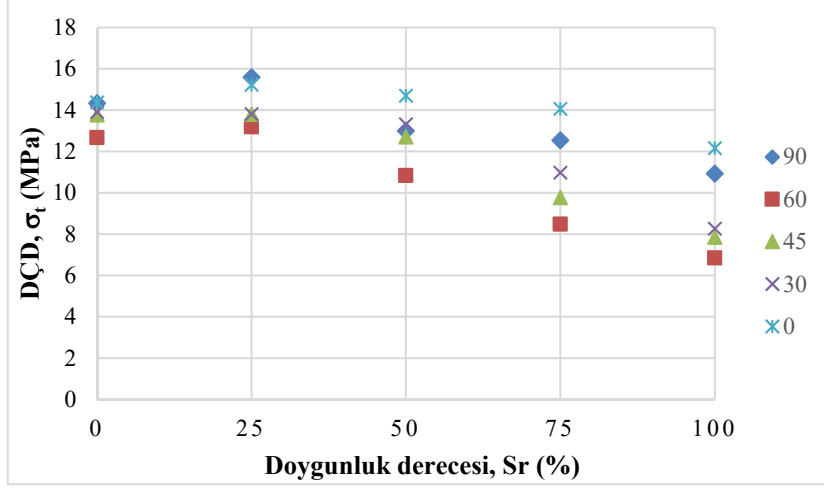
Örnek No	%Sr				
	0	25	50	75	100
1	12.25	10.96	15.97	15.54	12.18
2	12.96	16.56	15.33	14.46	12.56
3	12.54	18.75	13.38	14.02	12.43
4	17.28	15.47	14.74	14.95	12.21
5	14.01	18.70	14.56	12.83	11.35
6	17.22	10.89	14.23	12.59	12.23
En Büyük	17.28	18.75	15.97	15.54	12.56
En Küçük	12.25	10.89	13.38	12.59	11.35
Ortalama	14.38	15.22	14.70	14.06	12.16
S. Sapma	2.30	3.56	0.89	1.17	0.43



Şekil 3.49. Yönelim açısı (β) 0° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının farklı doygunluk koşullarındaki değişimi

Yönelim açısı 0° olan örneklerin dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin artan doygunluk derecesi ile birlikte azaldığı görülmüştür. Yönelim açısı 0° olan örneklerde ortalama dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin 12.16 MPa ile 15.22 MPa arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

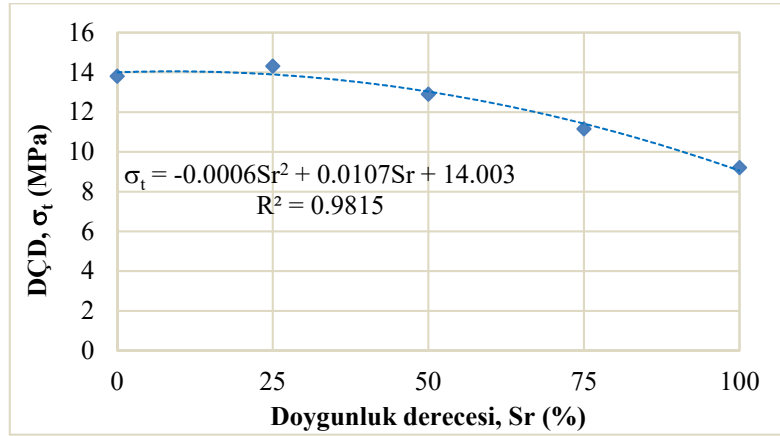
Değişen yönelim açılara sahip örneklerin farklı doygunluk koşullarında ölçülen dolaylı çekilme dayanımı ortalama değerlerinin değişim grafiği aşağıda Şekil 3.50' de verilmiştir.



Şekil 3.50. Değişen yönelim açlarına sahip örneklerin farklı doygunluk koşullarında ölçülen dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin değişimi

Şekil 3.50 incelendiğinde dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin doygunluk derecesi arttıkça azalma gösterdiği gözlemlenmiştir. 60° yönelime sahip örneklerin diğer yönelim açılarındaki örneklere göre daha düşük dayanım gösterdiği görülmüştür.

Değişen yönelim açısı dikkate alınmaksızın sadece farklı doygunluk derecelerinin ortalama değerlerine göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir (Şekil 3.51).

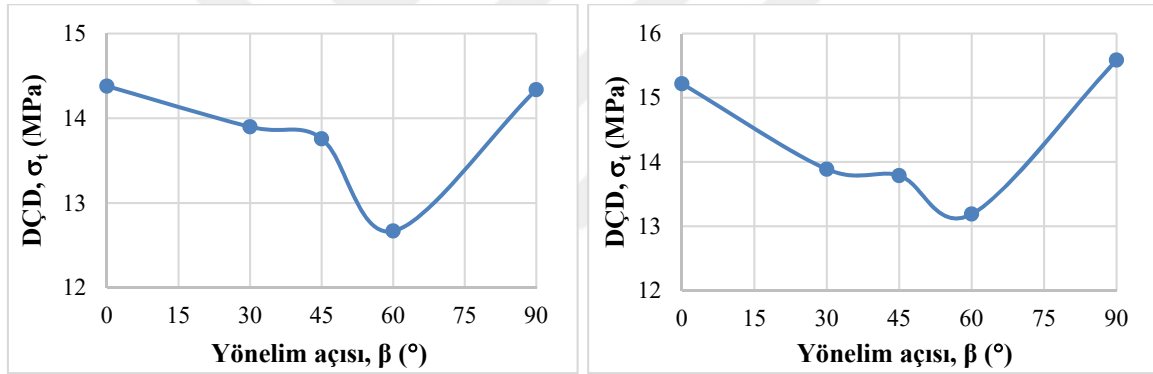


Şekil 3.51. Yönelim açısı dikkate alınmadan farklı doygunluk derecelerindeki ortalama değerlerin değişimi

Ortalama değerler dikkate alındığında dolaylı çekilme dayanımının doygunluk derecesi arttıkça doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.36. Kuru ve %25 doygun örneklerin dolaylı çekilme dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Örnek No	Anizotropi σ_t (MPa)					σ_t (MPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
1	14.96	10.12	12.88	13.49	12.25	12.65	14.68	12.60	12.22	10.96
2	14.98	14.64	12.04	12.96	12.96	17.01	13.21	17.58	17.50	16.56
3	13.72	13.33	12.70	14.41	12.54	15.64	15.69	12.02	14.26	18.75
4	12.08	15.44	18.37	13.76	17.28	17.50	11.92	15.98	12.24	15.47
5	11.89	13.31	14.17	16.72	14.01	14.81	12.23	11.89	13.07	18.70
6	18.38	9.19	12.41	12.07	17.22	15.94	11.43	12.66	13.54	10.89
En Büyük	18.38	15.44	18.37	16.72	17.28	17.50	15.69	17.58	17.50	18.75
En Küçük	11.89	9.19	12.04	12.07	12.25	12.65	11.43	11.89	12.22	10.89
Ortalama	14.34	12.67	13.76	13.90	14.38	15.59	13.19	13.79	13.80	15.22
S. Sapma	2.39	2.49	2.37	1.59	2.30	1.74	1.68	2.39	1.97	3.56

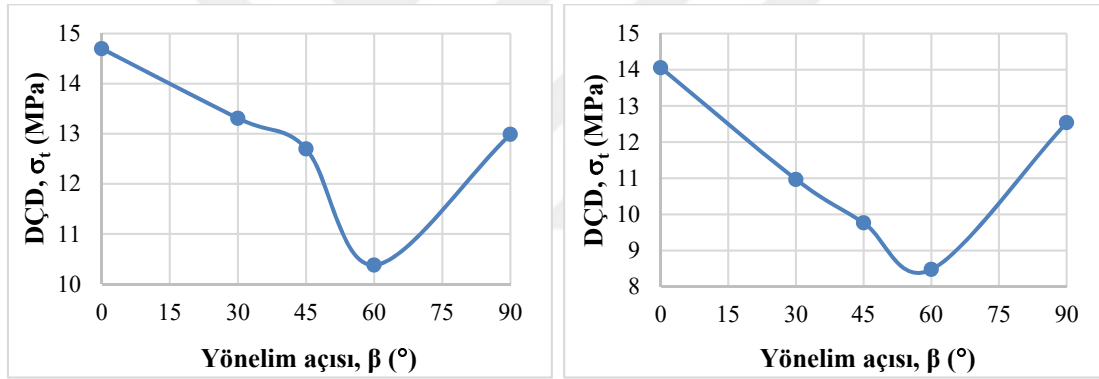


Şekil 3.52. Kuru ve %25 doygun örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının değişen yönelim açılarındaki değişimi

Kuru örneklerde en düşük dolaylı çekilme dayanımı değeri 60° yönelime sahip örneklerde gözlenirken, en yüksek dolaylı çekilme dayanımı değeri 0° ve 90° yönelime sahip örneklerde gözlemlenmiştir. %25 doygunluk derecesindeki örneklerde en düşük dolaylı çekilme dayanımı değeri 60° yönelime sahip örneklerde gözlenirken, en yüksek dolaylı çekilme dayanımı değeri 0° ve 90° yönelime sahip örneklerde gözlemlenmiştir.

Tablo 3.37. Doygunluk derecesi %50 ve %75 örneklerin dolaylı çekilme dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

Anizotropi										
Örnek No	σ_t (MPa)					σ_t (MPa)				
	90°	60°	45°	30°	0°	90°	60°	45°	30°	0°
1	12.51	13.60	13.24	12.36	15.97	11.64	9.74	11.28	7.20	15.54
2	13.45	10.78	12.37	12.93	15.33	11.11	7.53	9.36	8.95	14.46
3	11.46	8.92	12.15	14.15	13.38	14.19	11.22	9.62	12.12	14.02
4	11.51	12.50	13.13	14.61	14.74	13.94	6.86	8.22	10.21	14.95
5	12.63	10.06	9.97	14.43	14.56	11.40	6.16	10.71	14.95	12.83
6	16.39	9.12	15.31	11.40	14.23	12.94	9.35	9.41	12.39	12.59
En Büyük	16.39	13.60	15.31	14.61	15.97	14.19	11.22	11.28	14.95	15.54
En Küçük	11.46	8.92	9.97	11.40	13.38	11.11	6.16	8.22	7.20	12.59
Ortalama	12.99	10.83	12.70	13.31	14.70	12.54	8.48	9.77	10.97	14.06
S. Sapma	1.82	1.88	1.74	1.29	0.89	1.34	1.94	1.08	2.76	1.17

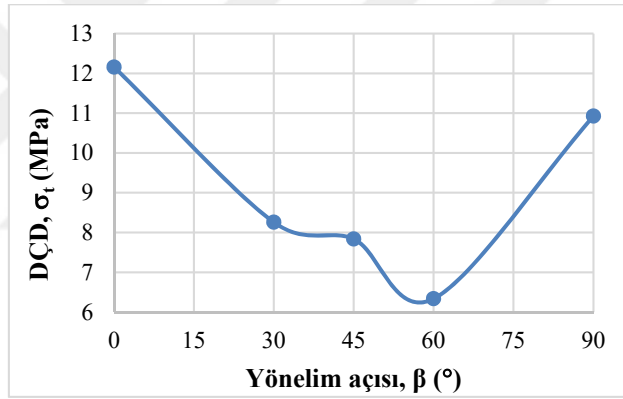


Şekil 3.53. Doygunluk derecesi %50 ve %75 örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının değişen yönelim açılarındaki değişimi

%50 doygunluk derecesine sahip örneklerde en düşük dolaylı çekilme dayanımı değeri 60° yönelime sahip örneklerde gözlenirken, en yüksek dolaylı çekilme dayanımı değeri 0° yönelime sahip örneklerde gözlemlenmiştir. %75 doygunluk derecesindeki örneklerde en düşük dolaylı çekilme dayanımı değeri 60° yönelime sahip örneklerde gözlenirken, en yüksek dolaylı çekilme dayanımı değeri 0° yönelime sahip örneklerde tespit edilmiştir.

Tablo 3.38. Doygun örneklerin dolaylı çekilme dayanımının değişen yönelim açılarında hesaplanan değerleri

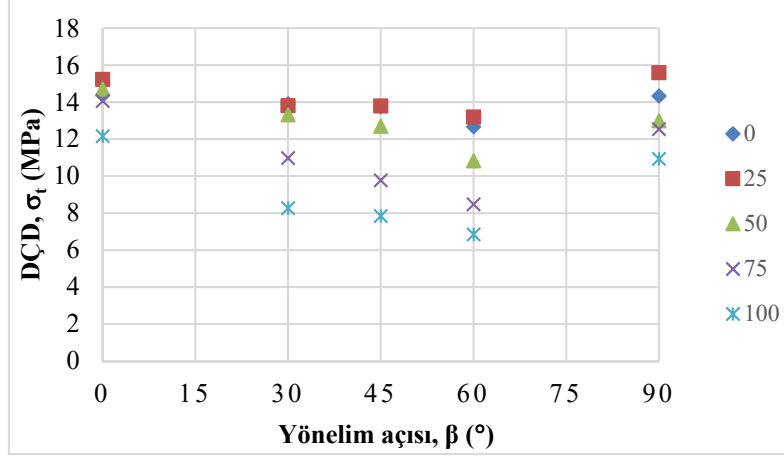
Örnek No	%Sr				
	90°	60°	45°	30°	0°
1	9.50	8.14	8.20	7.48	12.18
2	12.27	6.62	6.88	8.93	12.56
3	9.66	6.45	8.64	9.50	12.43
4	11.38	7.67	8.79	8.11	12.21
5	10.99	6.54	7.14	6.70	11.35
6	11.78	5.64	7.40	8.87	12.23
En Büyük	12.27	8.14	8.79	9.50	12.56
En Küçük	9.50	5.64	6.88	6.70	11.35
Ortalama	10.93	6.84	7.84	8.26	12.16
S. Sapma	1.13	0.91	0.81	1.04	0.43



Şekil 3.54. Doygun örneklerin dolaylı çekilme dayanımlarının değişen yönelim açılarındaki değişimi

Doygun örneklerde en düşük dolaylı çekilme dayanımı değeri 60° yönelime sahip örneklerde gözlenirken, en yüksek dolaylı çekilme dayanımı değeri 0° yönelime sahip örneklerde gözlemlenmiştir.

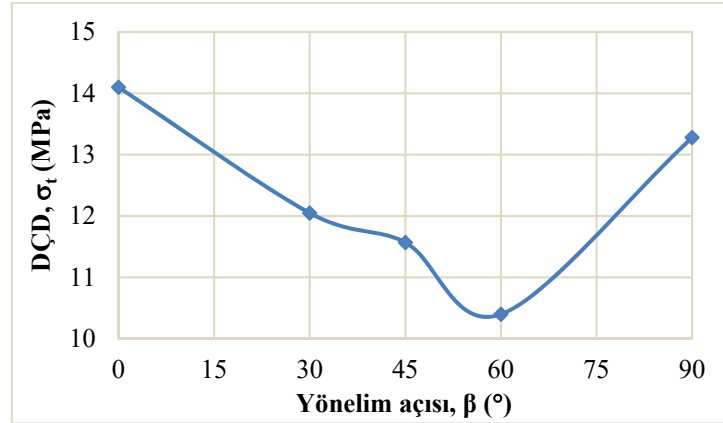
Farklı doygunluk koşullarındaki örneklerin değişen yönelim açılarında ölçülen dolaylı çekilme dayanımı ortalama değerlerinin değişim grafiği Şekil 3.55' te verilmiştir.



Şekil 3.55. Farklı doygunluk koşulunda örneklerin değişen yönelim açılarındaki dolaylı çekilme dayanımı değerlerinin değişimi

Şekil 3.55 incelendiğinde kuru örneklerden doygun örneklerle doğru dolaylı çekilme dayanımlarında bir azalma olduğu görülmüştür. Genel olarak dolaylı çekilme dayanımı değerinin 60° yönelime sahip örneklerde en düşük, 90° ve 0° yönelime sahip örneklerde en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Farklı doygunluk koşulları dikkate alınmaksızın değişen yönelim açılarındaki ortalama değerlere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir (Şekil 3.56).



Şekil 3.56. Doygunluk koşulu dikkate alınmadan değişen yönelim açılarındaki ortalama değerlerin değişimi

Ortalama değerler dikkate alındığında en düşük dolaylı çekilme dayanımı 60° yönelime sahip örneklerde, en yüksek dolaylı çekilme dayanımı değeri ise 0° ve 90° yönelime sahip örneklerde tespit edilmiştir.

Farklı doygunluk dereceleri ve farklı yönelim açıları dikkate alınarak yapılan deneysel çalışmalara yönelik ortalama değerler aşağıda Tablo 3.39’ da bir arada verilmiştir.

Tablo 3.39. Tüm deneylere ait ortalama değerler

%Sr		0	25	50	75	100
90°	Açı					
	V _p (m/sn)	4359.2	4383.4	4459.0	4566.0	4916.8
	V _s (m/sn)	2491.7	2497.4	2487.7	2427.3	2680.0
	E _d (GPa)	40.3	40.7	41.0	40.0	48.4
	v _d	0.25	0.26	0.27	0.30	0.29
	σ _c (MPa)	182.2	136.9	142.2	118.9	91.2
	σ _t (MPa)	14.3	15.6	13.0	12.5	10.9
60°	V _p (m/sn)	4330.1	4406.8	4500.5	4573.7	4896.7
	V _s (m/sn)	2692.1	2512.9	2539.9	2429.9	2754.7
	E _d (GPa)	44.3	41.2	42.4	40.2	50.5
	v _d	0.18	0.25	0.26	0.30	0.27
	σ _c (MPa)	163.0	120.5	111.7	101.4	76.4
	σ _t (MPa)	12.7	13.2	10.8	8.5	6.8
	45°	V _p (m/sn)	4343.1	4432.3	4536.4	4647.5
V _s (m/sn)		2713.0	2632.3	2522.0	2575.7	2631.7
E _d (GPa)		45.4	43.8	42.3	44.1	47.4
v _d		0.17	0.21	0.27	0.27	0.30
σ _c (MPa)		154.0	109.7	106.4	96.9	71.5
σ _t (MPa)		13.8	13.8	12.7	9.8	7.8
30°		V _p (m/sn)	4529.4	4572.0	4628.7	4648.5
	V _s (m/sn)	2688.9	2708.1	2706.7	2713.0	2742.1
	E _d (GPa)	44.8	46.9	47.3	47.6	50.7
	v _d	0.22	0.22	0.24	0.24	0.28
	σ _c (MPa)	142.2	95.3	104.5	88.6	61.2
	σ _t (MPa)	13.9	13.8	13.3	11.0	8.3
	0°	V _p (m/sn)	4768.9	4783.3	4896.6	4865.2
V _s (m/sn)		2684.9	2791.7	2797.7	2727.4	2723.9
E _d (GPa)		47.4	50.3	51.2	49.3	50.8
v _d		0.26	0.24	0.25	0.27	0.30
σ _c (MPa)		162.5	123.7	121.1	109.4	82.3
σ _t (MPa)		14.4	15.2	14.7	14.1	12.2

Tablo 3.39 incelendiğinde genel anlamda dayanım değerlerinin laminalanmaya dik ve kuru koşullarda yüksek olduğu, dalga hızı değerlerinin ise laminalanmaya paralel ve doygun örneklerde yüksek değerler aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca doygun koşullarda tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin 30°, dolaylı çekilme dayanımı değerinin ise 60° yönelim açısına sahip örneklerde en düşük değer aldığı tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Farklı doyunluk ve anizotropi koşullarında kumtaşlarının fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimlerin ve olası ilişkilerin araştırılmasını amaçlayan yüksek lisans tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Çalışmada kullanılan 11 adet kumtaşı blok örneklerinin her birinden yapılan ince kesitlerde modal analiz çalışması gerçekleştirilmiş ve kayaların mineral içerikleri bolluk oranları belirlenmiştir. Buna göre 3 örnek litik subarkoz olarak tayin edilirken diğer 8 örneğin litik arkoz bileşiminde oldukları belirlenmiştir.

2. Piknometre deneyi sonucuna göre kumtaşlarının özgül ağırlıklarının 2.68-2.73 arasında değiştiği ve ortalama değerin 2.71 olduğu belirlenmiştir.

3. Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik çalışmalar sonucunda kumtaşlarının kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) değerinin 25.73-26.38 kN/m³, doyun birim hacim ağırlık (γ_d) değerinin 25.94-26.51 kN/m³ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında sırasıyla 26.04-26.23kN/m³ olduğu tespit edilmiştir.

4. Yapılan deneysel çalışmalar ile kumtaşlarının ağırlıkça su emme (A_w) değerlerinin %0.42-0.95 arasında değiştiği ve ortalama değerin %0.72 olduğu belirlenmiştir. Hacimce su emme değerlerinin (A_v) değerlerinin % 1.13-2.53 arasında değiştiği ve ortalama değerin % 1.92 olduğu belirlenmiştir.

5. Kumtaşlarının farklı doyunluk ve anizotropi koşulları dikkate alınarak ölçülen P dalga hızı değerlerinin 4046-5444 m/sn, S dalga hızlarının ise 2126-3114 m/sn arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

6. P ve S dalga hızları hem yönelim açısından hem de doyunluktaki değişimden etkilenmektedir. Değişen doyunluk koşulu için P dalga hızı değerleri en fazla laminalanmaya paralel örneklerde ölçülmüştür. En düşük P dalga hızı değerleri ise laminalanmaya dik olan örneklerde ölçülmüştür. Değişen anizotropi koşullarında ise P dalga hızı değerleri kuru örneklerde daha düşük iken en yüksek değerler doyun örneklerde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilmiştir. S dalga hızı değerleri ise P dalga hızındaki gibi keskin belirginlikler sunmamakla birlikte, doyun örnekler için ölçülen S dalga hızı değerleri hemen hemen tüm koşullarda en yüksek değerleri oluşturmaktadır.

Ayrıca ortalama değerlere göre de laminalanmaya paralel örneklerde daha yüksek, laminalanma düzlemine dik olan örneklerde de daha düşük değerler ölçülmüştür.

7. Kumtaşlarının P ve S dalga hızları ile yoğunluk değerlerinden hareketle hesaplanan dinamik elastisite modülü 31.83-59.56 GPa ve dinamik poisson oranı ise 0.07-0.36 arasında değişim göstermiştir.

8. Deneysel alışmalar sonucunda kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 61.2-182.2 MPa arasında değişim göstermektedir. Sıkışma dayanımı değerinin hem anizotropi hem de doğunluk koşullarında etkilendiği tespit edilmiştir.

9. Değişen anizotropi koşullarında kuru örneklerin dayanımlarının daha yüksek olduğu, doğun örneklerin ise belirgin bir şekilde dayanımlarının düştüğü görülmüştür. Ayrıca laminalanmaya dik ve paralel örneklerin diğer aısallıklara nazaran daha yüksek dayanım değerlerine sahip olduğu, buna karşın 30° yönelim açısına sahip örneklerde ise en düşük dayanım değerleri tespit edilmiştir. Bu durum kaya malzemesinin yenilme kriterleri ile örtüşmektedir.

10. Kumtaşları dayanım anizotropisine göre değerlendirilmiş ve “düşük anizotropi” sınıfında yer almıştır.

11. Kumtaşlarının dolaylı çekilme dayanımları ise 6.8-14.4 MPa arasında değişim göstermiştir. Sıkışma dayanımında olduğu gibi dolaylı çekilme dayanımının da anizotropi ve doğunluk koşullarından etkilendiği görülmüştür.

12. Değişen anizotropi koşullarında kuru örneklerin dolaylı çekilme dayanımını değerlerinin kuru örneklerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Doğun örneklerin ise belirgin bir şekilde dolaylı çekilme dayanımlarının düştüğü görülmüştür. Ayrıca anizotropi koşulları dikkate alındığında laminalanmaya dik ve paralel olan örneklerin daha yüksek çekilme dayanım değerlerine sahip olduğu, bununla beraber 60° yönelim açısına sahip örneklerde genel olarak hemen her doğunluk koşulunda düşük çekilme dayanımı değerleri belirlenmiştir.

13. Genel olarak laminalanmaya paralel örneklerin laminalanmaya dik olan örneklerle göre daha yüksek dalga hızı değerine sahip oldukları gözlemlenmiştir. P dalga hızlarının sabit bir yönelim açısında doğunluk koşullarına bağlı olarak artış gösterdiği, S dalga hızında da artış gözlenmesine rağmen düzenli bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Dayanım zelliklerinin ise laminalanma düzlemlerine dik olan örneklerde ve kuru koşullarda daha yüksek olduğu ve doğunlukla birlikte dayanımın azaldığı belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Ajalloeian, R., Lahskaripour, G.R. 2000. Strangth Anizotropies In Mudrocks, Bulletin Engineering Geology Environment (2000) 59, Page 195-199.
- 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. ve Yüksel, T.Y. 2011. Granitlerde Kuru ve Suya Doygun Numuneler İçin Dinamik Ve Statik Elastisite Modülünün Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 26 (1), Page 1-1.0
- Atıcı, Y., 1998. Doğu Pontid Magmatik Arkında (KD Türkiye) Üst Kretase Volkanizmasının Göçü, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Arslan, M., Şen, C., Aliyazıcıoğlu, İ., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z., 2000. Trabzon ve Gümüşhane Yörelerinde (KD, Türkiye) Yüzeyleyen Eosen Volkanitlerinin Karşılaştırmalı Jeolojisi, Mineralojisi ve Petrolojisi, Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı 1, say. 39-53.
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D ve Şen, C., 2014. 40 Ar-39Ar Dating, Whole-Rock and Sr-Nd-Pb İsoptop Geokimya Of Post-Collisional Eocene Volcanic Rocks in The Southern Part of the Eastern Pontides (NE Turkey): İmplications for Magma Evolution in Extension-İnduced Origin, Contrib Mineral Petrol, DOI 10.1007/s00410-013-0868-3.
- Aslan, Z., 2010. U-Pb Zircon SHRIMP Age, Geochemical and Petrographical Characateristics of Tuffs Within Calc-Alkaline Eocene Volcanics Around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides, Neues Jahrbuch für Mineralogie, 187, 3, 329-346.
- Başarır, H., Kumral, M. ve Özsan, A., 2004. Kayaların Tek Eksenli Basınç Dayanımının Basit Deney Yöntemleriyle Tahmini, Kayamek' 2004-V11. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas.
- Batugin, S.A., Nirenburg, R.K., 1973. Approximate Relation Between the Elastic Constants of Anisotropic Rocks and Anisotropy Parameters, Fiz. Tekhn. Prol. Razrabotki Polezn. Iskopaemykn 7, 7-12.
- Bayrak R., 2005. Niğde Masifi Temel Kayaların Anizotropik Dayanım ve Deformasyon Özelliklerinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.

- Behrestaghi, M.H.N., Rao, K.S., Ramamurthy, T., 1996. Engineering Geological and Geotechnical Responses of Schistose Rocks From Dam Project Areas in India.
- Chen, C.S., Hsu, S.C., 2001. Measurement of Indirect Tensile Strength of Anisotropic Rocks by the Ring Test, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, Page 293-321.
- Chang, C., Zoback, M.D., Khaksar, A. 2006. Empirical Relations Between Rock Strength and Physical Properties In Sedimentary Rocks, Journal of Petroleum Science And Engineering, 51, Page 223-237.
- Chen, X., Schmitt, D.R., Kessler, J.A., Evans, J., Kofman, R., 2015. Empirical Relations Between Ultrasonic P-Wave Velocity, Porosity and Uniaxial Compressive Strength, Cseg Recorder May 2015, Page 24-29.
- Çolak K., 1998. Zonguldak Havzası Kömür Çevre Kayalarının Dayanım ve Deformasyon Anizotropisinin İncelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Zonguldak.
- 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., Alkan, F., 2015. Kayalarda Gözeneklilik ile Dayanım Özellikleri Arasında Görgül İlişkilerin Araştırılması, MÜHJEO'2015 Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 286-293.
- 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), 3, page 705-712, Saraybosna, Bosna Hersek.
- Dağ, S., Soysal Z., 2017, The Effect of Anisotropy on Some Rock Properties in Sandstones. 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies Rome/Italy on May 18-21, Page 109.
- Dokuz, A. ve Tanyolu, E., 2006. Gechemical Constraints On The Provenance, Mineral Sorting and Subaerial Weathering of Lower Jurassic and Upper Cretaceous Clastic Rocks from the Eastern Pontides, Yusufeli (Arvin), NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 15, 181-209.
- Donath F.A., 1964. Strength Variation and Deformational Behavior in Anisotropic Rock, in State of Stress in The Earth's Crust, Edited By, Judd W.R Elseiver-Amsterdam, 280-297.
- Eren, M., 1983, Gümüşhane Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Trabzon.

- 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.
- Ertaş, B., 2006. Assessment of Durability Criteria of the Armourstones Used in Mersin and Kumkuyu Harbours Based on Their Site and Laboratory Performances. ODTU in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Geological Engineering, Ankara.
- Eyuboglu, Y., Santosh, M., Dudas, O.F., Akaryalı, E., Chung, S., Akdağ, K., Bektaş, O., 2011. The Nature of Transition from Shoshonitic to Adakitic Magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Implications for Slab Window Melting, Gondwana Research, 19, 413-429.
- Garagon, M. 2007. Adana Baseni Tersiyer Birimlerinden Seçilmiş Kumtaşlarının Yönlere Bağlı Dayanımı ve Deformasyon Özelliklerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Gattinger, T., 1962, 1:500 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Trabzon Paftası İzahnamesi: MTA Yayl., Ankara.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979, The Main Lines of Geotectonic Development İn the East Pontids İn the Mesozoic Areas : Geochome-I, 555-580.
- Gercek, H., 2007. Poisson's Ratio Values For Rocks, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44 1–13.
- Gökçe, M.V., 2015. The Effects Of Bedding Directions on Abrasion Resistance in Travertine Rocks. Turkish Journal of Earth Sciences, 24, Page 196-207.
- Gurocak, Z., Solanki, P., Alemdag, S., Zaman, M., 2012. New Consiredations For Empirical Estimation of Tensile Strength of Rocks. Engineering Geology, 145-146,1-8.
- Güven İ.H. 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 Ölçekli Jeolojisi ve Komplikasyonu, MTA, Ankara (yayınlanmamış).
- Hakala M., Kula H., Hudson J.A., 2007. Estimating The Transversely Isotropic Elastic Intact Rock Properties For Insitu Stres Measurement Data Reduction: A Case Study of the Olkiluoto Mica Gneiss, Finland, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44, 14-46.
- Helle, H.B., Carcione, J.M., 2003. Velocity and Attenuation in Partially Saturated Rocks: Poroelastic Numerical Experiments, Geophysical Prospecting, October 2003, Page 551-566.

- He, T., 2006. P- And S-Wave Velocity Measurement and Pressure Sensitivity Analysis of AVA Response, Master of Science in Geophysics, University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- Hobbs D.W., 1964. The Tensile Strength of Rock, *Int. J. Rock Mech. Mining. Sci.* 1, 385-396.
- Ism, 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.
- Jeager J.C., Cook N.G.W., 1976. Fundamentals of Rock Mechanics 2nd Edition. Published by Chapman & Hall, 9-50 and 77-106, 143-189.
- Jianhong, Y., Wu, F. Q., Sun, J. Z., 2009. Estimation Of The Tensile Elastic Modulus Using Brazilian Disc By Applying Diametrically Opposed Concentrated Loads, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 46 568–576.
- Ji, S., Marcotte, D. 2009. Correlations Between Poisson's Ratio and Seismic Wave Velocities For Some Common Rocks and Sulfide Ores, *Tectonophysics*, April, Page 61-72.
- Kahraman, İ., Kansız, H., Dursun, A., Yılmaz, H., Erçin, A. İ., 1985. Gümüşhane Yöresinin Jeolojisine ve Cevherleşmesine Ait Jeoloji Raporu. MTA Trabzon, Proje No: 84-89.
- Kahraman, S. 2007. The Correlations Between The Saturated and Dry P-Wave Velocity of Rocks, *Ultrasonics* 46, Page 341-348.
- Kanık, D., 2010. Karbonat Kayaların Tek Eksenli Basınç Dayanımlarının Basit İndeks Deneyler Kullanılarak Tahmini, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Karakul, H., Ulusay, R. 2013. Empirical Correlations For Predicting Strength Properties of Rocks From P-Wave Velocity Under Different Degrees of Saturation, *Rock Mechanics and Rock Engineering* 46, Page 981-999.
- 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.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon.

- Ketin, İ. 1966. Türkiye'nin Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, 66, Say 20-34, Ankara.
- Khanlari, G.R., Heidari, M., Sepahigero, A.S., Fereidooni, D., 2014. Quantification of Strength Anisotropy of Metamorphic Rocks of The Hamedan Province, Iran, As Determined From Cylindrical Punch, Point Load and Brazilian Tests, Engineering Geology 169, 80–90.
- Kılıç, N., 2009. Gümüşhane-Bayburt yörelerinde Kretase-Tersiyer Geçişinin Foraminifer ve Sedimentoloji Kayıtları, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Isparta.
- Kurtuluş, C., Bozkurt, A., Endes, H., 2012. Physical and Mechanical Properties of Serpentinized Ultrabasic Rocks in NW Turkey, Pure and Applied Geophysics, Volume 169, Issue 7, pp 1205-1215.
- Moradian, Z. A. ve Behnia, M., 2009. Predicting the Uniaxial Compressive Strength and Static Young's Modulus of Intact Sedimentary Rocks Using the Ultrasonic Test, 2 Int. J. Geomech., 9, 14-19.
- Onur, A.H., Bakraç, S., Karakuş, D., 2012. Ultrasonic Waves in Mining Application, Dokuz Eylül University, Turkish General Directorate of Mineral Research and Exploration Turkey.
- Özkan, S., 2006. Salbaş (Adana) Kumtaşlarının Fiziko-Mekanik ve Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, KTÜ Yayını, No:87, Trabzon.
- Saydam, Ç., 2002. Doğu Pontidler'de Geç Kretase Yaşlı Kırıntılı Çökellerin Sedimenter, Petrografik ve Organik Jeokimyasal Özellikleri, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon.
- 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.
- Sipahi, F., 2005. Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon.
- Teymen, A., 2005. Bazı Kayaların Petrografik, Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical And Volcanic History of The Gümüşhane Region, N.E. Turkey, University College, London.

- Török, A., And Várashelyi, B., 2010. The Influence of Fabric And Water Content on Selected Rock Mechanical Parameters of Travertine, Examples From Hungary, *Engineering Geology*, 115, Page 237-245.
- 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.
- Yılmaz, A., Engin, T., Adamia S. ve Lazarashvili T., 1997. Geoscientific Studies of the Area Along Turkish-Georgian Border, MTA, Ankara.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt Yöresindeki Mesozoyik Havzalarının Tektonosedimentolojik Kayıtları ve Kontrol Etkenleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45, 1, 141-165.
- 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.
- Yücel, Ö. 2012. Karot Boğma Deneyi (CST)' Nin Kayalarda Dayanım Anizotropisinin Belirlenmesinde Kullanılabilirliği ve Performansının Değerlendirilmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

ÖZGEÇMİŞ

Zarife SOYSAL 1992' de Adana' da doğdu. 2010 yılında lise öğrenimini tamamladı. 2011 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü' nde lisans öğrenimine başladı. 2015 yılında lisans öğrenimini tamamladıktan sonra aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' nde yüksek lisans öğrenimine başladı.

