

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI DOYGUNLUK DERECELERİ VE YÜKLEME ORANLARINDA
KAYAÇLARDAKİ BAZI MEKANİK ÖZELLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

ENGİN ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA
Temmuz 2014

Tezin Başlığı: Farklı Doygunluk Dereceleri ve Yükleme Oranlarında Kayaçlardaki Bazı Mekanik Özellik Değişimlerinin İncelenmesi

Tezi Hazırlayan: Engin ÖZDEMİR

Sınav Tarihi: 10.07.2014

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri:

Prof. Dr. Mehmet ÖNAL
İnönü Üniversitesi

Doç.Dr. Tolga DEPCI
İnönü Üniversitesi

Tez Danışmanı: **Yrd. Doç. Dr. Didem EREN SARICI**
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Farklı Doygunluk Dereceleri ve Yükleme Oranlarında Kayaçlardaki Bazı Mekanik Özellik Değişimlerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Engin ÖZDEMİR

Sevgili Babaannem

Emine ÖZDEMİR'in

anısına...

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI DOYGUNLUK DERECELERİ VE YÜKLEME ORANLARINDA KAYAÇLARDAKİ BAZI MEKANİK ÖZELLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Engin ÖZDEMİR

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

95 + xiv sayfa

2014

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Didem EREN SARICI

Bu çalışmada, sedimanter kökenli kayaçlarda suya doygunluk koşulları ve yükleme oranlarındaki değişimlerin bazı mekanik özelliklere etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında Doğu ve Güney Anadolu Bölgesi'nde (Malatya, Adıyaman, Erzurum) mermer olarak üretilen sedimanter kökenli kayaçlar kullanılmıştır. Belirlenen bölgelerde yapılan arazi çalışmalarında deneylerde kullanılmak üzere kayacı en iyi temsil edecek lokasyonlardan örnekler alınmıştır.

Derlenen örneklerin mineralojik ve kimyasal özellikleri XRD ve XRF ile belirlenmiştir. XRD sonucunda Malatya Bej ve Erzurum Traverten mermerlerinin kalsit, Adıyaman Emprador mermerinin ise kalsit ve dolomit bileşimli olduğu görülmüştür. XRF analizi sonuçlarına göre her üç kayacın ana bileşeninin CaO olduğu görülmüştür. Adıyaman Emprador mermerinde MgO ikincil önemli oksit bileşeni olarak yer almaktadır.

Kayaç örnekleri %0, %35, %70 ve %100 doygunluk oranlarında mekanik testlere (Schmidt çekici sertlik tayini, Shore Sclereskobu sertlik tayini, Nokta yükleme dayanımı, Endirekt çekme dayanımı, Tek eksenli basma dayanımı, P dalga hızı) tabii tutularak değişimler incelenmiştir. Tek eksenli basma dayanımı deneyi her bir doygunluk derecesi için farklı yükleme oranlarında gerçekleştirilmiştir. Tüm dayanım değerlerinin doygunluk oranındaki artışa bağlı olarak azaldığı azalmanın en fazla Adıyaman Emprador mermerinde olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin Adıyaman Emprador mermerinin daha fazla gözenek içermesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Yükleme oranlarındaki artışa bağlı olarak tek eksenli basma dayanımı değerlerinde de artış görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kaya Mekaniği, Doygunluk Derecesi, Yükleme Oranı, Mekanik Özellikler, Mermer

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF SOME MECHANICAL PROPERTIES OF CHANGES AT DIFFERENT SATURATION DEGREE AND LOADING RATE ON ROCKS

Engin ÖZDEMİR

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering
95 + xiv pages
2014
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Didem EREN SARICI

The objective of this study is determine the effects of changes different saturation condition and loading rate on mechanical properties in some sedimentary rocks.

In the study sedimentary rock was used which is produced as marble in Eastern and Southern Anatolia Region (Malatya, Adıyaman, Erzurum). In field studies systematic and site samples were collected in location will represent the best of rock mass.

Mineralogical, chemical properties were determined by XRD and XRF analysis. According to XRD analysis Malatya Beige and Erzurum Travertine marbles consists mainly of calcite, Adıyaman Emprador marble calsite and dolomite minerals. In the applied XRF analysis it was determined that marbles are composed of CaO.

Rock samples are subjected to some mechanical tests (Schmidt hardness, Shore hardness, point load strength test, Brazilian test, Uniaxial compressive strength, P wave velocity) and changes are examined. The uniaxial compressive strength test was carried out at different loading rate for each degree of saturation. It was determined that all strength values decreased with increased the saturation degrees. The greatest reduction was realized on Adıyaman Emprador marble because of comprises more pores. Depending on the increase in loading rate uniaxial compressive strength values also increased.

Keywords: Rock Mechanics, Saturation Degree, Loading Rate, Mechanical Properties, Marble

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının konusunu öneren ve çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Didem EREN SARICI'ya;

Çalışmalarımızda; her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Bülent TÛTMEZ'e, Yüksek Lisans tez jüri üyelerim Prof. Dr. Mehmet ÖNAL, Doç. Dr. Tolga DEPCİ ve Doç. Dr. Hikmet SİS'e;

Çalışmayı 2013/162 nolu proje ile maddi açıdan destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne;

Tezin yazım aşamasında katkılarından dolayı Arş. Grv. Fatih KANTARCI, Arş. Grv. Talha SARICI ve Arş. Grv. Müslüm Murat MARAŞ'a;

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak amacıyla numune sağlayan Tercih Mermer A.Ş., Alacakaya Mermer A.Ş. ve Bilçag Mermer A.Ş'ye; deney malzemelerinin laboratuvar ortamına taşınmasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Fatih KAYA, Hayati OKUR, Talip PEKER, Ömer KIZILTAŞ, Durdu Mehmet ÇAY ve sevgili dayım Hüseyin AKYAR'a;

Ayrıca, bugüne kadar olduğu gibi, yüksek lisans eğitimim süresince de maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve özellikle babam Sabri ÖZDEMİR'e

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Amacı.....	3
1.2. Kapsam.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Kaya Mekaniği Tanımı ve Gelişimi.....	4
2.2. Kayaçların Mühendislik Özellikleri.....	4
2.2.1. Jeolojik özellikler	4
2.2.2. Kayaçların fiziksel özellikleri	5
2.2.2.1. Özgül ağırlık.....	5
2.2.2.2. Yoğunluk.....	5
2.2.2.3. Birim hacim ağırlığı	5
2.2.2.4. Ağırlıkça ve hacimce su emme	6
2.2.2.5. Porozite	6
2.2.3. Kayaçların mekanik özellikleri	7
2.2.3.1. Tek eksenli basınç dayanımı	7
2.2.3.2. Nokta yükleme dayanımı	8
2.2.3.3. Endirekt çekme (Brazilian) dayanımı	9
2.2.3.4. Sonik hız	10
2.2.4. Sertlik	11
2.2.4.1. Mohs sertlik tayini	11
2.2.4.2. Schmidt çekici sertlik tayini.....	11
2.2.4.3. Shore Sclerescopertlik tayini	12
2.2.5. Kayaçların mineralojik ve petrografik özellikler	12
2.2.5.1. X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD).....	13
2.2.5.2. X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)	14
3. LİTERATÜR TARAMASI	15
3.1. Yükleme Hızının Kayaçların Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	15

3.2. Yükleme Hızı İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar	15
3.3. Doygunluğun Kayaçların Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi	18
3.4. Doygunluk İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar	19
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
4.1. Örnek Derleme	22
4.2. Deneysel Çalışmalar.....	22
4.2.1. Örnek hazırlama	22
4.2.2. Kullanılan araç-gereç ve kimyasallar	24
4.2.3. Kayaçların fiziksel özelliklerini belirleyen deneyler	25
4.2.3.1. Birim hacim ağırlığı deneyi	25
4.2.3.2. Su emme deneyi	26
4.2.3.3. Porozite tayini	28
4.2.3.4. Özgül ağırlık tayini	28
4.2.3.5. Doluluk oranı tayini	30
4.2.3.6. Sertlik	30
4.2.4. Kayaçların mekanik özelliklerini belirleyen deneyler	32
4.2.4.1. Tek eksenli basma dayanımı deneyi	32
4.2.4.2. Nokta yükleme dayanımı deneyi.....	34
4.2.4.3. Sonik hız deneyi	36
4.2.4.4. Dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) deneyi	38
4.2.5. Kayaçların kimyasal ve mineralojik özelliklerini belirleyen deneyler	40
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	41
5.1. Çalışılan Kayaçların Fiziksel Özellikleri.....	41
5.1.1. Birim hacim ağırlığı.....	41
5.1.2. Su emme deneyi sonuçları	43
5.1.3. Özgül ağırlık deneyi sonuçları	44
5.1.4. Doluluk oranı	44
5.1.5. Porozite	45
5.1.6. Sertlik	45
5.2. Çalışılan Kayaçların Mineralojik Özellikleri	46
5.2.1. X-Işını toz kırınım desenleri	46
5.3. Çalışılan Kayaçların Kimyasal Özellikleri.....	48
5.3.1. XRF sonuçları	48
5.4. Çalışılan Kayaçların Mekanik Özellikleri.....	49

5.4.1. Tek eksenli basma dayanımı değeri	49
5.4.2. Nokta yükleme dayanımı deneyi sonuçları	59
5.4.3. Dolaylı yoldan çekme (Brazilian) deneyi sonuçları	65
5.4.4. P-dalga hızı sonuçları	72
5.5. Doygunluk Derecesine Bağlı Olarak Dayanım ve Sertlik Değerlerinin Değişiminin Grafıksel Olarak Gösterimi	75
5.5.1. Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağılı olarak değışimi	75
5.5.2. Nokta yükleme dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağılı olarak değışimi	76
5.5.3. Dolaylı yoldan çekme dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağılı olarak değışimi	77
5.5.4. P-dalga hızı değerlerinin doygunluk derecelerine bağılı olarak değışimi	78
5.5.5. Sertlik değerlerinin doygunluk derecelerine bağılı olarak değışimi	79
5.6. Yükleme Hızına Bağlı Olarak Tek Eksenli Basma Dayanımı Değerlerinin Değişiminin Grafıksel Olarak Gösterimi	81
5.6.1. Bej mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağılı olarak değışimi	81
5.6.2. Emprador mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağılı olarak değışimi	82
5.6.3. Traverten mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağılı olarak değışimi	83
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	85
6.1. Sonuçlar	85
6.2. Öneriler	88
7. KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	XRD Cihazı	13
Şekil 4.1.	Karot alma makinesi ve Karot ucu kesme ve düzeltme makinesi	23
Şekil 4.2.	Kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemede kullanılan numuneler	24
Şekil 4.3.	Shore Sklereskobu sertlik cihazı	31
Şekil 4.4.	Schmidt sertlik cihazı	32
Şekil 4.5.	Tek eksenli basma dayanımında kullanılan pres	33
Şekil 4.6.	Tek eksenli basma dayanımında kullanılan numuneler	34
Şekil 4.7.	Nokta yükleme test cihazı	35
Şekil 4.8.	Nokta yükleme deneyi için kullanılan numuneler	36
Şekil 4.9.	Sonik hız deneyi cihazı	37
Şekil 4.10.	Brazilian deneyi için kullanılan numuneler	39
Şekil 5.1.	Malatya Bej mermerinin X-Işını kırınım desenleri	47
Şekil 5.2.	Adıyaman Emprador mermerinin X-Işını kırınım desenleri	47
Şekil 5.3.	Erzurum Traverten mermerinin X-Işını kırınım desenleri	48
Şekil 5.4.	Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi	75
Şekil 5.5.	Nokta yükleme dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi	76
Şekil 5.6.	Dolaylı yoldan çekme dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi	77
Şekil 5.7.	P-dalga hızı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi	78
Şekil 5.8.	Schmidt sertlik değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi	79
Şekil 5.9.	Shore sertlik değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi	80
Şekil 5.10.	Bej mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi	81
Şekil 5.11.	Emprador mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi	82
Şekil 5.12.	Traverten mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflaması	8
Çizelge 2.2.	Bieniawski 1975'e göre kayaçların nokta yükü dayanım indekslerine göre sınıflaması	9
Çizelge 2.3.	Anon 1979'a göre kayaçların P dalga hızlarına (Vp) göre sınıflaması	10
Çizelge 2.4.	ISRM 1978'e göre kayaçların Schmidt sertlik çekicine göre sınıflaması	12
Çizelge 5.1.	Malatya Bej mermerinin birim hacim ağırlığı değerleri	41
Çizelge 5.2.	Adıyaman Emprador mermerinin birim hacim ağırlığı değerleri	42
Çizelge 5.3.	Erzurum Traverten mermerinin birim hacim ağırlığı değerleri	42
Çizelge 5.4.	Malatya Bej mermerinin su emme değerleri	43
Çizelge 5.5.	Adıyaman Emprador mermerinin su emme değerleri	43
Çizelge 5.6.	Erzurum Traverten mermerinin su emme değerleri	44
Çizelge 5.7.	Çalışılan kayaçların özgül ağırlık değerleri	44
Çizelge 5.8.	Çalışılan kayaçların doluluk oranı değerleri	44
Çizelge 5.9.	Çalışılan kayaçların görünür porozite değerleri	45
Çizelge 5.10.	Çalışılan kayaçların gerçek porozite değerleri	45
Çizelge 5.11.	Deneyde kullanılan kayaçların farklı doygunluk derecelerindeki sertlik değerleri	46
Çizelge 5.12.	Çalışılan mermerlerin XRF sonuçları	49
Çizelge 5.13.	Malatya Bej mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,5 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	50
Çizelge 5.14.	Malatya Bej mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,75 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	51
Çizelge 5.15.	Malatya Bej mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 1,0 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	52
Çizelge 5.16.	Adıyaman Emprador mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,5 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	53
Çizelge 5.17.	Adıyaman Emprador mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,75 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	54
Çizelge 5.18.	Adıyaman Emprador mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 1,0 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	55
Çizelge 5.19.	Erzurum Traverten mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,5 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	56

Çizelge 5.20.	Erzurum Traverten mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,75 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	57
Çizelge 5.21.	Erzurum Traverten mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 1,0 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	58
Çizelge 5.22.	%0 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	59
Çizelge 5.23.	%35 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	60
Çizelge 5.24.	%70 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	60
Çizelge 5.25.	%100 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	61
Çizelge 5.26.	%0 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	61
Çizelge 5.27.	%35 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	62
Çizelge 5.28.	%70 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	62
Çizelge 5.29.	%100 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	63
Çizelge 5.30.	%0 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	63
Çizelge 5.31.	%35 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	64
Çizelge 5.32.	%70 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	64
Çizelge 5.33.	%100 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri	65
Çizelge 5.34.	%0 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	66
Çizelge 5.35.	%35 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	66
Çizelge 6.36.	%70 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	67
Çizelge 5.37.	%100 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	67
Çizelge 5.38.	%0 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	68
Çizelge 5.39.	%35 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	68

Çizelge 5.40.	%70 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	69
Çizelge 5.41.	%100 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	69
Çizelge 5.42.	%0 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	70
Çizelge 5.43.	%35 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	70
Çizelge 5.44.	%70 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	71
Çizelge 5.45.	%70 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri	71
Çizelge 5.46.	Farklı doygunluk derecelerinde Malatya Bej mermerinin P-dalga hızındaki değişimleri	72
Çizelge 5.47.	Farklı doygunluk derecelerinde Adıyaman Emprador mermerinin P-dalga hızındaki değişim	73
Çizelge 5.48.	Farklı doygunluk derecelerinde Erzurum Traverten mermerinin P-dalga hızındaki değişim	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°	Derece
°C	Santigrat Derece
cm	Santimetre
cm ²	Santimetrekare
cm ³	Santimetreküp
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneği
ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği
gr	Gram
Kg	Kilogram
Kgf	Kilogramkuvvet
kN	Kilo Newton
L/D	Boy/Çap
m	Metre
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
mm ³	Milimetreküp
MPa	Mega Pasgal
N	Newton
NX	Çapı 54mm olan karotiyer
UCS	Tek Eksenli Basma Dayanımı
µs	Mikro saniye
XRD	X-Işını Kırınım Yöntemi
XRF	X-Işınları Floresans Spektrometresi

1.GİRİŞ

Yeraltında veya yer üstünde kaya içerisinde bir kazı yapıldığında, karşımıza çıkan madde kaya kütlesi olarak tanımlanır. Kaya kütlesi bloklar halindeki kaya maddesi ile bunları birbirinden kısmen veya tamamen ayıran tabakalaşma düzlemleri, eklem takımları, kıvrımlar, faylar gibi süreksizliklerden oluşan arazideki kaya ortamıdır. Kaya kütlesinden süreksizlikleri ve bozunmuş profili ile ayrılan yapıya ise kaya maddesi denilmektedir. Kaya maddesi kayayı tanımlamak için kullanılan bir terimdir ve süreksizlikler arasında kalan sağlam ve bütün haldeki kayayı ifade eden en küçük kaya birimidir. Kayaların değişik yükler altında davranışları incelenirken kaya maddesi ve kaya kütlesi arasındaki farkın anlaşılması gereklidir. Kaya kütlesi içinde bulunan kaya maddesi ve süreksizlikler gibi yapısal elemanların durumu ve dağılımı da kaya yapısı olarak adlandırılır. Kaya kütlesinin madencilik faaliyetleri sırasındaki davranışına kaya yapısının önemli bir etkisi vardır. Bu nedenle tasarım mühendisi kaya yapısının özelliklerini ayrıntılarıyla göz önünde bulundurmalıdır [1,2].

Kaya maddesini mühendislik sınıflaması açısından tanımlamaya yönelik özellikler indeks özellikler olarak adlandırılır. Bu özellikler inşaat ve maden kazılarının dizayn ve planlama aşamasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca kayacın indeks özellikleri; kaya patlamalarının etkilerinin belirlenmesinde, şev stabilitesi analizlerinde, yeraltında yapılan kazı, tünel ve baraj inşaatlarında kullanılan önemli parametrelerdendir. İndeks özellikler arasında çok güçlü korelasyonlar bulunmaktadır. İndeks özellikleri belirlemeye yönelik deneyler ucuz, kısa sürede yapılabilir olmaları nedeniyle sıklıkla kullanılırlar. Ancak indeks deneyler sonucunda elde edilen değerler mühendislik tasarımında doğrudan kullanılamamaktadır. Kayaçların tek ve üç eksenli sıkışma koşulları, çekme ve makaslama kuvvetleri altındaki davranışları ve bunlarla ilgili parametreler ise mühendislik tasarımında dikkate alınan girdi parametreleri olup tasarım deneyleri olarak gruplandırılan deneyler ile tayin edilmektedirler [3,4].

Mekanik özellikler, tasarım aşamasında veya herhangi bir yapının duraylılık analizinde kullanılan girdi parametrelerindendir ve uygulanan kuvvetlerin etkisiyle hangi şartlarda kayacın esnediğinin ve kırıldığının göstergesidirler. Metaller ve beton tekdüze bir malzeme kompozisyonuna sahip oldukları için laboratuvarında bulunan

değerler uygulamada da geçerlidir. Ancak kayaçlar için aynı durum geçerli değildir. Ayrıca bölgesel süreksizlikler (eklem, fay gibi) de kayaçları etkilemektedirler. Dolayısıyla kayaçların bütünü temsil edecek şekilde mekanik deneyler yapılmadıkça sonuçlar o kayacı temsil edemez. Laboratuvar deneyleri ile kaya maddesi davranışlarını kestirmek ve bunun yanı sıra kaya kütlelerini sınıflandırarak kazı sırasındaki davranışlarını önceden belirlemeye çalışmak gereklidir [5,6].

Kayaçlarda tek eksenli basma dayanımı kaya malzemesinin dayanımı ile ilgili bilgi veren bir parametre olup diğer kaya özellikleri gibi tünelcilik, şev duraylılığı ve daha birçok mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Ancak bu test göreceli olarak zaman alıcı, pahalı ve örnek hazırlığı zor olan bir yöntemdir. Nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği, ultrasonik test teknikleri, yoğunluk, porozite gibi daha az sayıda örnek hazırlığı gerektiren farklı dolaylı test yöntemleri ile de belirlenmesi mümkündür. Tek eksenli basma dayanımı kayaçların mineralojik ve yapısal özelliklerinden de çok etkilenmektedir [7-9].

Kaya özelliklerinin laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi genelde özel emek ve dikkat gerektiren bir konu olmasından ötürü, kaya özelliklerinin tahminine yönelik pek çok güvenilir dolaylı yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Kayaçların mekanik özelliklerinin tahmin edilmesi, mühendislik projelerine uygun ekipman seçiminde fayda sağlamaktadır [3,10].

Günümüzde laboratuvar ortamında kolay bir biçimde yapılabilen deneyler ile kaya malzemesinin dayanım, deformabilite ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Ayrıca, geleneksel istatistiksel yöntemler kullanarak, laboratuvar ortamında elde edilmiş değerler ile kayaçların özelliklerini saptamışlardır. Ancak yapılan bu deneysel kaya mekaniği deneylerinde kayaçların doygunluk koşulları çok dikkate alınmamıştır [11].

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada; Doğu Anadolu Bölgesinde mermer olarak (Malatya, Adıyaman ve Erzurum) üretilmekte olan bazı sedimanter kökenli kayalarda farklı suya doygunluk dereceleri ve yükleme oranlarındaki fiziksel ve bazı mekanik özelliklerin değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2. Kapsam

Bu tez çalışması, araziden örnek derlenmesi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür:

- 1) Örnek derlenmesi yapılırken kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerini saptamak için kayacı temsil edecek en uygun lokasyonlardan temsili numuneler alınmıştır.
- 2) Laboratuvar çalışmalarında kayaların birim hacim ağırlığı, su emme, özgül ağırlık, porozite gibi fiziksel özellikleri, farklı doygunluk koşullarında tek eksenli basma dayanımı, dolaylı yoldan çekme dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve P-Dalga hızı tayini, farklı yükleme koşullarında tek eksenli basma dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca kayaların kimyasal içerikleri XRF ile mineralojik yapısı ise XRD ile belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kaya Mekaniği Tanımı ve Gelişimi

Mekaniğin bir alt dalı olan kaya mekaniği; kayaların mekanik davranışını uygulamalı ve teorik olarak inceleyen, basınç altında kaya kütlesindeki değişiklikleri belirlemeye çalışan, maden, jeoloji, inşaat gibi çok sayıda mühendislik disiplinini ilgilendiren ve bunlarla ilgili pek çok mühendislik yapısının tasarımında doğrudan kullanılabilen uygulamalı bir bilim dalıdır [5,12].

Kaya mekaniği ile ilgili çalışmalar; 1950'li yıllarda kaya fiziği adı altında başlamış, inşaat ve maden mühendisliği alanlarında gelişerek kendi başına bir disiplin haline gelmiştir. 1963 yılında kurulan ve hızla büyüyen, günümüzde 37 ülkede 7000 civarında üyesi bulunan Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu bu konu üzerinde bir mihenk taşı olmuştur [13].

2.2. Kayaçların Mühendislik Özellikleri

2.2.1. Jeolojik özellikler

Kökenleri itibariyle kayalar magmatik, sedimanter ve metamorfik olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Mağmatik kayaçlar; magmanın yerin derinliklerinde, yüzeye yakın derinliklerinde veya yüzeyde soğuyarak katılaşması ile oluşan kayaçlardır. Bu tür kayaçların dayanımı doku ve kristal boyutlarına ve silis içeriğine bağlı olarak değişir. Sedimanter kayaçlar, önceden oluşmuş kayaçların parçalanması ve çimentolanmasıyla oluşurlar. Bu tür kayaçların dayanımı daha çok çimento malzemesine bağlı olarak değişir. Metamorfik kayaçlar ise magmatik ve sedimanter kayaçların ısı ve basınç altında tekrar kristallenmesi ile oluşurlar [14].

2.2.2. Kayaçların fiziksel zellikleri

Kayaçlar sınıflandırılırken veya çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılırken (tünel, maden ocakları, baraj, yol, köprü vb.) sahip oldukları fiziksel-mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemek için laboratuvarı ve arazide deneyler yapılmaktadır [15].

2.2.2.1. Özgül ağırlık

Özgül ağırlık, bir cismin birim hacim ağırlığının +4 ⁰C’deki suyun birim hacim ağırlığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Özgül ağırlık tayini, kayacın bağıl yoğunluğunun ölçümü ile ilgilidir.

2.2.2.2. Yoğunluk

Yoğunluk kayacın kuru veya suya doğun halde kütlesinin hacmine oranı olarak tanımlanırken, birimi gr/cm³ olarak ifade edilmektedir.

2.2.2.3. Birim hacim ağırlığı

Birim hacimdeki kayacın toplam ağırlığı olarak ifade edilen birim hacim ağırlığı; kayacın mineralojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Az gözenekli, az su emme zellığıne ve yüksek yoğunluğa sahip kayaçlarda birim hacim ağırlık değeri yüksektir.

2.2.2.4. Ağırlıkça ve hacimce su emme

Kayaçların su emme özelliği, kayacın ağırlıkça ve/veya hacimce boşlukların alabileceği su emme miktarlarıdır. Kaya kütlesi içerisinde bulunan boşluklar, çatlaklar ve gözenekler kayacın dayanımını azaltır. Kapalı uçlu boşluk yapılarının su geçirme ve su emme özelliği az, açık uçlu boşluk yapılarının su geçirme ve su emme özelliği daha yüksektir.

2.2.2.5. Porozite

Gözeneklilik olarak da adlandırılan porozite, kayacı oluşturan tanelerin meydana getirdikleri boşluklu yapılara denir ve kayaçalarda bulunan boşluk hacminin ölçümü ile belirlenir. Porozite kayaçların su, gaz, petrol tutma kapasitelerini etkiler [16]. Gözenekliliğe etki eden başlıca parametreler şunlardır:

Tane Şekli: Sedimanter kayaçların yapısını belirleyen faktörlerden bir tanesi olan tane şekli porozite üzerinde de etkili olmaktadır. Tanelerin köşeliliği arttıkça porozite artar [16].

Tanelerin Sıralanma Şekli: Kayaç içinde tanelerin istiflenme şekli porozitenin artmasına ve azalmasına sebep olur. Örneğin kübik istiflenmede gözeneklilik yaklaşık %47 iken rombohedral istiflenmede bu değer yaklaşık %26'dır.

Tane Boyu Dağılımı: Tanelerin boyutları birbirine ne kadar yakın ise taneler arasındaki gözeneklilik o kadar fazladır. Tane boyutları birbirinden farklı ise iri taneler arasına ufak taneler yerleşerek gözenekliliği düşürmektedir.

Çimentolanma Derecesi: Çimentolanma derecesi ne kadar fazla ise gözeneklilik o kadar düşük olmaktadır [16].

Sıkışma: Sıkışma ile kayacın hacmi azalacağından dolayı, gözeneklilikte buna bağlı olarak azalma göstermektedir.

2.2.3. Kayaçların mekanik özellikleri

Dayanım; kaya malzemesi üzerine dışarıdan etki eden kuvvete karşı kayacın gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Eğer etkiyen kuvvet kayacın dayanımından yüksek olursa, kaya bu dış kuvvete direnç gösteremez ve kırılma meydana gelir. Kaya malzemesinin yenilme noktası ise kayacın dayanım değerini verir.

Yeraltı ve yerüstü mühendislik yapılarının tasarımında, kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, inşaat, maden ve jeoloji mühendisleri için çok önemlidir. Bazı fiziksel ve kimyasal özellikler ile kristallenme derecesi, su emme, süreksizlikler ve ayrışma derecesi gibi parametreler kayaçların mekanik özelliklerine etki etmektedir [15].

2.2.3.1. Tek eksenli basınç dayanımı

Kayaçların mekanik özelliklerinin saptanmasında ve kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında en yaygın olarak kullanılan mekanik parametre tek eksenli basınç dayanımı olup, hem Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) hem de Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir [17].

Tek eksenli basınç dayanımı, belirli boyutlardaki kayacın, belirli doğrultuda etkiyen kuvvet karşısında kırılmaya karşı göstermiş oldukları dirençtir. Bir başka şekilde ifade edecek olursak bir kayacın tek eksenli basma dayanımı, kayacın kırılmadan önce göstermiş olduğu maksimum dayanımdır [18,19].

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı;

- ✓ Litoloji
- ✓ Ayrışma Derecesi
- ✓ İzotropluk
- ✓ Süreksizlik
- ✓ Çimentolanma ve Kristallenme Derecesi

- ✓ Su İçeriği
- ✓ Homojenlik tarafından etkilenmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda;

- ✓ Numunenin boy/çap (L/D) oranı
- ✓ Yükleme Hızı
- ✓ Numunenin alt ve üst yüzeylerinin nitelikleri

gibi özellikler ve deney şartları kayacın basınç dayanımına etki ettiği belirlenmiştir [15].

Çizelge 2.1’de ISRM 1978’e göre kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflaması verilmiştir [20].

Çizelge 2.1.Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflaması

Sınıf	Tanım	Tek Eksenli Basma Dayanımı Değeri (MPa)
A	Çok yüksek dayanımlı	>225
B	Yüksek dayanımlı	225-101
C	Orta dayanımlı	100-50
D	Orta-düşük dayanımlı	50-26
E	Düşük dayanımlı	25-6
F	Çok düşük dayanımlı	5-1

2.2.3.2. Nokta yükleme dayanımı

Nokta yükleme dayanımı indeksi kayaların dayanım sınıflandırmasının yapılmasında, anizotropilerinin belirlenmesinde, tek eksenli basma dayanımı değerinin dolaylı yoldan tahmin edilmesinde kullanılan hem düzgün geometrik şekilde hem de düzgün geometrik şekle sahip olmayan numuneler kullanarak arazide ve laboratuvarında kolay uygulanabilen bir mekanik özelliktir. Birçok araştırmacı tek eksenli basma dayanımı değeri ile nokta yükleme dayanımı indeks arasında

bağlantıyı ortaya koymak için farklı kökenli (magmatik, metamorfik ve tortul) kayalar üzerlerinde deneyler yaparak çeşitli eşitlikler önermiştir. Bu eşitliklerin çoğu benzer sonuçlar vermesine rağmen, bütün kayaç tipleri için nokta yükleme dayanım indeksi değeri ile tek eksenli sıkışma dayanımı tahminine yönelik tek bir faktör yoktur. Araştırmacılar çapsal nokta yükleme dayanımı tayini metodunu kullanarak tek eksenli basma dayanımını belirlemeye çalışmışlardır. Ancak eksenel ve şekilsiz numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme dayanımı deneyi ile çok fazla araştırma bulunmamaktadır [17,21].

Çizelge 2.2’de Bieniawski 1975’e göre kayaçların nokta yükü dayanım indekslerine göre sınıflaması verilmiştir [22].

Çizelge 2.2. Bieniawski 1975’e göre kayaçların nokta yükü dayanım indekslerine göre sınıflaması

Kaya Sınıfı	Nokta Yükleme Dayanımı İndeksi (MPa)
Çok düşük dirençli	<1
Düşük dirençli	1-2
Orta dirençli	2-4
Yüksek dirençli	4-8
Çok yüksek dirençli	>8

2.2.3.3. Endirekt çekme (Brazilian) dayanımı

Kayaç numunelerinin tek eksenle birbirlerine zıt yönde etkiyen kuvvetlere karşı göstermiş oldukları direnç çekme dayanımı olarak adlandırılmaktadır. Kayaçların çekme dayanımı, doğrudan ve dolaylı yoldan olmak üzere iki şekilde yapılır. Dolaylı yoldan çekme dayanımı tayini 1943 yılından beri kayaçlarda ve beton gibi diğer kırılğan malzemelerde, hazırlanan dairesel disklerin çapsal basınç altındaki dayanımlarının belirlenmesi esasına göre uygulanır. Örnek numunelerin hazırlanması ve deneyin yapılışı bakımından tek eksenli çekme dayanımına (doğrudan yöntem)

göre daha basit ve az zaman alması nedeniyle, Brazilian (dolaylı yöntem) yöntemi daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [23].

2.2.3.4. Sonik hız

Ultrasonik teknikler madencilik, jeoteknik, petrol, doğalgaz ve yer altı çalışmalarında yıllardır kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin hem laboratuvar hem de arazide kolay uygulanabilir olması ve yıkıcı olmaması yaygın biçimde kullanılmasını sağlamıştır. P-dalga hızı yardımıyla kayaların dayanım ve deformabilite özelliklerinin kestirimi, son dönemlerde ilgi çekici konular arasında yer almaktadır. P-dalga hızı ile kayacın mineralojik ve petrografik özellikleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Kaya maddesinin tane boyutu ve şekli, yoğunluğu, porozitesi, anizotropisi gibi özelliklerinin yanı sıra, kaya kütlesinin yataklanma özellikleri, süreksizliklerin durumu, derinlik ve su içeriği gibi özellikler sismik dalgaların kayaç içinde iletimini etkilemektedir [24-27].

Çizelge 2.3'te Anon 1979'a göre kayaların P dalga hızlarına (V_p) göre sınıflaması verilmiştir [28].

Çizelge 2.3. Anon 1979'a göre kayaların P dalga hızlarına (V_p) göre sınıflaması

Sınıf	V_p (m/sn)	Tanımlama
1	< 2500	Çok düşük hız
2	2500-3500	Düşük hız
3	3500-4000	Orta hız
4	4000-5000	Yüksek hız
5	>5000	Çok yüksek hız

2.2.4. Sertlik

Bir mineralin dışarıdan gelen mekanik bir etkiye karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanan sertlik minerallere özgü bir özelliktir. Kayacın içinde bulunan minerallerin sertliği kayacın sertliğini belirler. Özellikle mermer sektöründe ocak işletmeciliğinde kayacın kesilmesi ve işlenmesi aşamalarında uygun makine-ekipman seçimini yapabilmek için belirlenmesi gerekli olan bir özelliktir. Kayaçların sertlikleri Mohs, Sciheimidt ve Shore sertlik yöntemlerle belirlenebilir [29].

2.2.4.1. Mohs sertlik tayini

Mohs sertlik sınıflaması sertlik değeri belli olan 10 tane mineral baz alınarak oluşturulmuştur. Bu sınıflamaya göre en yumuşak mineral Talk (sertlik 1) iken, en sert mineral ise Elmas (sertlik 10)'dır.

2.2.4.2. Schmidt çekici sertlik tayini

Kolay, pratik ve ucuz bir deney yöntemi olan Schmidt çekici ile sertlik tayini, kaya ve betonların sertliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak Schmidt çekici yöntemi sert kayaçlarda çok elverişli iken, yumuşak kayaçlarda çok sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Schmidt çekici yalnız laboratuvar ortamında değil aynı zamanda arazide de kullanılabilir. Kayaçların yüzey pürüzlülüğü, nem içeriği, numune boyutu Schmidt çekici sertlik değerini etkiler. Schmidt sertlik değerini laboratuvar ortamında belirlerken, karot numuneleri ve sağlam bloklar kullanılır. Ayrıca Schmidt çekici sertlik değeri tek eksenli basma dayanımının dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır [8,11].

Çizelge 2.4'te kayaçların ISRM 1978'e göre Schmidt çekici sertlik değerlerine göre sınıflaması verilmiştir [30].

Çizelge 2.4. ISRM 1978'e göre kayaçların Schmidt sertlik çekicine göre sınıflaması

Schmidt çekici değerleri	Kaya sertlik tanımı
0-10	Yumuşak
11-20	Az yumuşak
21-40	Az sert
41-50	Sert
51-60	Oldukça sert
>60	Çok sert

2.2.4.3. Shore Sclerescope sertlik tayini

Kayaçların fiziksel özelliklerinin önemli bir göstergesi olan Shore sertlik değeri Shore Sclereskobu ile tayin edilmektedir. Shore Sclereskobu taşınabilir ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle hem laboratuvar hem de arazi koşullarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Shore sertliği kayacı oluşturan minerallerin tane boyutu, tane şekli, tanelerin birbiriyle bağlanma şekli gibi özelliklerden etkilenmektedir [31].

2.2.5. Kayaçların mineralojik ve petrografik özellikler

Kayaçlar heterojen ve anizotrop materyallerdir. Kayaçların dayanıklılığına etki eden ana faktörler kayacın mineralojik bileşimi ve dokusudur. Mineral cinsinin yanı sıra bu mineraller arasındaki bağlantı da çok önemlidir. Birbirine kenetlenmiş minerallerden oluşan bir kayacın sağlamlığı daha fazladır. Sedimanter kökenli kayaçlarda taneler genelde matriks ya da çimento malzemesiyle birbirine bağlanırlar. Matriks/çimentonun miktarı ve daha az etkili olmak üzere cinsi, kayacın sağlamlığına, yoğunluğuna ve gözenekliliğine etki eder [32].

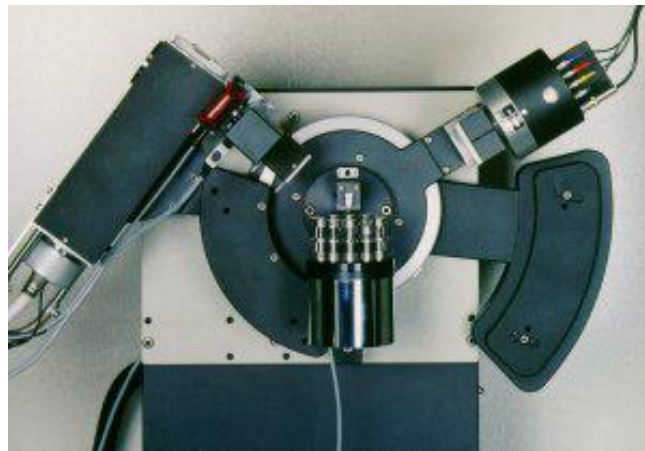
Kayaçların dayanım ve deformabilite özellikleri ile mineralojik içeriği arasında güçlü bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bu yüzden hem kayacın mineral bileşimini hem de kayacın içerisindeki minerallerin yüzde oranlarını belirlemek oldukça önemlidir.

Kayaaları oluşturan minerallerin cinslerini, renklerini, kristal şeklini, boşluklu yapılarını, kılcal çatlaklarını, kimyasal içeriklerini, gözenek boyutlarını, bağlayıcı madde cinsini, tane şeklini, tane büyüklüğünü ve dolgu kısımlarını analizler yardımıyla tespit etmek mümkündür. Bu verileri elde etmek için başlıca analizler XRD, XRF, SEM ve İnce kesit analizidir.

2.2.5.1. X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD)

Maddelerin karakterizasyonu ve yapısını belirlemek amacıyla kullanılan X-Işını kırınım yöntemi (XRD), her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-Işınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristal fazı için bu kırınımlar bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. XRD X-Işını denilen Ultraviyole ışından daha kuvvetli ama Gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılır.

X-Işını kırınım metodu, numuneyi tahrip etmez ve çok az miktarda örnekle gerçekleştirilebilir. rneğe X-Işını göndererek kırılma ve dağılma verileri toplanır. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde analiz edilmektedir. şekil 2.1’de ışını üreten sol st başlık ile dedektör (sağ st) birbirine V şeklinde bir açıyla bağlanmışır. Bu aı değişebilmekte olup orta hazne örnek yklemei için kullanılmaktadır.



şekil 2.1. XRD Cihazı

2.2.5.2. X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)

XRF ile analiz yöntemi, X-Işınının analiz edilen malzemeye etkileşimiyle oluşan ikincil X-Işınlarının karakteristik dalga boyu ve şiddetinin ölçülmesiyle niteleyici ve niceleyici element analizinin yapıldığı tahribatsız bir analitik yöntemdir. Niteleyici ve niceleyici analiz, XRF cihazında yer alan özel bir kristalde ışınların kırınımına uğraması sonucu dalga boylarına ayrılması ve şiddetlerinin ölçülmesiyle yapılır.

Çevresel uygulamalar, jeoloji ve mineraloji, metalurji ve kimya endüstrisi, boya endüstrisi, değerli taşlar, yakıt analizi, gıda kimyası, tarım, arkeoloji ve sanat tarihinde yaygın olarak XRF kullanılmaktadır.

3. LİTERATÜR TARAMASI

3.1. Yükleme Hızının Kayaçların Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi

Birçok araştırmacı, sağlam kayaçların sıkışma ve deformabilite özelliklerinin yükleme hızı tarafından nasıl etkilendiğini araştırmış ve yükleme hızının kayaçların mekanik özellikleri üzerinde büyük etkileri olduğunu belirlemişlerdir [33, 34, 36]. Yükleme hızının kayaç dayanımına etkilerinin belirlenmesi, kayaçların doğal ortamlarında kararlılık analizi ve tasarım özelliğini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Yükleme hızının artmasıyla kayanın dayanım değerinin, geriliminin ve elastisite modülünün arttığı saptanmıştır [34].

Araştırmacılar, yükleme hızının kayaç dayanımı üzerindeki etkisini araştırırken genelde kuru numuneler kullanmışlardır. Kayaçların yükleme hızı ile tek eksenli çekme dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kesme dayanımı arasında ilişki olduğu bilinmektedir. Suyu doygunluk koşullarının yükleme hızı ile birlikte kayaç dayanımına ne tür etkiler yaptığı çok fazla irdelenmemiştir [35].

3.2. Yükleme Hızı İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Backers vd. (2003), Magdeburg (Almanya) bölgesine ait kırmızı kumtaşı numunelerin farklı yükleme koşulları altında (5×10^{-6} ile 5×10^{-10} m/s) eğilmeye karşı göstermiş olduğu dirençlerini araştırmışlar, numuneler üzerine etki eden yükleme oranı artıkça kayacın dayanım değerlerinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda yükleme oranının artmasıyla kayacın plastiklik özelliğinin azalmakta olduğunu ve yükleme hızı ile çatlama yoğunluğu arasında da bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir [36].

Okuba vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada kayaçların yükleme hızı ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişler ve yükleme hızı artıkça kayaçların elastisite modülü ve kırılma yükünün arttığını belirlemişlerdir [37].

Hashiba vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada kayaçların viskoelastiklik özelliğini saptamak için iki farklı yükleme koşulunda gerilme-deformasyon eğrisini belirlemişlerdir. Geleneksel yöntemlerle elde edilmiş sonuçlardan faydalanılarak yapmış oldukları çalışmada; kayacın yükleme oranına bağımlı 'n' parametre değerini elde etmişler ve yükleme oranı arttıkça bu değerin arttığını saptamışlardır. Araştırmacılar, aynı zamanda deneyler sonucunda elde ettikleri 'n' parametresi ile kayacın akma süresi arasında ilişki olduğunu belirlemişlerdir [38].

Lei vd. (2008), yükleme-deformasyon eğrisinin yükleme oranı ile ilişkili bir parametre olduğunu ve kayaçların yeryüzünde homojen bir dağılım izlemediği için yükleme oranının farklı uygulanması gerektiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, Japonya'da bulunan Tage Tüflerini ve Sanjome Andezitlerini deney numunesi olarak kullanmışlardır. Kayaçların gerilme-deformasyon eğrisini belirlemek için farklı yükleme oranlarında doğrudan ve dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneylerini uygulamışlardır. C_1 ve C_2 olarak adlandırılan yükleme oranları ile σ_1 ve σ_2 çekme dayanımı değerlerini saptamışlar ve yükleme oranları ve dayanım değerlerine bağlı 'n' olarak adlandırılan bir parametre elde etmişlerdir. Sonuç olarak; kayacın dayanımının viskoelastik özelliği ile ilişkili olduğunu ve yükleme hızı arttıkça buna bağımlı olarak arttığını belirtmişlerdir [39].

Zhou vd. (2010), kireçtaşlarının çatlama dayanıklılığının eğilme dayanımı deneyi ile farklı yükleme koşulları altında nasıl değiştiğini araştırmışlardır. Araştırmacılar, yük aralığını 9×10^{-4} 'den $1,537 \text{ MPaxm}^{1/2}\text{s}$ 'ye kadar geniş bir aralık seçerek kireçtaşı numuneleri üzerinde deneyler gerçekleştirmişler. $0,027 \text{ MPaxm}^{1/2}\text{s}$ 'den daha fazla yük uygulandığı zaman kireçtaşının yükleme hızının artmasıyla dayanımında farkedilir büyüklükte arttığı gözlemlenmiştir. Fakat $0,027 \text{ MPaxm}^{1/2}\text{s}$ 'den daha az uygulandığı zaman kireçtaşının yükleme hızının artmasıyla dayanımında önemli bir artış söz konusu olmadığını belirtmişlerdir [40].

Fuenkajorn vd. (2012), Maha Sarakham (Thailand) tuzlarının deformasyon ve dayanım özelliklerini farklı yükleme koşulları altında araştırmışlardır. 5,4 cm³ hacme sahip tuz numunelerini yanal ve düşey basınca tabi tutmuşlardır. Numune üzerine yanal basınç olarak 0, 3, 7, 12, 20 ve 28 MPa sabit yükler uygulanırken düşey yönde sabit olarak 0.001, 0.01, 0.1, 1 ve 10 MPa numune kırılincaya kadar artan bir yükleme oranına tabi tutulmuştur. Yükleme oranının artmasıyla kayaçların dayanım değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir [41].

Khamrat (2013), kayaçların kuru ve doygun halde farklı yükleme koşulları altındaki dayanım değişimlerini saptamak için Tak granit, Lopburi marl ve Lopburi mermerlerini deney numunesi olarak kullanmıştır. Hem kuru hem de tam doygun numuneler üzerine 0.001, 0.01, 0.1, 1 ve 10 MPa/s yükleme oranları uygulayarak dayanımlarındaki değişimleri gözlemiştir. Kayaçların elastisite modülünün yükleme oranı ile arttığı ve Young modülünün azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca poisson oranının yükleme oranından bağımsız olarak doygun örneklerin kuru örneklerle oranla çok küçük miktarda daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Üç tür kayaç içinde yükleme hızı artıkça dayanım değerleri yüksek çıkmıştır. 0,001 MPa/s gibi düşük yükleme oranlarında kuru ve doygun numunelerin Elastisite modülü ve Poisson oranları benzer çıkmıştır. Bu sonuca göre; eğer kayaç içinde bulundurduğu suyu/nemi kaybedecek zaman bulursa kayacın dayanımını etkilemeyeceğini belirtmiştir [42].

Okuba vd. (2013), tek eksenli basma, tek eksenli çekme, dolaylı yoldan çekme ve eğilme dayanımı deneylerini kullanarak kayaçların maksimum dayanım değerleri ile yükleme oranlarına bağlı 'n' parametresi elde etmişlerdir. Yükleme hızı artıkça kayacın dayanım değerinin arttığını, doygunluğun artışı ile azaldığını vurgulamışlardır [35].

3.3. Doygunluğun Kayaçların Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi

Su, genellikle sedimanter kayalarda yumuşama-kabarmalara yol açar. Örnek olarak, kömür ocaklarında görülen taban kabarması verilebilir. Suyun bu etkisi daha çok kil minerali içeren kayaç birimlerinde etkilidir. Çünkü kayaç su ile etkileştiğinde geri kazanılmayan deformasyonlar oluşur. Kuru durumda meydana gelen hacim azalması, doymun durumdaki hacim artışından daha azdır. Kuruma-suya doymun hale gelme döngüsünde oluşan deformasyonlar, kayaçlarda çatlakların oluşmasına, dayanımlarının azalmasına ve zamanla kırılmalara neden olur. Su içeriğinin artışı kayaçlarda dayanım ve elastisite modülünü azaltırken plastikliği artırır [5].

Kaya kütlesinde yer alan süreksizliklerde bulunan suyun en önemli etkisi, su basıncı nedeniyle etkin normal gerilmedeki azalmaya bağlı olarak makaslama dayanımında azalma meydana gelmesidir. Suyun kayadaki süreksizliğin kohezyon ve sürtünme özelliklerine olan etkisi dolgu ya da çimento malzemesinin karakterine bağlıdır. Sert kayaların birçoğunda ve birçok kumlu zemin ve çakıllarda bu özellikler suyun mevcudiyetiyle önemli ölçüde değişmezken, killerin çoğu, şeyller, çamurtaşları ve benzer malzemeler nem miktarındaki değişikliklere bağlı olarak önemli ölçüde değişiklikler gösterir. Bu nedenle makaslama deneyleri olabildiğince nem içeren kayanın yerinde (in situ) sahip olduğu nem içeriğine yakın numuneler üzerinde yapılmaktadır [43].

Kayacı oluşturan mineral kristal tane boyunun küçük olması, dayanımını artırırken su emme özelliğini azaltmaktadır. Kayacı oluşturan tanelerin iri olması durumunda ise suyun kayacın içine girişi kolaylaşmaktadır. Ayrıca heterojen mineralli kayaçlar homojen mineralli kayaçlara nazaran daha çabuk su almaktadırlar [44].

Kayacın su içeriğini ifade etmede kullanılan parametre (S) suya doymunluk oranıdır. Gözenekli bir ortamdaki boşlukların suyla doluluk oranlarının bir ifadesi olan doymunluk, boşluklarda bulunan su hacminin (V_w), boşluk hacmine (V_v) oranı olarak tanımlanmakta ve şu şekilde formüle edilmektedir:

$$S = \frac{V_w}{V_v} * 100 \quad (3.1)$$

3.4. Doygunluk İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Ajalloian ve Karimzadeh (2003), andezit kökenli kayaçlar üzerine kurulmuş olan Givi Barajının mühendislik özelliklerini belirlemek için kayaçların tek eksenli basma dayanımlarının su içeriği ile değişimini incelemişlerdir. Suya doymuş olan numunelerin dayanımının kuru numunelere göre %18 azaldığını gözlemlemişlerdir [45].

Sachpazis (2004), Bernican Great (İngiltere) bölgesinden temsili numuneler almış ve bu numuneleri A (hiç metamorfizmaya uğramamış), B (düşük metamorfizmaya uğramış), C (yüksek metamorfizmaya uğramış) ve D (tamamen metamorfik kayaç) olarak sınıflamıştır. Kayaçlara doymuş ve kuru halde çeşitli kaya mekaniği deneyleri uygulayarak gözlemlenen sonuçları karşılaştırmıştır. Bu sonuçlara göre; kayaçların doymuşluk derecesinin artmasıyla P-dalga hızının arttığını, fakat tek eksenli basma dayanım ve nokta yükleme dayanımının büyük ölçüde azaldığını belirlemiştir [46].

Barefield vd. (2006) çalışmalarında 9 farklı kumtaşı numunesi kullanarak farklı doymuşluk derecelerinde (%0, %20, %40, %60, %80, %100) tek eksenli basma dayanımının değişimini incelemişler ve doymuşluk artışına bağlı olarak tek eksenli basma dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir [47].

Romana vd. (2007), kayaçların doymuşluk derecelerinin mekanik özelliklere etkilerini belirlemesine yönelik yapılmış olan önceki çalışmaları inceleyerek, doymuşluk derecesi ile tek eksenli basma dayanımı (UCS) arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar sert kayaçlar, orta sert kayaçlar ve

yumuşak kayaçlar için doymuş ve kuru haldeki tek eksenli basma dayanımları arasında ampirik formüller geliştirmişlerdir [48].

Agustawijaya (2007), çalışmasında tek eksenli basma dayanımı 20 MPa'nın altında olan kumtaşı ve silttaşı örneklerini suya tam doymuş hale getirerek kuru ve doymuş haldeki basma dayanımlarını karşılaştırmış ve suya tam doymuşluk durumunda tek eksenli basma dayanımlarında %80'e kadar bir azalmanın izlendiğini kaydetmiştir [49].

Ergüler (2007), çalışmasında kil içeren kaya türlerinde su içeriğine bağlı olarak dayanım ve deformabilite özelliklerinin nasıl değiştiğini incelemiş ve bu değişimin kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleriyle ve arazi koşulları da göz önünde bulundurularak ıslanma-kuruma süreçleriyle birlikte değerlendirilmesi için bazı yaklaşımlar geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın sonucunda su içeriğindeki artışa bağlı olarak, bu kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarında %90 ve ortalama elastisite modüllerinde ise %93'e varan bir azalma olduğunu gözlemiştir [50].

Vasconcelos vd. (2008), çalışmalarında günümüze kadar hayatta kalan en yaşlı tarihi bina olan Masonry'yi (Portekiz) çalışma bölgesi olarak kullanmıştır. Granitin özelliklerini belirlemek için yıkıcı olmaması ve ucuz bir araç olması nedeniyle ultrasonik test cihazını kullanmıştır. Almış olduğu numuneleri kübik ($150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$), silindirik ($D=75\text{mm}$, $L=150\text{mm}$) ve prizmatik ($a=80\text{mm}$, $b=50\text{mm}$, $c=40\text{mm}$) numunelerde doymuş ve kuru örneklerin dalga hızlarını kıyaslayarak nem (su) içeriğinin etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar üç farklı örnek tipi üzerinde uygulanmış olup, üç farklı örnekte de doymuşluk derecesinin artmasının dalga hızını fark edilecek büyüklükte arttırdığı gözlemlenmiştir [51].

Török vd. (2010), masif az gözenekli ve laminalı-gözenekli iki farklı traverten üzerinde yaptıkları çalışmalarında; yoğunluk, p-dalga hızı, etkin porozite ve tek eksenli basma dayanımının kuru ve doymun halde değişimini incelemişler, doymun halde tek eksenli basma dayanımı değerinin her iki kayaç türü içinde azaldığını gözlemlemişlerdir [52].

Jabbar (2011), nokta yükleme indeks değeri ve P-dalga hızı ile kayaçların tek eksenli basma dayanımını tahmin etmenin daha hızlı ve karmaşık ekipmanlara ihtiyaç duyulmadığı için daha kolay olduğunu vurgulamak amacıyla istatistiksel veriler kullanarak tek eksenli basma dayanımı (UCS) hesaplamayı tercih etmiştir. Araştırmacı, çeşitli kayaçlarda tek eksenli basma dayanımı (UCS), p-dalga hızı (V_p), nokta yükleme indeksi ($I_{s(50)}$), su içeriği ve derinlik ilişkilerini araştırmıştır. Tek eksenli basma dayanımı (UCS) ve nokta yükleme indeksi ($I_{s(50)}$) değerininde su içeriğinin veörnekleme derinliğinin artması ile azalma olduğunu tespit etmiştir. P-dalga hızınıda derinlik artışına bağlı olarak artış olduğunu belirlemiştir [53].

Karakul ve Ulusay (2012), kayaçların dayanım (tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı, kohezyon) özellikleri ve elastisite modülleri ile P-dalga hızı arasındaki ilişkiyi farklı doymunluk koşulları için araştırmışlar ve regresyon analizleri ile doymunluktaki artışa bağlı olarak; tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, kohezyon ve deformabilite özelliklerinde azalma meydana geldiğini, ayrıca P-dalga hızında artan doymunluğa bağlı değişimin gözeneklilik ve kil içeriğinin ortak etkisi sonucu gerçekleştiğini belirlemişlerdir [24].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Örnek Derleme

Çalışmada; sedimanter kökenli ve karbonat bileşimli kayalar olan Malatya (Akçadağ) Bej, Adıyaman Emprador ve Erzurum Traverten mermerleri çalışma materyali olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında Akçadağ (Malatya) batısında yüzeyleyen Orta-Üst Eosen yaşlı Gedik Formasyonu'nda ve Adıyaman bölgesinde örnek derlemeleri gerçekleştirilmiş, Elazığ Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Bilçağ Mermer fabrikasında yeni üretim sahasından gelmiş olan temsili kayalar örnekleri alınmıştır. Akçadağ (Malatya) yöresinde üretim yapan Alacakaya Mermer San. A.Ş.'ye ait olan ve Altıoluk Mermer A.Ş tarafından işletilen mermer ocağı ile Adıyaman yöresinde faaliyet gösteren Tercih Mermer A.Ş'ye ait mermer ocağı pilot bölgeler seçilmiş, ocaklardan sahayı tam olarak temsil edecek şekilde blok numune derlemeleri yapılmıştır.

4.2. Deneysel Çalışmalar

4.2.1. Örnek hazırlama

Deneyler için Malatya Bej ve Adıyaman Emprador mermerlerinden yaklaşık olarak 20×20×30 cm boyutlarında her bir kayalar türünden 10'ar adet blok numuneler derlenmiştir. Erzurum Traverten mermerinden ise 15x20x30 cm boyutlarında 15 adet blok alınmıştır. Blok numunelerin sahayı tam temsil edecek şekilde ve blok verebilen lokasyonlardan alınmasına dikkat edilmiştir.

Alınan blok numunelerin taşınması ve düzeltilmesi sırasında, TS 2513'de belirtilen hususlar göz önünde bulundurulmuş, deney sonuçlarını olumsuz yönde etkileyecek her türlü darbe ve hatalı uygulamalardan kaçınılmıştır [54].

Blok numunelerden karot alma makinesi yardımıyla karotlar alınmış, alınan karotlar boy/çap oranı 2-2.5, 1-1.4 ve 0.5 olacak şekilde ayarlanılarak, Şekil 4.1'de görünen karot ucu kesme ve düzeltme makinesi ile kesilip, alt ve üst yüzeyleri

birbirine paralel olacak şekilde düzeltilmiştir. Hazırlanan karot örnekleri ile kuru, doğal, doymun birim hacim ağırlığı, porozite, ağırlıkça-hacimce su emme gibi fiziksel özellikleri belirlemeye yönelik testler ile tek eksenli basma dayanımı, dolaylı yoldan çekme dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve sonik hız tayini deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.1. Karot alma makinesi ve Karot ucu kesme ve düzeltme makinesi

Özgöl ağırlık tayini XRD ve XRF için alınmış her bir kaya türünden yaklaşık olarak 2 kg kadar parça örnek; önce çeneli kırıcı kullanılarak boyut küçültmesi sağlanmış, sonra çekiçli kırıcıdan geçirilmiş daha sonra bilyeli değirmende öğütülmüştür. Bilyeli değirmenden çıkan örnekler elek açıklığı 0,2 mm olan elekler kullanılarak elenmiştir. Boyut ayarlanması sağlanan örnekler konileme, dörtleme ve karelej yöntemleri ile her birimden 100'er gram malzeme olacak şekilde azaltılmıştır.

Kayaçların farklı doymunluk ve yükleme hızları altında tek eksenli basma dayanımlarını belirlemek amacıyla boy/çap oranı 2-2,5 olacak şekilde her bir kaya türü için 60 numune olmak üzere toplam 180 adet numune hazırlanmıştır. Farklı doymunluk derecelerinde nokta yükleme dayanımlarını belirlemek için boy/çap oranı 1-1,4 olacak şekilde her bir kaya türü için 120 adet numune hazırlanmıştır. Farklı doymunluk koşullarında dolaylı yoldan çekme dayanımlarını belirlemek amacıyla

boy/çap oranı 0,5 olacak şekilde her bir kaya türü için 120 adet numune hazırlanmıştır. şekil 4.2’de kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemek için hazırlanan numuneler verilmiştir.



şekil 4.2. Kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemede kullanılan numuneler

4.2.2. Kullanılan araç-gereç ve kimyasallar

Kayaçların; kuru, doğal, doğgun birim hacim ağırlığı, porozite, ağırlıkça-hacimce su emme gibi fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik olarak yapılan deneylerde; örnek hazırlamak için karot alma makinesi, ELE marka karot ucu kesme ve düzeltme makinesi, Nüve FN500 marka etüv, kumpas, 25 ml kapasiteye sahip piknometre, uygun büyüklükte 2 adet desikatör, 0.2 mm göz açıklığına sahip standart test eleği, uygun büyüklükte 3 adet kap, hassas terazi, ısıtıcı, sertlik ölçümlerinde Shore Scleroscobu, L tipi Schmidt çekici ve V yatak kullanılmıştır.

Kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde ELE marka 300 ton kapasiteli pres, nokta yükleme dayanımı test cihazı, dolaylı yoldan ekme (Brazilian) dayanımı test aparatı ve sonik hız deneyi cihazı (PUNDIT) ve dijital kumpas kullanılmıştır.

X-Işını toz kırınım desenleri Rigaku Rab-DMax X-Işını Difraktometresi ile elementel analiz ise XRF Spectro XEPOS marka cihaz ile yapılmıştır.

4.2.3. Kayaçların fiziksel özelliklerini belirleyen deneyler

4.2.3.1. Birim hacim ağırlığı deneyi

TS 699’da tanımlanan yöntemle göre uygulanmıştır [55]. Deney için düzgün şekle sahip (silindirik) 5 adet numune, karot alma makinesi ile alınmış, uçları kesilip düzeltilmiştir. Örneğin boyları (L) 4 yerden ve çapları (D) 6 yerden birbirine dik yönde kumpasla 0.1 mm duraylılıkta ölçülmüş ve her bir örnek için bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Elde edilen boy ve çap uzunlukları kullanarak örneklerin hacimleri hesaplanmıştır.

Deney numuneleri sert bir fırça yardımıyla temizlenmiş ve $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden alınan numuneler desikatörlere yerleştirilmiş ve oda sıcaklığına gelinceye kadar soğuması beklenmiştir. Oda sıcaklığına ulaşan numuneler 0,1 gr hassasiyetle tartılarak kuru ağırlıkları saptanmıştır. Numuneler içerisinde $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ su bulunan kap içine yarısına kadar suyun içinde kalacak şekilde düzgün bir şekilde yerleştirilerek 1 saat bekletilmiştir. 1 saat bekletildikten sonra numune boyutlarının $\frac{3}{4}$ ’ü su içinde kalacak şekilde su ekleyerek 1 saat daha bekletilmeye bırakılmıştır. Süre sonunda numunelerin üzeri tamamen kapanacak şekilde su ilave edilip değişmez kütleye gelinceye bekletilmiştir. Suyu doymun hale getirilen numuneler suyun içerisinden çıkarılmış, üzerindeki su damlaları nemli bir bezle alındıktan sonra 0,1 gr hassasiyetle tartılarak doymun ağırlıkları kaydedilmiştir.

Örneklerin hacimleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$V=\pi \times r^2 \times h \quad (4.1)$$

Örneklerin doğal birim hacim ağırlıkları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$d_{doğ} = \frac{G_{doğ}}{V} \quad (4.2)$$

Örneklerin doymun birim hacim ağırlıkları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$d_d = \frac{G_d}{V} \quad (4.3)$$

Örneklerin kuru birim hacim ağırlıkları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$d_k = \frac{G_k}{V} \quad (4.4)$$

Burada;

$d_{doğ}$: Doğal birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

d_k : Kuru birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

d_d : Doymun birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

G_k : Numunelerin kuru haldeki ağırlığı (gr)

$G_{doğ}$: Numunelerin doğal haldeki ağırlığı (gr)

G_d : Numunelerin doymun haldeki ağırlığı (gr)

4.2.3.2. Su emme deneyi

TS 699'da tanımlanan yönteme göre yapılmıştır [55]. Deney için düzgün geometrik şekle sahip (silindirik) 5 adet numune karot alma makinesi ile alınmış, uçları kesilip düzeltilmiştir. Deney numuneleri sert bir fırça yardımıyla temizlenmiş $105 \pm 5^\circ\text{C}$ etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden alınan numuneler desikatörlere yerleştirilerek oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulmuştur. Oda sıcaklığına ulaşan numuneler 0,1 gr hassasiyetli terazide tartılarak kuru ağırlıkları saptanmıştır. Daha sonra numuneler içerisinde $20 \pm 5^\circ\text{C}$ su bulunan kap içine yarısına kadar suyun içinde kalacak şekilde düzgün bir şekilde

yerleştirilerek 1 saat bekletilmiştir. 1 saat bekletildikten sonra numune boyutlarının $\frac{3}{4}$ 'ü su içinde kalacak şekilde su ilave edilerek 1 saat daha bekletilmeye bırakılmıştır. 1 saat daha bekletildikten sonra numunelerin üzeri tamamen kapanacak şekilde su ilave edilip değişmez kütleye gelinceye kadar beklenmiştir. Suyu doymun hale getirilen numuneler suyun içerisinde çıkarılmış, üzerindeki su damlaları nemli bir bezle alındıktan sonra 0,1 gr hassasiyetle tartılarak doymun ağırlıkları kaydedilmiştir.

Bu işlemlerden sonra deney numuneleri $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Desikatörde soğutularak 0,1 gr hassasiyetteki terazide tartılmış ve kuru ağırlıkları saptanmıştır.

Numunelerin kütleye su emme oranı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (\%) \quad (4.5)$$

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{V} \times 100 \quad (\%) \quad (4.6)$$

Burada;

S_k : Numunenin kütleye su emme oranı (%)

S_h : Numunenin hacimce su emme oranı (%)

G_d : Numunenin doymun haldeki kütlesi (gr)

G_k : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numunenin kütlesi (gr)

4.2.3.3. Porozite tayini

Görünür Porozite: Kayaçların görünür porozitesi (hacimce su emme) TS 699’da belirtilen aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır [55].

$$N = \frac{G_d - G_k}{V} \quad (\%) \quad (4.7)$$

Burada;

N: Porozite (%)

G_d: Numunelerin doygun haldeki ağırlıkları (gr)

G_k: Numunelerin kuru ağırlıkları (gr)

Gerçek Porozite: Gerçek porozite değeri TS 699’da belirtilen formülle hesaplanmıştır [55].

$$P = \left(1 - \frac{d_h}{d_o}\right) \times 100 \quad (\%) \quad (4.8)$$

Burada;

P: Hakiki Porozite (%)

d_h: Numunenin kuru birim hacim ağırlığı (gr)

d_o: Numunenin özgül ağırlığı (gr)

4.2.3.4. Özgül ağırlık tayini

Özgül ağırlık deneyi TS 699’da tanımlanan yöntemle göre yapılmıştır [55]. Deney için araziden yaklaşık 2 kg kadar temsili numune alınmış, çeneli kırıcı kullanılarak kırıldıktan sonra bilyalı değirmende öğütülmüş, 0.2 mm’lik elek açıklığı olan elek kullanılarak elenmiştir. Temsili numunelerden konileme-dörtleme ve

karelej yapılarak 100'er gram malzeme alınmış, 105 °C'lik etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur.

Oda sıcaklığında su ile tamamen doldurulan piknometre, kapağı kapatıldıktan ve üzerindeki su damlaları kuru bir bezle alındıktan sonra 0,01 gr hassasiyette tartılmıştır. Piknometre içindeki su tamamen boşaltıldıktan ve etüvde kurutulup soğutulduktan sonra kapağı ile birlikte tartılmış ve ağırlığı kaydedilmiştir

Değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulup soğutulmuş olan temsili numunelerden $2,5 \pm 0,5$ gr kadar alınarak kuru bir huni yardımıyla piknometre içine konulmuş ve kapağı ile birlikte 0.01 gr hassasiyetteki terazide tartılarak ağırlığı kaydedilmiştir.

İçinde deney numunesi bulunan piknometre, hacminin $\frac{1}{4}$ 'üne kadar su ile doldurulmuş ve yaklaşık 10-15 dakika süreyle kaynatılmıştır. Böylece temsili numunelerin taneleri içerisinde hava kabarcıklarının kalmaması sağlanmıştır. Daha sonra piknometre tamamen su ile doldurulmuş ve su banyosu içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Kapağı kapatılıp, üzeri kurulandıktan sonra 0.01 gr hassasiyette tartılmış, tartım sonucu kaydedilmiştir.

Özgül ağırlık değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$d_0 = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p)(G_{pns} - G_{ps})} \quad (4.9)$$

Burada;

d_0 : Numunenin özgül ağırlığı (gr/cm^3)

G_{pn} : Piknometre + deney numunesi ağırlığı (gr)

G_p : Piknometre ağırlığı (gr)

G_{pns} : Piknometre + deney numunesi + su ağırlığı (gr)

G_{ps} : Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)

4.2.3.5. Doluluk oranı tayini

TS 699’da tanımlanan formülle hesaplanmıştır [55].

$$k = \left(\frac{d_h}{d_o} \right) \times 100 \quad (4.10)$$

Burada;

k: Doluluk oranı

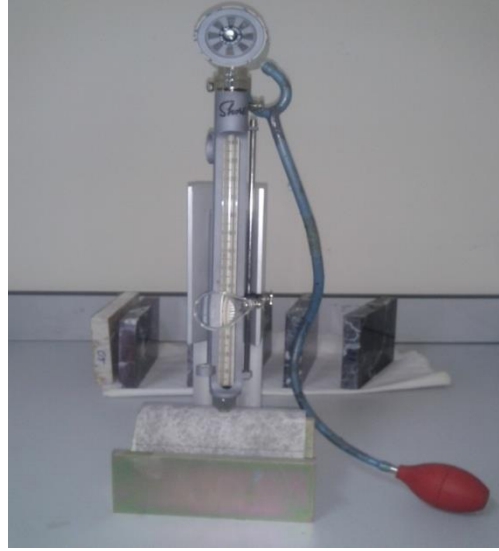
d_h : Kuru birim hacim ağırlığı (gr / cm³)

d_o : Özgül Ağırlık (gr/cm³)

4.2.3.6. Sertlik

- Shore Sklereskobu sertlik değeri tayini

ISRM 1978’de tanımlanan yöntemle göre gerçekleştirilmiştir [56]. Bu deney için C-2 tipi Shore sklereskobu kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce sertlik değeri belli olan standart test çubukları üzerinde 5 adet sertlik okuması yapılarak aletin kalibrasyonu kontrol edilmiştir. Deneyde NX (54,00 mm çaplı) karot numuneleri kullanılmıştır. Karot numunesi shore sklereskobunun üzeri ölçülendirilmiş cam tüpünün altına gelecek şekilde özel karot sabitleştirme yatağı üzerine düzgün bir şekilde yerleştirilmiştir. Sıkılaştırılmış elmas uç belirli bir yükseklikten numune üzerine serbest bırakılmıştır. Kütle numunenin yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrama yüksekliği üzeri ölçülendirilmiş tüpten okunarak kaydedilmiştir. Ortalama 15 okumadan sonra elde edilen değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Şekil 4.3’te Shore Sklereskobu sertlik cihazına ait bir görüntü verilmiştir



Şekil 4.3.Shore Sklereskobu sertlik cihazı

- Schmidt çekiçi sertlik indeks tayini

ISRM 1978’de tanımlanan yönteme göre yapılmıştır [57]. Deneye başlamadan önce sertlik değeri belli olan standart test çubukları üzerinde 10 adet sertlik ölçümü yapılmış ve ortalaması alınarak aletin kalibrasyonu kontrol edilmiştir. Deneyde NX (54 mm çapında) karot numuneleri kullanılmıştır. Deneyin uygulandığı numune yüzeylerinin düzgün ve çatlaksız olmasına özen gösterilmiştir. Çekicinin ucu deney örneğinin yüzeyine dik olacak şekilde yavaşça bastırılmış ve çekicinin içindeki yaydan geri tepme sesi geldiği anda, çekicinin gövdesi üzerindeki gösterge sabitleme tuşuna basılarak, geri sıçrama değeri çekicinin gövdesindeki göstergeden okunarak kaydedilmiştir. Her bir okumadan sonra deney örneği üzerinde birbirinden uzaklığı en az çekicinin uç çapına eşit olacak şekilde, 20 farklı noktada ölçüm yapılarak kaydedilmiştir. Deney esnasında herhangi bir çatlak oluşması veya gözle görülebilir bir yenilmenin gelişmesi durumunda deney iptal edilmiştir.

Elde edilen 20 adet sertlik değeri büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve bu değerlerin en küçük %50’si iptal edilmiştir. Geri kalan sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Şekil 4.4’de Schimidt sertlik cihazına ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.4. Schmidt sertlik cihazı

4.2.4. Kayaçların mekanik özelliklerini belirleyen deneyler

4.2.4.1. Tek eksenli basma dayanımı deneyi

TS 699 standardında tanımlanan yöntemle yapılmıştır [55]. Araziden alınan bloklar hasar görmeden NX (54 mm çaplı) karotiyer takılı olan karot alma makinesinin altına düzgün bir şekilde yerleştirilmiştir. Bloklardan alınan karotlar karot ucu kesme ve düzeltme makinesinde L/D oranı 2-2,5 olacak şekilde kesilip düzeltilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Numunelerin boyları 4 noktadan ve çapları 6 noktadan 0,1 mm hassasiyetle ölçülerek ortalama çap ve boyları alınmıştır. Numunelerin basınç uygulanacak olan yüzeyleri 0,1 mm hassasiyete sahip kumpas ile ölçülerek yükleme yapılacak kesit alanı hesaplanmıştır. Numuneler belirlenen doygunluk derecesine gelinceye kadar suda bekletilmiştir. İstenilen doygunluk değerine gelen numune, presin ortasındaki yükseltme plakasının ortasına gelecek şekilde altına ve üstüne küresel yüzeyli iki çelik silindirik platen yerleştirilmiştir. Presin uygulayacağı yükleme hızı ayarlandıktan sonra deney numunesi kırılıncaya kadar sabit yükleme hızı uygulanmıştır.

Deney numunesi kırılmadan önce üzerine etki etmiş olan en büyük yük presin göstergesinden okunarak kaydedilmiştir. Şekil 4.5’de tek eksenli basma dayanımı deneyinde kullanılan prese ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.5. Tek eksenli basma dayanımında kullanılan pres

Numunenin basınç dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$f_b = \frac{P_k}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (4.11)$$

Burada;

f_b : Numunenin basınç dayanımı (MPa)

P_k : Kırılmaya sebep olan en büyük yük (kN)

A : Numunenin yük uygulanan yüzeyinin alanı (cm^2)

Şekil 4.6’da tek eksenli basma dayanımında kullanılan numunelere ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.6. Tek eksenli basma dayanımında kullanılan numuneler

4.2.4.2. Nokta yükleme dayanımı deneyi

ISRM (1985)'te tanımlanan yönteme göre gerçekleştirilmiştir [58]. Boy/çap oranı 1'den büyük olan 10 adet silindirik numune karot ucu kesme ve düzeltme makinesi yardımıyla kesilmiştir. Çapı ve boyu 0,1 mm hassasiyetle ölçülerek belirlenen doygunluk değerlerine gelinceye kadar suda bekletilmiştir. Doygunluk derecesi ayarlanan numunelere çapsal nokta yükleme dayanımı testi uygulanmıştır. Bu amaçla numuneler nokta yükleme test cihazının konik uçları arasına karot eksenine dik yönde yerleştirilmiştir. Konik uçlar arasına yerleştirilen numuneler 10-60 saniye arasında kırılacak şekilde el ile yükleme yapılmıştır. Numunenin kırıldığı andaki yük (P) dijital göstergeden okunmuş ve kaydedilmiştir. Şekil 4.7'de çapsal nokta yükleme dayanımı deneyinin uygulamasına ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.7. Nokta yükleme test cihazı

Elde edilen yük değerleri kullanılarak düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (4.12)$$

Burada;

I_s : Nokta yük dayanımı indeksi (MPa)

P: Kırılma yükü (kN)

D_e : Eşdeğer karot çapıdır (mm).

Bulunan düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi değerinden aşağıdaki formül kullanılarak düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi değeri bulunmuştur.

$$I_{s50} = F \times I_s \quad (4.13)$$

Burada;

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükleme dayanım indeksi (MPa)

F: Boyut düzeltme faktörüdür.

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45} \quad (4.14)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

10 adet geçerli deney sonunda elde edilen en yüksek ve en düşük iki deney iptal edilerek geriye kalan değerlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 4.8’de nokta yükü dayanım deneyinde kullanılan numunelere ait görüntü verilmiştir.



Şekil 4.8. Nokta yükleme deneyi için kullanılan numuneler

4.2.4.3. Sonik hız deneyi

ISRM 1978 tarafından önerilen yöntemle göre yapılmıştır [59]. Deneyde NX (54 mm) çaplı silindirik numuneler kullanılmıştır. Numunelerin boyu ve çapı birbirine dik şekilde 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüştür. Numunenin alt ve üst kısmına konulan silindirlerin, maksimum 2 derece eğim yapacak şekilde ayarlaması nedeniyle gönderici ve alıcının konumları örnek yüzeyinde işaretlenmiştir.

Numunelerin gönderici ile temasta olacak alt ve üst yüzeylerinin düzgün ve birbirine paralel olmasına dikkat edilmiştir. Sinyalin ilerleme mesafesi 0,025 mm duraylılıkta ölçülmüş, deneyde düzgün silindirik numuneler kullanıldığı için sinyalin ilerleme mesafesi karotun boyuna (L) eşit olarak alınmıştır. Kayacın P ve S dalga hızını belirlemek için yükselticinin üzerindeki düğmelerden yayılma hızı ölçülecek olan dalga türü belirlenmiştir. Yükselticiden gelen iki kablo karot numunesinin her iki ucuna temas ettirilen çevirgeçlere takılmıştır. Gönderici ve alıcı ile karot numunesinin yüzeyleri arasındaki teması artırmak amacıyla numunenin alt ve üst yüzeyine jel sürülmüştür. Cihazın sinyal üreticisinin voltaj çıktısı, osiloskopun ve yükselticinin duraylılığı uygun zaman ölçümünün yapılması amacıyla ayarlanmıştır. Bu ayarlamalardan sonra dakikada bir veya iki okuma yapılacak şekilde sinyal gönderilerek ses dalgasının (P) numuneden geçiş süresi (t_p) %1 duraylılıkla ölçülmüş olup başlangıç zamanı t_0 sıfır olarak alınmıştır. Şekil 4.9'da sonik hız deneyinin uygulamasına ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.9. Sonik hız deneyi cihazı

Yayılma hızları aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır:

$$V_p = L / T_p \quad (4.15)$$

$$V_s = L / T_s \quad (4.16)$$

$$T_p = (t_p - t_0) \quad (4.17)$$

$$T_s = (t_s - t_0) \quad (4.18)$$

Burada;

L: Silindirik deney örneğinin boyu (sinyalin katettiği mesafe, mm)

V_p : P dalgasının yayılma hızı (m/s)

V_s : S dalgasının yayılma hızı (m/s)

t_p : P dalgasının ölçülen yayılma zamanı (μ s)

t_s : S dalgasının ölçülen yayılma zamanı (μ s)

T_p : P dalgasının etkin ilerleme hızı (μ s)

T_s : S dalgasının etkin ilerleme hızı (μ s)

t_0 : Ölçülen sıfır (başlangıç) zamanı (μ s)

4.2.4.4. Dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) deneyi

TS 7654'te tanımlanan yöntemle göre yapılmıştır [60]. Boy/çap oranı 0,5 olan 10 adet silindirik numune karot ucu kesme ve düzeltme makinesi yardımıyla hazırlanmıştır. Çapı ve boyu 0,1 mm hassasiyetle ölçülen numuneler belirlenen doygunluk değerlerine gelinceye kadar suda bekletilmiştir. Doygunluk derecesi ayarlanan numuneler Brazilian test aparatının arasına, karot eksenine dik yönde ve Brazilian test aparatı da tek eksenli basma dayanımı presine yerleştirilmiştir. Numune 15-30 saniye içerisinde kırılacak şekilde yükleme yapılmıştır. Deney sırasında uygulanan yükün artmasına bağlı olarak yatay çekme gerilmelerin şiddeti de artış göstermiştir. Yatay çekme gerilmesi numunenin çekme dayanımını aştığı

anda numune yükleme doğrultusunda kırılmaya maruz kalmıştır. Kırılma anındaki yük dijital göstergeden okunup kaydedilmiştir.

Numunenin dolaylı yoldan çekme dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$\sigma_{\zeta} = \frac{0,636 * P_k}{D * t} \quad (4.19)$$

Burada;

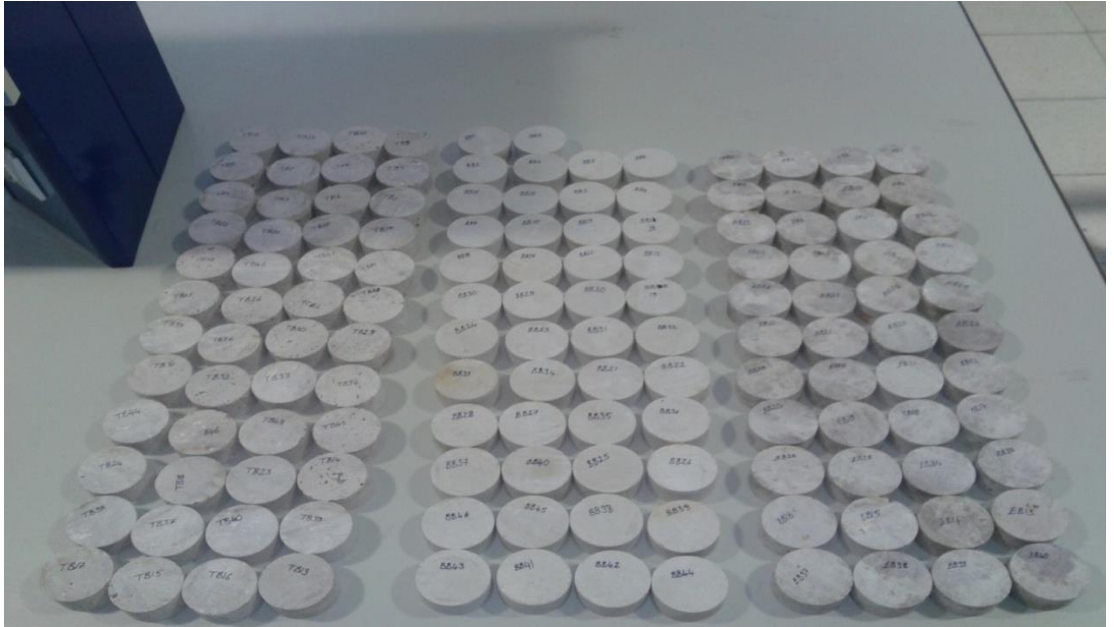
σ_{ζ} : Numunenin dolaylı yoldan çekme dayanımı (MPa)

P_k : Numunenin yenilmesi anında uygulanan yük (kN)

D: Numunenin çapı (cm)

t: Numunenin kalınlığı (cm)

Şekil 4.10'da Brazilian deneyi için kullanılan numunelere ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.10. Brazilian deneyi için kullanılan numuneler

4.2.5. Kayaçların kimyasal ve mineralojik özelliklerini belirleyen deneyler

a) Elementel Analiz

Çalışılan kayaçların kimyasal bileşimlerini belirlemek için kırılıp öğütülen ve 0,2 mm'lik elekten geçirilen toz numunelerden İnönü Üniversitesi Petrol Araştırma Laboratuvar'ında XRF analizi yaptırılmıştır.

b) Mineralojik bileşim

Çalışılan kayaçların karakterizasyonunu belirlemek için kırılıp öğütülen ve 0,2 mm'lik elekten geçirilen toz numunelerden İnönü Üniversitesi Bilimsel Teknolojik Araştırma Merkezi X-Ray Laboratuvar'ında yaptırılmıştır.

c) Kızdırma kaybı tayini

Çalışılan kayaçların kızdırma kaybı tayini Quadhi 2008'de belirtilen biçimde yapılmıştır [61]. 2 kg kadar temsili numune çeneli kırıcı kullanılarak kırıldıktan sonra bilyalı değirmende öğütülmüş 0,2 mm'lik elekte elenmiştir. Temsili numunelerden konileme-dörtleme ve karelej yapılarak 2'şer gram malzeme alınmış, tartım sonucu m_0 olarak kaydedilmiştir. Hazırlanan numuneler 1050 °C'deki fırında 30 dakika pişirilmiş, sonra desikatörde soğutulup tartımları kaydedilmiştir. Tartım sonucu m_1 olarak kaydedilmiştir. Kızdırma kaybı aşağıdaki formül kullanarak belirlenmiştir.

$$\text{Kızdırma kaybı} = 100 \cdot (m_0 - m_1) \quad (4.20)$$

Burada;

m_0 : Pişirim işleminden önceki örnek ağırlığı (gr)

m_1 : Pişirim işleminden sonraki örnek ağırlığı (gr)

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Çalışılan Kayaçların Fiziksel Özellikleri

5.1.1 Birim hacim ağırlığı

TS 699'a göre yapılan birim hacim ağırlığı deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1-5.3'de verilmiştir [55].

Çizelge 5.1. Malatya Bej mermerinin birim hacim ağırlığı değerleri

Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)
1	2,697	2,695	2,699
2	2,689	2,687	2,690
3	2,712	2,710	2,714
4	2,688	2,687	2,690
5	2,686	2,673	2,680
Ortalama± Standart Sapma	2,69 ± 0,010	2,69± 0,012	2,69 ± 0,011

Çizelge 5.2. Adıyaman Emprador mermerinin birim hacim ağırlığı değerleri

Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)
1	2,578	2,577	2,617
2	2,627	2,626	2,657
3	2,660	2,659	2,692
4	2,594	2,593	2,642
5	2,567	2,566	2,599
6	2,670	2,669	2,698
Ortalama± Standart Sapma	2,62 ± 0,043	2,62 ± 0,043	2,65 ± 0,040

Çizelge 5.3. Erzurum Traverten mermerinin birim hacim ağırlığı değerleri

Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)
1	2,493	2,484	2,530
2	2,469	2,467	2,495
3	2,460	2,458	2,484
4	2,507	2,504	2,523
5	2,405	2,402	2,434
6	2,461	2,460	2,485
Ortalama±Standart Sapma	2,47 ± 0,035	2,46± 0,034	2,49 ± 0,034

5.1.2. Su emme deneyi sonuçları

TS 699'a göre yapılan su emme deneyinde bulunan ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri Çizelge 5.4 – 5.6'da verilmiştir [55].

Çizelge 5.4. Malatya Bej mermerinin su emme değerleri

Örnek No	Ağırlıkça Su Emme (%)	Hacimce Su Emme (%)
1	0,131	0,353
2	0,138	0,370
3	0,152	0,412
4	0,109	0,292
5	0,233	0,624
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	0,15 $\pm$ 0,043	0,41 $\pm$ 0,114

Çizelge 5.5. Adıyaman Emprador mermerinin su emme değerleri

Örnek No	Ağırlıkça Su Emme (%)	Hacimce Su Emme (%)
1	1,526	3,932
2	1,177	3,092
3	1,232	3,277
4	1,893	4,908
5	1,261	3,235
6	1,094	2,921
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	1,36 $\pm$ 0,297	3,56 $\pm$ 0,744

Çizelge 5.6. Erzurum Traverten mermerinin su emme değerleri

Örnek No	Ağırlıkça Su Emme (%)	Hacimce Su Emme (%)
1	1,832	4,551
2	1,146	2,828
3	1,064	2,615
4	0,759	1,899
5	1,342	3,225
6	1,041	2,560
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	1,20 $\pm$ 0,364	2,95 $\pm$ 0,897

5.1.3. Özgül ağırlık deneyi sonuçları

TS 699'a göre yapılan özgül ağırlık deneyi sonuçları Çizelge 5.7'de verilmiştir [55].

Çizelge 5.7. Çalışılan kayaçların özgül ağırlık değerleri

Örnekler	Özgül Ağırlık
Malatya Bej	2,78
Adıyaman Emprador	2,77
Erzurum Traverten	2,75

5.1.4. Doluluk oranı

TS 699'a göre belirlenen doluluk oranı değeri Çizelge 5.8'de verilmiştir [55].

Çizelge 5.8. Çalışılan kayaçların doluluk oranı değerleri

Örnekler	Doluluk Oranı Değerleri (%)
Malatya Bej	99,590
Adıyaman Emprador	96,440
Erzurum Traverten	97,048

5.1.5. Porozite

TS 699'a göre belirlenen porozite değerleri izelge 5.9-5.10'da verilmiştir [55].

Görünür porozite

Çizelge 5.9. Çalışılan kayaçların görünür porozite değerleri

Örnek No	Malatya Bej %	Adıyaman Emprador %	Erzurum Traverten %
1	0,353	3,932	4,551
2	0,370	3,092	2,828
3	0,412	3,277	2,615
4	0,292	4,908	1,899
5	0,624	3,235	3,225
6	0,410	2,921	2,560
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	0,41 $\pm$ 0,114	3,56 $\pm$ 0,744	2,95 $\pm$ 0,897

Gerçek porozite

Çizelge 5.10. Çalışılan kayaçların gerçek porozite değerleri

Kayaç	Hakiki Porozite Değeri %
Malatya Bej	3,24
Adıyaman Emprador	5,42
Erzurum Traverten	10,55

5.1.6. Sertlik

Shore Sertliği: Shore Sclereskobu ile yapılan her doygunluk derecesi için 15 adet okuma sonucunda elde edilen değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak izelge 5.11'de elde edilen sonuçlar bulunmuştur [56].

Schmidt çekici sertlik değeri: Schimidt çekici ile yapılan her doygunluk derecesi için 20 adet okuma sonucunda elde edilen değerler büyükten küçüğe sıralanmış olup, en büyük 10 adet okuma sonucunun aritmetik ortalamaları alınarak Çizelge 5.11’de elde edilen sonuçlar bulunmuştur [57].

Çizelge 5.11. Deneyde kullanılan kayaçların farklı doygunluk derecelerindeki sertlik değerleri

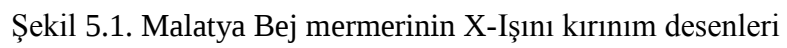
Kayaç Türü	Doygunluk %	Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Shore Sclereskobu Sertlik Değeri
Bej	0	43,12	61
	35	42,7	56,06
	70	41,88	47,9
	100	39,68	42,14
Emprador	0	42,56	60,18
	35	39,0	56,2
	70	37,04	47,66
	100	36,56	41,72
Traverten	0	35,4	51,52
	35	31,56	46,2
	70	29,16	40,7
	100	28,24	33,94

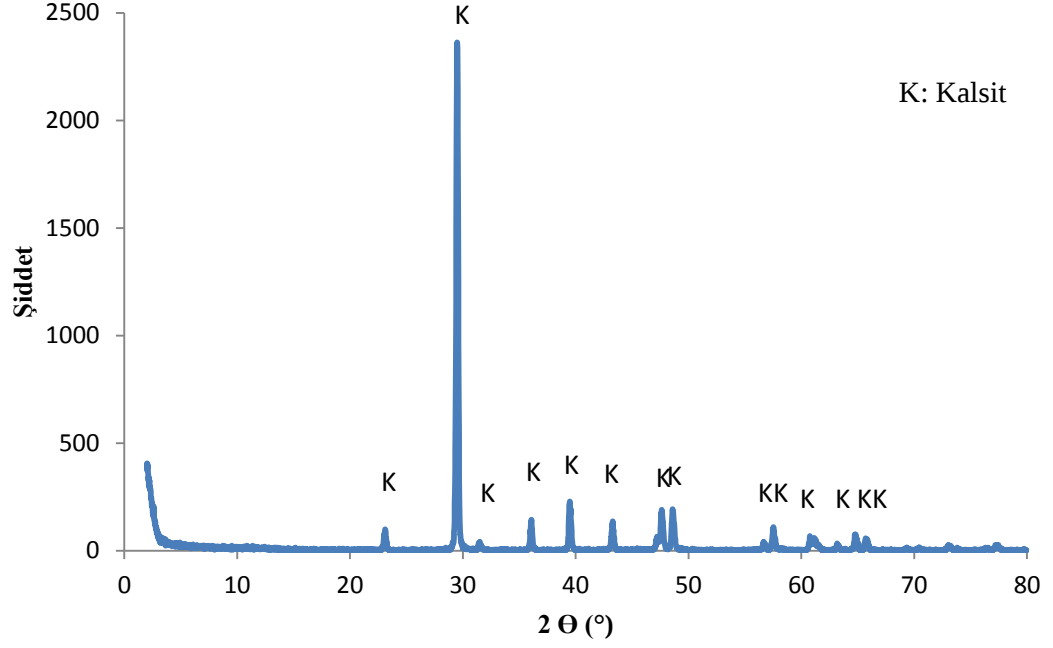
5.2. Çalışılan Kayaçların Mineralojik Özellikleri

5.2.1. X-Işını toz kırınım desenleri

Çalışılan mermerlerin İnönü Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvar’ında yaptırılan XRD sonuçlarından elde edilen X-Işını toz kırınım desenleri Şekil 5.1-5.3’te verilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda Malatya Bej ve Erzurum Traverten mermerlerinin ana bileşen olarak kalsit minerallerini, Adıyaman Emprador mermerinin ise dolomit ve kalsit minerallerini içerdiği saptanmıştır.





Şekil 5.3. Erzurum Traverten mermerinin X-Işını kırınım desenleri

5.3. Çalışılan Kayaçların Kimyasal Özellikleri

5.3.1. XRF sonuçları

Yapılan incelemeler sonucunda Malatya Bej mermerinin % 58,77 oranında CaO, Adıyaman Emprador mermerinde %40,97 CaO ve %14,33 MgO, Erzurum Traverten mermerinde ise %59,13 CaO bulunduğu saptanmıştır.

XRF sonuçları incelendiğinde ana yapının CaO olduğu ve kızdırma kayıplarının yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu tür yapıların CaCO₃ den oluştuğu göz önüne alındığında ısıya bağlı olarak sistemden CO₂ ve diğer organik maddelerin uzaklaşması kızdırma kaybındaki yüksek değerleri açıklamaktadır.

Çalışılan Mermerlerin XRF sonuçları Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Çalışılan mermerlerin XRF sonuçları

Kimyasal Bileşimi	Bej (Malatya) %	Emprador (Adıyaman) %	Traverten (Erzurum) %
Fe ₂ O ₃	0,16420	0,73940	0,06111
MgO	0,32900	14,3300	0,45500
Al ₂ O ₃	0,08789	2,16800	0,04010
SiO ₂	0,00110	0,00110	0,00110
P ₂ O ₅	0,01165	0,00846	0,00365
K ₂ O	0,00120	0,01850	0,00120
CaO	58,7700	40,9700	59,1300
TiO ₂	0,01160	0,00800	0,00034
MnO	0,00303	0,02370	0,00285
ZnO	0,00240	0,33610	0,00686
SrO	0,01983	0,02266	0,02489
PbO	0,00081	0,14260	0,00240
Na ₂ O	2,12000	2,72000	2,20000
Kızdırma Kaybı	40,73	40,95	40,13
Toplam	102,2527	102,4385	103,0595

5.4. Çalışılan Kayaçların Mekanik Özellikleri

5.4.1. Tek eksenli basma dayanımı değeri

Çalışılan kayaçlar %0, %35, %70 ve %100 doygunluk derecesinde iken 0,5 kN/s, 0,75 kN/s ve 1,0 kN/s' lik yükleme oranları uygulanarak TS 699'da önerilen standartlara uygun olarak tek eksenli basma dayanımları elde edilmiştir.

Elde edilen tek eksenli basma dayanımı değerleri Çizelge 5.13-5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Malatya Bej mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,5 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	201,2	2285,98	88,01
	2	206,6	2285,81	90,38
	3	190,3	2287,00	83,21
	4	146,1	2291,07	63,77
	5	209,5	2290,39	91,47
			Ortalama	83,37 ± 11,41
35	1	200,4	2281,58	87,83
	2	198,3	2280,90	86,94
	3	181,9	2285,30	79,60
	4	199,3	2228,27	87,10
	5	156,1	2283,44	68,36
			Ortalama	81,97 ± 8,31
70	1	180,7	2285,39	79,07
	2	191,1	2286,58	83,57
	3	169,5	2284,46	74,19
	4	171,3	2285,81	74,94
	5	170,5	2286,83	77,56
			Ortalama	77,27 ± 3,75
100	1	149,2	2286,24	65,26
	2	152,7	2286,58	66,78
	3	164,5	2286,83	71,93
	4	149,4	2288,78	65,27
	5	149,9	2287,00	65,54
			Ortalama	66,96 ± 2,85

Çizelge 5.14. Malatya Bej mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,75 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	236,3	2284,46	103,44
	2	233,1	2288,78	101,85
	3	200,4	2286,24	87,65
	4	226,2	2286,41	98,93
	5	213,3	2284,28	93,38
			Ortalama	97,05 ± 6,50
35	1	202,7	2281,32	88,85
	2	213,8	2287,67	93,46
	3	224,1	2283,27	98,15
	4	207,7	2284,12	90,92
	5	237,3	2284,12	103,89
			Ortalama	95,06 ± 6,04
70	1	194,3	2288,69	84,90
	2	217,0	2286,83	94,89
	3	216,3	2284,03	94,70
	4	205,6	2284,03	90,02
	5	201,4	2286,57	88,08
			Ortalama	90,52 ± 4,31
100	1	203,6	2278,36	89,36
	2	181,3	2285,13	79,34
	3	215,6	2286,24	94,30
	4	203,2	2287,51	88,83
	5	205,9	2290,05	89,91
			Ortalama	88,35 ± 5,48

Çizelge 5.15. Malatya Bej mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 1,0 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	237,5	2284,12	103,98
	2	254,4	2280,05	111,58
	3	247,1	2289,54	107,93
	4	225,9	2286,24	98,81
	5	282,1	2282,00	123,62
			Ortalama	109,18 ± 9,36
35	1	211,1	2280,98	92,55
	2	207,4	2286,27	90,72
	3	233,1	2285,56	101,99
	4	233,0	2287,08	101,88
	5	244,3	2284,12	106,97
			Ortalama	98,82 ± 6,91
70	1	190,1	2285,39	83,18
	2	243,6	2283,27	106,69
	3	205,2	2282,59	89,90
	4	212,3	2282,34	93,02
	5	213,9	2288,35	93,47
			Ortalama	93,25 ± 8,56
100	1	226,9	2288,69	99,14
	2	191,9	2287,08	83,91
	3	185,6	2288,95	81,08
	4	213,7	2287,68	93,41
	5	221,9	2288,53	96,96
			Ortalama	90,90 ± 8,00

Çizelge 5.16. Adıyaman Emprador mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,5 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	196,4	2288,69	85,81
	2	183,3	2307,22	79,44
	3	152,9	2308,07	66,25
	4	171,3	2307,05	74,25
	5	187,1	2289,20	81,73
			Ortalama	77,49 ± 7,55
35	1	160,6	2305,94	69,64
	2	120,9	2288,10	52,84
	3	124,6	2290,05	54,41
	4	133,7	2307,22	57,95
	5	178,8	2286,57	78,20
			Ortalama	62,61 ± 10,91
70	1	124,5	2313,44	53,82
	2	132,4	2308,92	57,34
	3	112,8	2284,71	49,37
	4	153,2	2282,68	67,11
	5	123,1	2280,56	53,98
			Ortalama	56,32 ± 6,66
100	1	108,7	2308,24	47,09
	2	123,6	2312,50	53,45
	3	140,2	2313,44	60,60
	4	106,1	2311,30	45,90
	5	97,7	2309,52	42,30
			Ortalama	49,87 ± 7,22

Çizelge 5.17. Adıyaman Emprador mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,75 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yükü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	179,4	2289,118	78,37
	2	179,7	2306,962	77,89
	3	192,6	2311,305	83,33
	4	207,3	2311,732	89,67
	5	191,4	2303,643	83,08
			Ortalama	82,47 ± 4,76
35	1	162,8	2285,73	71,22
	2	174,3	2287,42	76,20
	3	175,1	2284,96	76,63
	4	151,1	2287,68	66,05
	5	140,7	2286,91	61,52
			Ortalama	70,32 ± 6,54
70	1	154,7	2283,02	67,76
	2	142,6	2283,44	62,45
	3	128,2	2306,62	55,58
	4	165,6	2306,19	71,81
	5	148,6	2308,24	64,38
			Ortalama	64,39 ± 6,08
100	1	135	2309,77	58,45
	2	149,6	2304,92	64,90
	3	149,4	2309,18	64,70
	4	140,9	2309,18	61,02
	5	163,6	2309,94	70,82
			Ortalama	63,98 ± 4,68

Çizelge 5.18. Adıyaman Emprador mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 1,0 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	215,7	2290,90	94,16
	2	206,4	2278,36	90,59
	3	193,8	2305,51	84,06
	4	200,5	2282,42	87,85
	5	216,4	2282,25	94,82
			Ortalama	90,29 ± 4,48
35	1	179,7	2285,30	78,63
	2	184	2305,77	79,80
	3	149,5	2306,79	64,81
	4	182,2	2280,73	79,89
	5	190,7	2221,78	85,83
			Ortalama	77,79 ± 7,78
70	1	172,2	2311,31	74,50
	2	146,9	2301,09	63,84
	3	179,3	2282,25	78,56
	4	157,5	2305,60	68,31
	5	166,9	2307,64	72,32
			Ortalama	71,51 ± 5,66
100	1	159,4	2291,66	69,56
	2	176	2313,18	76,09
	3	154,9	2290,31	67,63
	4	170,2	2306,62	73,79
	5	151,3	2280,05	66,36
			Ortalama	70,68 ± 4,13

Çizelge 5.19. Erzurum Traverten mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,5 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	98,8	2287,00	43,20
	2	98,6	2282,17	43,20
	3	111,5	2287,51	48,74
	4	103,1	2286,66	45,09
	5	98,4	2290,73	42,96
			Ortalama	44,64 ± 2,45
35	1	91,6	2274,22	40,28
	2	82,9	2281,83	36,33
	3	98,5	2279,46	43,21
	4	93,6	2278,45	41,08
	5	91,0	2281,58	39,88
			Ortalama	40,16 ± 2,50
70	1	81,2	2284,46	35,54
	2	79,3	2282,85	34,74
	3	80,0	2283,02	35,04
	4	77,0	2283,61	33,72
	5	71,1	2285,81	31,10
			Ortalama	34,03 ± 1,77
100	1	59,0	2286,24	25,81
	2	69,7	2286,58	30,48
	3	47,4	2286,83	20,73
	4	65,4	2288,78	28,57
	5	57,9	2286,15	25,33
			Ortalama	26,18 ± 3,70

Çizelge 5.20. Erzurum Traverten mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 0,75 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	104,2	2284,54	45,61
	2	119,1	2279,21	52,26
	3	119,4	2286,15	52,23
	4	104,8	2286,58	45,83
	5	99,7	2282,42	43,68
			Ortalama	47,92 ± 4,03
35	1	100	2281,15	43,84
	2	99,7	2277,94	43,77
	3	104,7	2285,56	45,81
	4	93,7	2279,46	41,11
	5	91,6	2273,12	40,30
			Ortalama	42,96 ± 2,24
70	1	82,3	2285,81	36,00
	2	86,1	2282,34	37,72
	3	81,4	2283,27	35,65
	4	82,3	2281,75	36,07
	5	84,8	2284,97	37,11
			Ortalama	36,51 ± 0,87
100	1	68,4	2286,15	29,92
	2	75,7	2287,00	33,10
	3	77,7	2278,36	34,10
	4	80,1	2284,29	35,07
	5	77,4	2281,92	33,92
			Ortalama	33,22 ± 1,97

Çizelge 5.21. Erzurum Traverten mermerinde farklı doygunluk dereceleri ve 1,0 kN/s yükleme oranında elde edilen tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Doygunluk Derecesi (%)	Numune No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
0	1	124,3	2286,24	54,37
	2	120	2275,99	52,72
	3	100,6	2263,41	44,45
	4	133,7	2269,57	58,91
	5	119,7	2281,49	52,47
			Ortalama	52,58 ± 5,23
35	1	107,8	2287,42	47,13
	2	111,3	2284,97	48,71
	3	102,2	2281,32	44,80
	4	107,3	2288,78	46,88
	5	106,4	2275,65	46,76
			Ortalama	46,85 ± 1,39
70	1	94,8	2285,13	41,49
	2	98	2285,73	42,87
	3	90,5	2271,85	39,84
	4	100,7	2281,75	44,13
	5	100,3	2266,36	44,26
			Ortalama	42,52 ± 1,87
100	1	84,8	2270,16	37,35
	2	90,4	2277,77	39,69
	3	88,4	2280,56	38,76
	4	87	2274,64	38,25
	5	88,3	2280,73	38,72
			Ortalama	38,55 ± 0,85

5.4.2. Nokta yükleme dayanımı deneyi sonuçları

Çalışılan kayaçlar %0, %35, %70 ve %100 doymunluk derecesindeyken 0,5 kN/s, 0,75 kN/s ve 1,0 kN/s'lik yükleme oranları uygulanarak ISRM 1985'te önerilen standartlara uygun olarak nokta yükleme dayanımları elde edilmiştir [58].

Elde edilen nokta yükleme dayanımı değerleri Çizelge 5.22-5.33'te verilmiştir.

Çizelge 5.22. %0 doymunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	$I_{s(50)}$ (MPa)
1	53,89	59,65	15,38	5,48
2	53,87	60,34	16,74	5,97
3	53,87	60,63	15,65	5,58
4	53,91	63,36	15,13	5,39
5	53,90	61,45	19,05	6,78
6	53,87	60,61	14,6	5,20
7	53,85	61,40	16,54	5,90
8	53,93	62,35	14,71	5,23
9	53,95	63,16	12,56	4,47
10	53,92	63,05	13,47	4,79
Ortalama				$5,48 \pm 0,65$

Çizelge 5.23. %35 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	$I_{s(50)}$ (MPa)
1	53,91	60,72	15,01	5,34
2	53,90	61,65	14,10	5,02
3	53,87	61,69	12,31	4,39
4	53,86	60,09	13,68	4,88
5	53,88	60,06	14,29	5,09
6	53,89	62,19	14,45	5,15
7	53,88	62,49	14,86	5,29
8	53,93	60,87	14,16	5,04
9	53,89	60,76	15,95	5,68
10	53,88	60,99	13,70	4,88
Ortalama				$5,08 \pm 0,34$

Çizelge 5.24. %70 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	$I_{s(50)}$ (MPa)
1	53,84	61,54	12,96	4,62
2	53,82	61,93	10,70	3,82
3	53,86	63,25	11,76	4,19
4	53,83	61,08	13,28	4,74
5	53,88	59,69	13,20	4,70
6	53,80	61,04	10,83	3,87
7	53,83	62,27	12,56	4,48
8	53,87	63,42	14,00	4,99
9	53,82	60,46	10,71	3,82
10	53,80	61,83	13,16	4,70
Ortalama				$4,39 \pm 0,43$

Çizelge 5.25. %100 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	I _{s(50)} (MPa)
1	53,88	61,50	12,18	4,34
2	53,88	62,25	14,84	5,29
3	53,87	63,21	12,98	4,63
4	53,88	60,25	7,85	2,80
5	53,92	62,44	13,61	4,84
6	53,90	60,42	11,26	4,01
7	53,92	58,55	10,14	3,61
8	53,88	62,07	10,44	3,72
9	53,89	63,32	14,82	5,28
10	53,89	60,55	10,96	3,90
Ortalama				4,24 ± 0,79

Çizelge 5.26. %0 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	I _{s(50)} (MPa)
1	53,87	70,14	17,16	6,11
2	53,90	69,35	18,89	6,73
3	54,14	69,20	16,33	5,77
4	53,87	69,62	17,55	6,25
5	53,87	68,77	16,16	5,76
6	54,11	68,61	14,24	5,04
7	54,17	69,37	16,56	5,85
8	53,90	69,19	20,11	7,16
9	53,90	69,59	17,17	6,11
10	54,19	69,58	15,14	5,35
Ortalama				6,01 ± 0,62

Çizelge 5.27. %35 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	I _{s(50)} (MPa)
1	53,98	67,72	15,19	5,40
2	54,17	70,09	13,99	4,94
3	53,99	69,10	15,79	5,61
4	54,08	70,69	13,61	4,82
5	54,08	68,91	13,76	4,87
6	53,98	68,72	16,12	5,73
7	53,89	70,69	12,18	4,34
8	53,91	69,43	16,20	5,77
9	53,90	71,53	14,18	5,05
10	53,90	69,30	12,20	4,34
Ortalama				5,09 ± 0,53

Çizelge 5.28. %70 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	I _{s(50)} (MPa)
1	54,14	69,93	12,23	4,32
2	54,11	69,21	10,54	3,73
3	54,13	69,33	15,01	5,31
4	54,12	69,33	12,90	4,56
5	54,13	68,85	14,07	4,98
6	54,15	69,32	13,54	4,79
7	53,85	69,42	9,06	3,23
8	54,13	69,99	11,67	4,13
9	54,12	68,55	9,26	3,28
10	53,86	69,56	10,87	3,87
Ortalama				4,22 ± 0,70

Çizelge 5.29. %100 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	I _{s(50)} (MPa)
1	54,15	68,90	10,89	3,85
2	54,09	68,60	8,66	3,07
3	54,12	70,42	11,73	4,15
4	53,91	70,67	14,40	5,13
5	54,18	68,69	10,70	3,78
6	54,10	69,53	9,02	3,19
7	53,87	69,07	14,59	5,20
8	54,13	69,45	11,23	3,97
9	54,15	69,95	8,89	3,14
10	54,17	69,34	15,00	5,30
Ortalama				4,08 ± 0,86

Çizelge 5.30. %0 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	I _{s(50)} (MPa)
1	53,84	61,21	8,19	2,92
2	53,93	62,49	7,65	2,72
3	53,93	60,62	9,89	3,52
4	53,85	61,62	7,80	2,78
5	53,91	61,59	8,59	3,06
6	53,92	61,23	10,94	3,89
7	53,90	62,75	9,04	3,22
8	53,96	61,49	5,89	2,09
9	53,87	62,35	8,81	3,14
10	53,84	62,95	7,08	2,53
Ortalama				2,99 ± 0,51

Çizelge 5.31. %35 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	I _{s(50)} (MPa)
1	53,89	62,05	8,97	3,19
2	53,91	60,35	7,01	2,50
3	53,91	61,59	6,47	2,30
4	53,88	61,48	8,54	3,04
5	53,89	62,06	9,25	3,29
6	53,92	62,44	7,06	2,51
7	53,94	61,75	8,73	3,10
8	53,89	60,89	7,33	2,61
9	53,90	61,64	9,52	3,39
10	53,89	62,40	8,94	3,18
Ortalama				2,91 ± 0,39

Çizelge 5.32. %70 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	I _{s(50)} (MPa)
1	53,86	61,34	7,47	2,66
2	53,82	61,51	9,59	3,42
3	53,88	66,63	7,92	2,82
4	53,84	62,26	5,71	2,04
5	53,83	62,10	8,98	3,20
6	53,83	60,27	8,43	3,01
7	53,88	62,53	8,71	3,10
8	53,86	62,54	5,78	2,06
9	53,88	62,48	6,33	2,26
10	53,82	60,53	7,71	2,75
Ortalama				2,73 ±0,48

Çizelge 5.33. %100 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	$I_{s(50)}$ (MPa)
1	53,89	62,20	7,02	2,50
2	53,85	62,27	8,25	2,94
3	53,85	62,36	7,13	2,54
4	53,90	62,69	8,17	2,91
5	53,89	62,65	7,20	2,56
6	53,91	61,80	8,58	3,05
7	53,85	61,13	7,61	2,71
8	53,90	61,72	7,08	2,52
9	53,88	62,28	6,33	2,26
10	53,96	61,48	5,25	1,87
Ortalama				$2,59 \pm 0,35$

5.4.3. Dolaylı yoldan çekme (Brazilian) deneyi sonuçları

Çalışılan kayaçlar %0, %35, %70 ve %100 doygunluk derecesinde iken 0,5 kN/s, 0,75 kN/s ve 1,0 kN/s'lik yükleme oranları uygulanarak TS 7654'te önerilen standartlara uygun olarak dolaylı yoldan çekme dayanımları elde edilmiştir [60].

Elde edilen dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri Çizelge 5.34-5.45'te verilmiştir.

Çizelge 5.34. %0 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	53,91	27,81	14,90	6,32
2	53,92	27,39	12,90	5,56
3	53,93	26,15	13,30	6,00
4	53,84	23,58	12,00	6,01
5	53,93	26,43	12,90	5,76
6	53,94	25,40	12,60	5,85
7	53,90	26,37	13,10	5,86
8	53,91	26,20	14,40	6,48
9	53,73	26,15	13,70	6,20
10	53,92	24,90	13,20	6,25
Ortalama				6,03 ± 0,28

Çizelge 5.35. %35 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	53,89	26,29	12,40	5,57
2	53,90	26,38	11,50	5,14
3	53,90	26,15	10,70	4,83
4	53,97	26,24	13,10	5,88
5	53,91	27,62	10,10	4,31
6	53,87	26,67	12,00	5,31
7	53,80	27,05	12,40	5,42
8	53,75	26,06	9,70	4,40
9	53,90	27,98	10,40	4,39
10	53,91	26,00	13,80	6,26
Ortalama				5,15 ± 0,67

Çizelge 6.36. %70 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	53,97	26,92	12,50	5,47
2	53,95	26,43	11,60	5,17
3	53,94	26,81	10,70	4,71
4	53,92	27,46	10,90	4,68
5	53,95	26,09	11,10	5,02
6	53,86	26,00	10,60	4,81
7	53,88	27,20	10,70	4,64
8	53,93	27,78	10,20	4,33
9	53,89	26,52	12,30	5,47
10	53,94	26,72	13,20	5,82
Ortalama				5,01 ± 0,46

Çizelge 5.37. %100 doygunluk derecesinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	53,95	26,22	10,70	4,81
2	53,89	25,92	11,60	5,28
3	53,92	25,70	10,60	4,86
4	53,89	25,38	10,80	5,02
5	53,89	25,18	10,00	4,69
6	53,84	27,16	10,90	4,74
7	53,89	25,40	11,30	5,25
8	53,86	25,65	11,50	5,29
9	53,91	28,40	12,30	5,11
10	53,90	26,67	10,10	4,47
Ortalama				4,95 ± 0,28

Çizelge 5.38. %0 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	54,01	27,44	12,10	5,19
2	53,90	27,08	12,40	5,40
3	53,90	27,52	12,80	5,49
4	54,13	27,98	12,60	5,29
5	54,19	27,06	12,30	5,33
6	54,00	26,18	14,10	6,34
7	53,82	27,01	11,60	5,08
8	53,98	27,51	14,40	6,17
9	53,14	27,31	12,70	5,57
10	54,17	27,33	11,90	5,11
Ortalama				5,50 ± 0,43

Çizelge 5.39. %35 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	54,00	27,99	11,10	4,67
2	54,04	27,01	9,30	4,05
3	53,99	27,08	9,80	4,26
4	53,97	27,32	8,40	3,62
5	53,99	26,83	9,30	4,08
6	54,06	27,40	9,10	3,91
7	54,16	27,96	9,00	3,78
8	53,99	27,44	9,10	3,91
9	53,95	26,25	11,70	5,25
10	54,17	27,16	9,60	4,15
Ortalama				4,17 ± 0,48

Çizelge 5.40. %70 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	54,10	26,61	8,10	3,58
2	53,97	27,07	8,20	3,57
3	54,13	27,40	10,00	4,29
4	54,08	27,36	9,70	4,17
5	54,19	27,23	9,40	4,05
6	54,18	26,60	7,40	3,27
7	54,06	27,02	7,60	3,31
8	53,87	27,40	8,70	3,75
9	54,24	27,34	8,90	3,82
10	54,18	27,88	10,60	4,46
Ortalama				3,83 ± 0,41

Çizelge 5.41. %100 doygunluk derecesinde Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	54,14	27,42	7,90	3,38
2	54,01	27,98	7,80	3,28
3	54,20	27,03	8,10	3,52
4	54,03	26,84	10,10	4,43
5	54,23	27,70	7,90	3,34
6	54,20	26,37	7,40	3,29
7	53,90	27,80	9,80	4,16
8	54,08	27,12	10,40	4,51
9	53,89	27,62	7,30	3,12
10	53,90	27,63	10,00	4,27
Ortalama				3,73 ± 0,54

Çizelge 5.42. %0 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	53,84	26,82	6,70	2,95
2	53,97	26,57	9,50	4,21
3	53,87	26,88	9,40	4,13
4	53,87	27,32	7,40	3,20
5	53,85	27,10	6,90	3,01
6	53,80	27,47	6,10	2,63
7	53,91	26,67	8,00	3,54
8	53,86	27,02	8,70	3,80
9	53,90	27,69	9,20	3,92
10	53,92	26,74	8,90	3,93
Ortalama				3,53 ± 0,55

Çizelge 5.43. %35 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	53,95	26,73	6,40	2,82
2	53,91	27,66	7,90	3,37
3	53,87	27,72	7,50	3,19
4	53,90	27,09	7,60	3,31
5	53,99	27,18	7,00	3,03
6	53,95	27,68	7,00	2,98
7	53,95	27,86	7,10	3,00
8	53,98	27,85	6,90	2,92
9	53,87	27,54	7,20	3,09
10	53,96	27,78	7,50	3,18
Ortalama				3,09 ± 0,17

Çizelge 5.44. %70 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	53,89	27,78	7,00	2,97
2	53,96	27,79	7,50	3,18
3	53,94	27,77	6,80	2,89
4	53,86	27,48	6,10	2,62
5	53,91	27,95	7,00	2,95
6	53,96	27,73	5,30	2,25
7	53,89	27,77	7,20	3,06
8	53,97	27,24	6,50	2,81
9	53,97	27,42	7,20	3,09
10	53,91	27,61	6,30	2,69
Ortalama				2,85 ± 0,27

Çizelge 5.45. %70 doygunluk derecesinde Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian) değerleri

Numune No	Eni (mm)	Boyu (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Brazilian Dayanımı (MPa)
1	53,90	27,44	5,90	2,54
2	53,92	26,82	5,20	2,29
3	53,86	27,83	5,80	2,46
4	53,95	27,63	6,70	2,86
5	53,88	28,10	6,50	2,73
6	53,91	28,00	6,00	2,53
7	53,90	27,71	5,70	2,43
8	53,88	28,10	6,30	2,65
9	53,89	27,31	5,90	2,55
10	53,87	27,85	6,10	2,59
Ortalama				2,56 ± 0,16

5.4.4. P-dalga hızı sonuçları

Çalışılan kayaçlar %0, %35, %70 ve %100 doygunluk derecesinde iken 0,5 kN/s, 0,75 kN/s ve 1,0 kN/s'lik yükleme oranları uygulanarak ISRM 1978'de önerilen standartlara uygun olarak p-dalga hızı sonuçları elde edilmiştir [59].

Elde edilen p-dalga hızı değerleri Çizelge 5.46-5.48'de verilmiştir.

Çizelge 5.46. Farklı doygunluk derecelerinde Malatya Bej mermerinin P-dalga hızındaki değişimleri

Numune No	Doygunluk %0	Doygunluk %35	Doygunluk %70	Doygunluk %100
1	6033	6121	6181	6274
2	6029	6058	6146	6238
3	6042	6100	6158	6278
4	5982	6094	6152	6301
5	6202	6232	6324	6418
6	5763	5843	5981	6126
7	5884	5939	5995	6081
8	6091	6150	6210	6271
9	5852	5879	5934	5991
10	6124	6154	6184	6214
11	6062	6090	6120	6149
12	6019	6047	6076	6105
13	5930	5958	5986	6014
14	5866	5921	5976	6033
15	5876	5931	5986	6071
16	5926	5953	6038	6095
17	6062	6090	6149	6209
18	6047	6076	6135	6164
19	6057	6086	6115	6174
20	6057	6115	6144	6174
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	5995 $\pm$ 108	6042 $\pm$ 104	6099 $\pm$ 100	6169 $\pm$ 109

Çizelge 5.47. Farklı doygunluk derecelerinde Adıyaman Emprador mermerinin P-dalga hızınınındaki değişim

Numune No	Doygunluk %0	Doygunluk %35	Doygunluk %70	Doygunluk %100
1	5040	5164	5207	5228
2	5464	5589	5641	5720
3	5080	5223	5308	5352
4	4775	4942	5020	5100
5	5129	5191	5298	5341
6	5036	5158	5307	5442
7	4669	4845	4958	5075
8	4915	5072	5133	5175
9	4721	4827	4938	4996
10	5004	5104	5186	5272
11	5004	5104	5209	5318
12	4947	5268	5400	5492
13	4893	5008	5047	5087
14	4730	4893	5028	5129
15	4789	4900	4957	5036
16	4875	4988	5254	5479
17	4735	4879	5091	5194
18	4408	4616	4789	4996
19	4806	5111	5173	5300
20	4682	4876	5086	5188
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	4885 $\pm$ 221	5038 $\pm$ 208	5151 $\pm$ 191	5246 $\pm$ 189

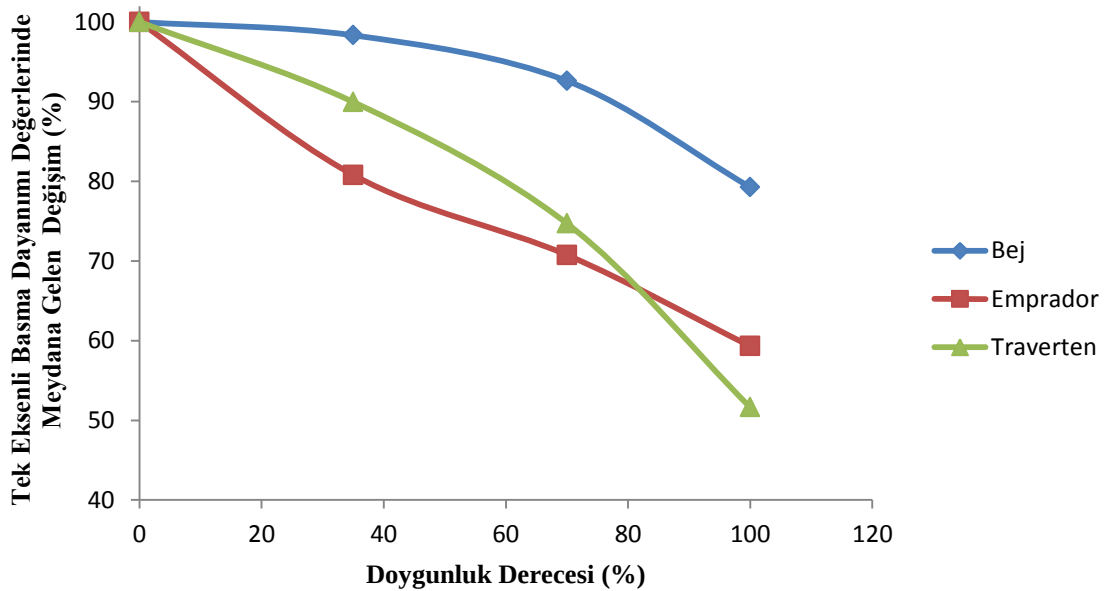
Çizelge 5.48. Farklı doygunluk derecelerinde Erzurum Traverten mermerinin P-dalga hızındaki değişim

Numune No	Doygunluk %0	Doygunluk %35	Doygunluk %70	Doygunluk %100
1	4810	5094	5197	5347
2	4820	5062	5161	5395
3	4869	5058	5263	5439
4	4799	5053	5211	5512
5	4924	5098	5307	5464
6	4287	4647	5053	5515
7	4500	4710	5214	5385
8	4189	4609	5307	5393
9	4266	4500	4977	5298
10	4862	5089	5383	5542
11	4517	4836	5267	5466
12	4266	4627	5034	5430
13	4263	4575	5069	5426
14	4061	4425	4989	5415
15	4707	4920	5074	5390
16	4617	4932	5380	5448
17	4579	4815	5348	5460
18	4165	4455	4985	5386
19	4485	4745	5019	5553
20	4434	4739	4899	5211
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	4521 $\pm$ 272	4800 $\pm$ 229	5157 $\pm$ 150	5424 $\pm$ 81

5.5. Doygunluk Derecesine Bağlı Olarak Dayanım ve Sertlik Değerlerinin Değişiminin Grafikselsel Olarak Gösterimi

5.5.1. Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

Üç farklı mermer örneğine 0,5 kN/s yükleme hızı ile %0, %35, %70 ve %100 doygunluk derecesinde iken Tek eksenli basma dayanımı deneyi yapılmış, elde edilen sonuçlar Şekil 5.4'te grafikselsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

%0 doygunluk derecesinde elde edilen tek eksenli basma dayanımı değeri %100 olarak kabul edilmiş ve doygunluk derecesindeki artışa bağlı olarak dayanımda meydana gelen azalmalar % cinsinden Şekil 5.4'te grafikselsel olarak verilmiştir.

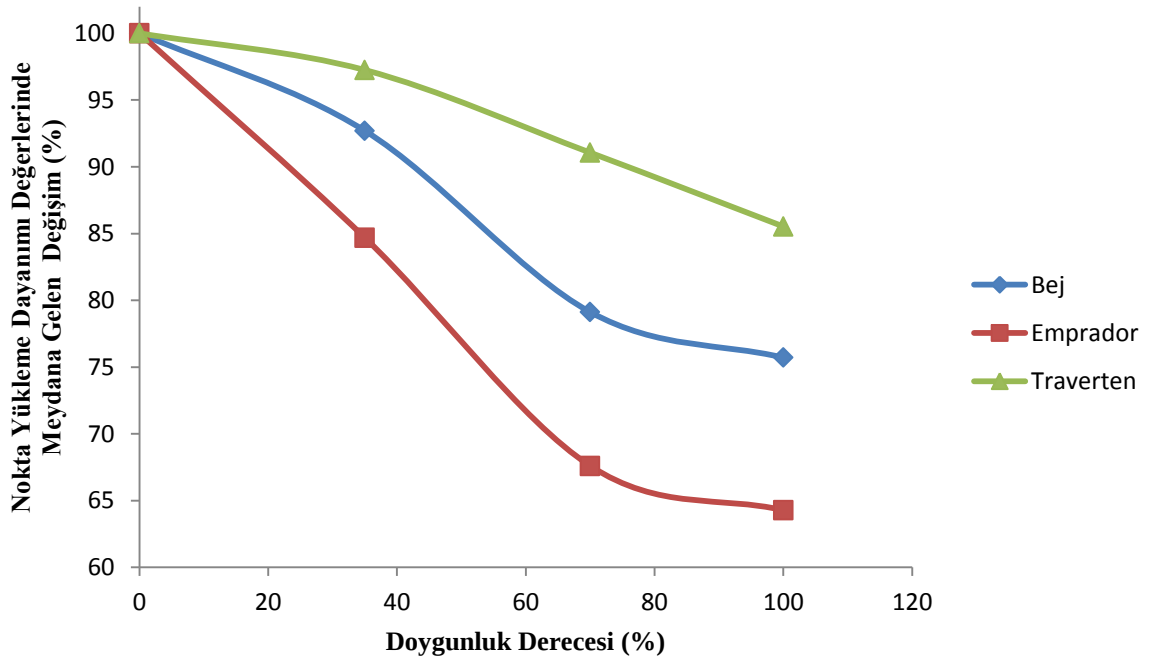
Üç farklı mermer örneği üzerinde 0,5 kN/s yükleme hızı ile yapılan tek eksenli basma dayanımı deneyi sonucunda, doygunluk derecesi %0'dan %100'e geldiğinde

Malatya Bej mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerinin yaklaşık %20, Adıyaman Emprador mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerin yaklaşık %30 ve Erzurum Traverten mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerin yaklaşık %50 azaldığı görülmüştür.

Malatya Bej mermeri ve Adıyaman Emprador mermerinde doygunluk derecesi %35'i geçtikten sonra, Erzurum Traverten mermerinde ise her doygunluk derecesine bağlı olarak tek eksenli basma dayanımı değerlerinde yüksek oranda azalma meydana gelmiştir.

5.5.2. Nokta yükleme dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

Üç farklı mermer örneğine %0, %35, %70 ve %100 doygunluk derecesinde iken nokta yükleme dayanımı deneyi yapılmış, elde edilen sonuçlar Şekil 5.5'te grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Nokta yükleme dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

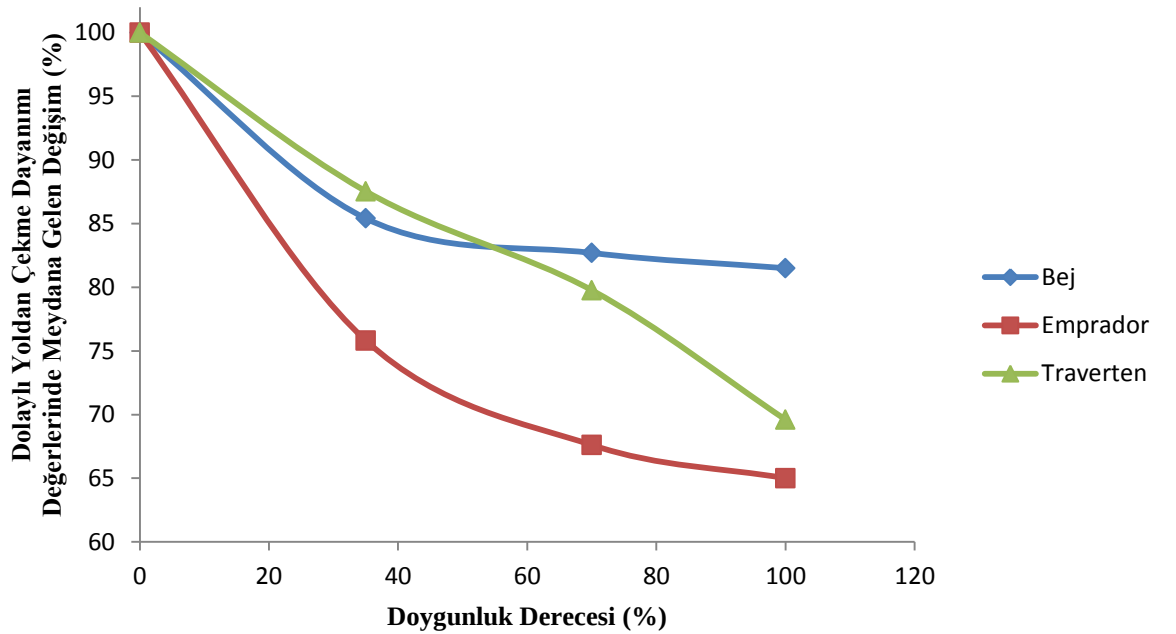
%0 doygunluk derecesinde elde edilen nokta yükleme dayanımı değeri %100 olarak kabul edilmiş ve doygunluk derecesindeki artışa bağlı olarak dayanımda meydana gelen azalmalar % cinsinden Şekil 5.5'te verilmiştir.

Üç farklı mermer örneği üzerinde yapılan nokta yükleme dayanımı deneyi sonucunda, doygunluk derecesi %0'dan %100'e geldiğinde Malatya Bej mermerinin nokta yükleme dayanımı değerinin yaklaşık %22, Adıyaman Emprador mermerinin nokta yükleme dayanımı değerinin yaklaşık %35 ve Erzurum Traverten mermerinin nokta yükleme dayanımı değerinin yaklaşık %15 azaldığı görülmüştür.

Malatya Bej mermeri ve Adıyaman Emprador mermerinde doygunluk derecesi %70'e kadar, Erzurum Traverten mermerinde ise her doygunluk derecesine bağlı olarak nokta yükleme dayanımı değerlerinde yüksek oranda azalma meydana gelmiştir.

5.5.3. Dolaylı yoldan çekme dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

Üç farklı mermer örneğine %0, %35, %70 ve %100 doygunluk derecesinde iken dolaylı yoldan çekme dayanımı deneyi yapılmış, elde edilen sonuçlar Şekil 5.6'da grafiksel olarak gösterilmiştir.



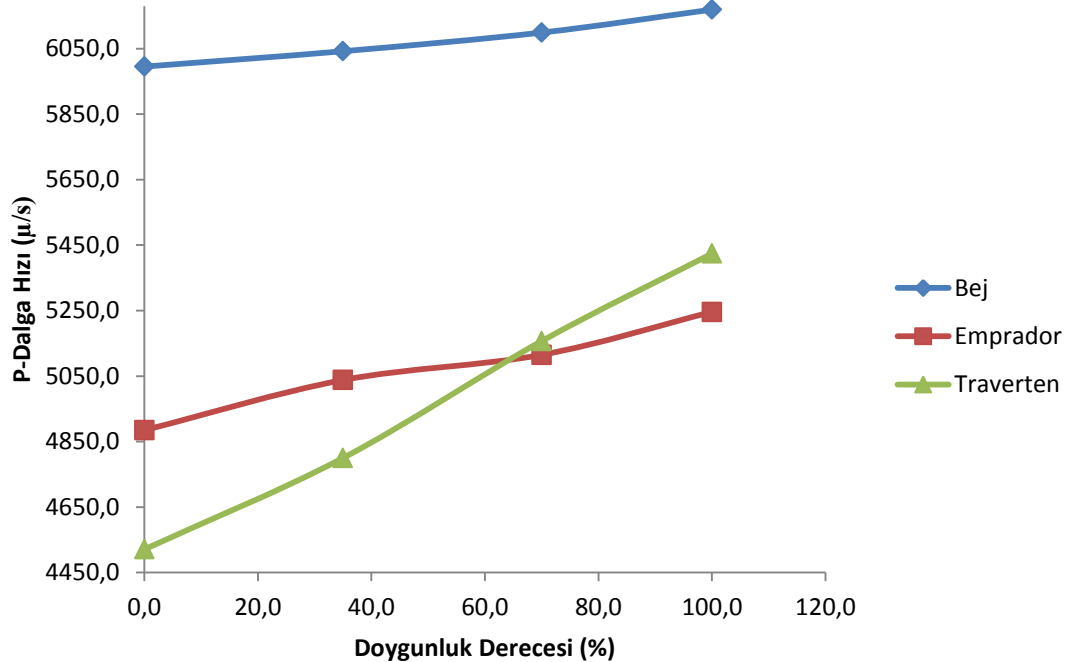
Şekil 5.6. Dolaylı yoldan çekme dayanımı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

%0 doygunluk derecesinde elde edilen dolaylı yoldan çekme dayanımı değeri %100 olarak kabul edilmiş ve doygunluk derecesindeki artışa bağlı olarak dayanımda meydana gelen azalmalar % cinsinden Şekil 5.6’da verilmiştir.

Üç farklı mermer örneği üzerinde yapılan dolaylı yoldan çekme dayanımı deneyi sonucunda, doygunluk derecesi %0’dan %100’e geldiğinde Malatya Bej mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı değerinin yaklaşık %16, Adıyaman Emprador mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı değerinin yaklaşık %35 ve Erzurum Traverten mermerinin dolaylı yoldan çekme dayanımı değerinin yaklaşık %30 azaldığı görülmüştür.

Malatya Bej mermeri ve Adıyaman Emprador mermerinde doygunluk derecesi %35’e kadar, Erzurum Traverten mermerinde ise her doygunluk derecesine bağlı olarak dolaylı yoldan çekme dayanımı değerlerinde yüksek oranda azalma meydana gelmiştir.

5.5.4. P-Dalga hızı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

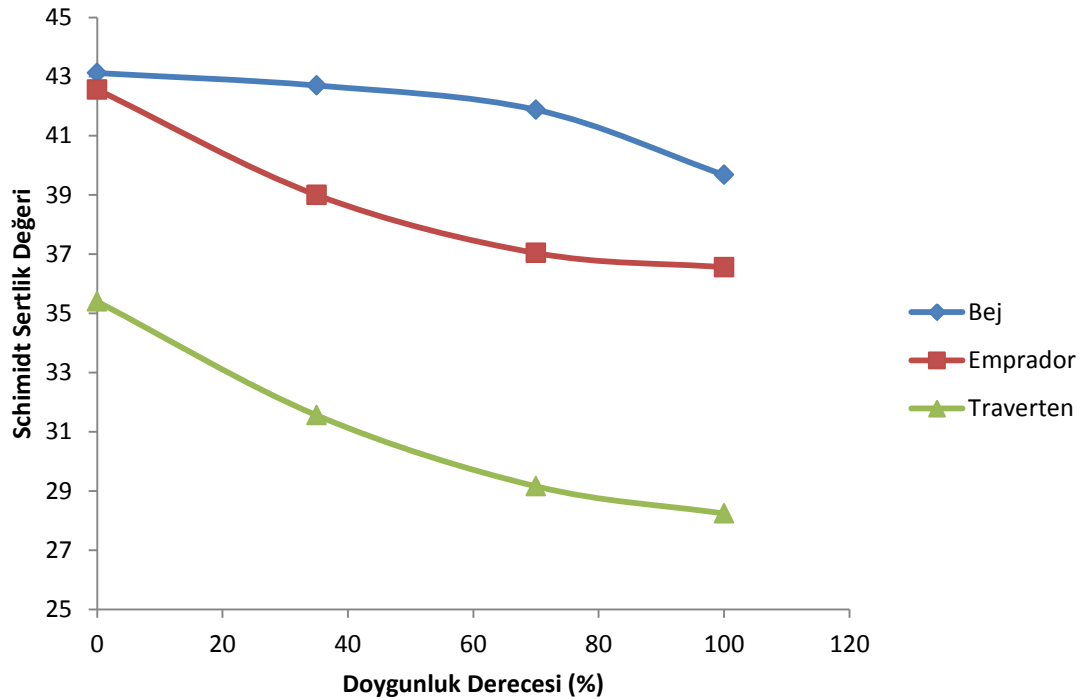


Şekil 5.7. P-Dalga hızı değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

P-dalga hızı; kayalarındaki gözeneklilik ile ters orantılı, yoğunluk ile doğru orantılı ve doygunluk ile kayacın türüne ve mineralojik özellikliklerine bağlı olarak hem doğru hemde ters orantılı olarak değiştiği birçok araştırmacının tarafından belirtilmiştir [24-27, 46, 52-53]. Doygunluk derecesindeki artışa bağlı olarak p-dalga hızında meydana gelen artış en fazla Erzurum Traverteninde gözlemlenmiştir. Adıyaman Emprador ve Erzurum Traverten mermeri Malatya Bej mermerine göre daha fazla boşluklu yapıya sahip olduğundan ve bünyesindeki boşlukların su ile dolması nedeniyle p-dalga hızı artış göstermiştir. Kayaların su emme özellikleri arttıkça, sismik hız boşluklu yapılarda bulunan sudan dolayı daha az dağılmış olup, daha kısa sürede iletimi sağlanmıştır.

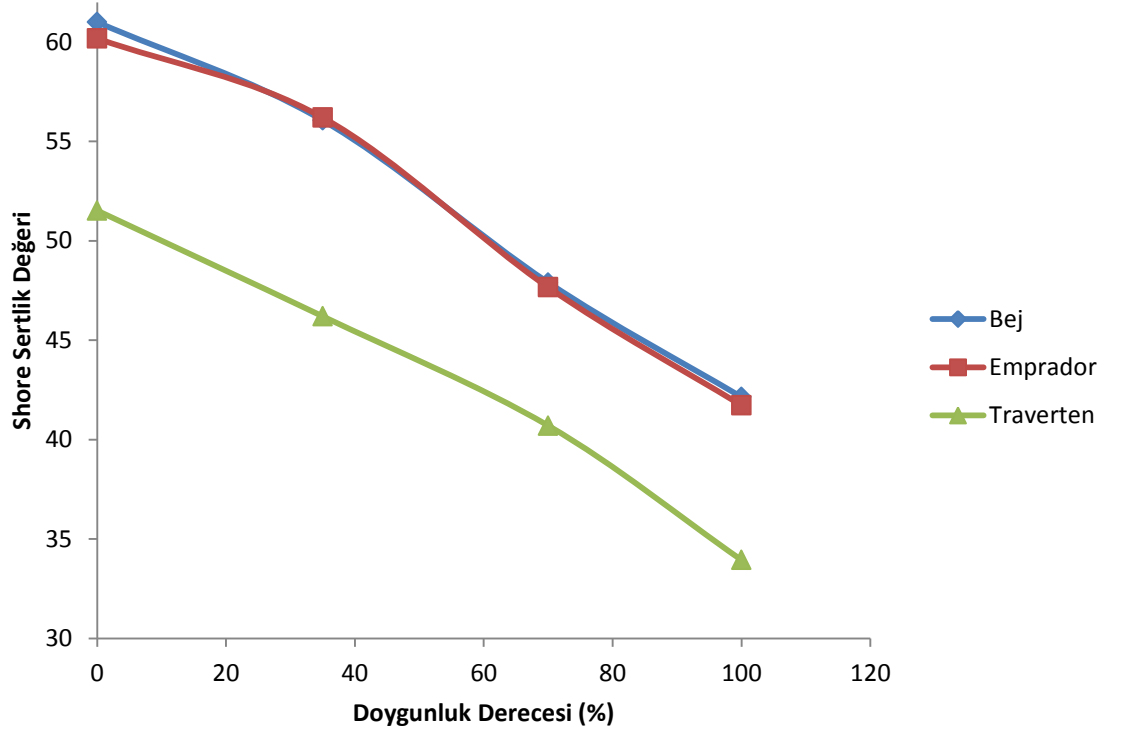
5.5.5. Sertlik değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

Üç farklı mermer örneğine %0, %35, %70 ve %100 doygunluk derecesinde iken Schmidt ve Shore sertlik belirleme deneyleri yapılmış, elde edilen sonuçlar Şekil 5.8-5.9'da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Schmidt sertlik değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

Schmidt çekici sertlik değerlerinin, doygunluk derecesindeki artışa bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Bu azalma Malatya Bej mermerinde %70 doygunluk derecesinden sonra hız kazanmakta iken diğer mermerlerde ise doğrusal şekilde devam etmektedir.

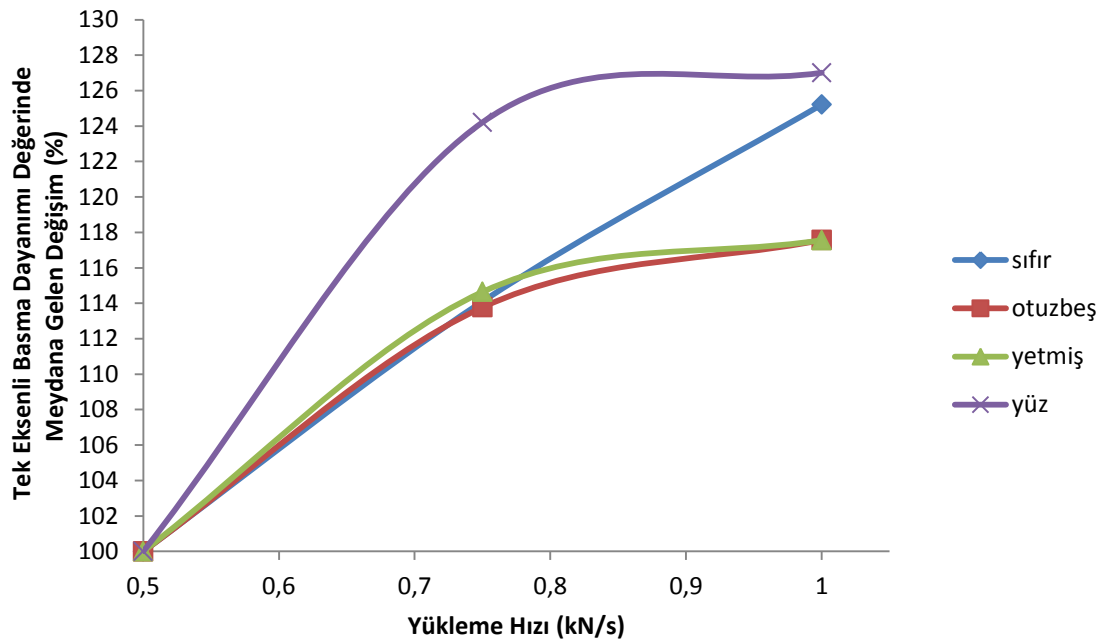


Şekil 5.9. Shore sertlik değerlerinin doygunluk derecelerine bağlı olarak değişimi

Shore Sclereskobu ile yapılan sertlik tayini sonuçlarına bakıldığında sertlik değerlerinin doygunluk derecesindeki artışa bağlı olarak doğrusala yakın şekilde azaldığı görülmektedir.

5.6. Yükleme Hızına Bağlı Olarak Tek Eksenli Basma Dayanımı Değerlerinin Değişiminin Grafikselsel Olarak Gösterimi

5.6.1. Bej mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi



Şekil 5.10. Bej mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi

Üç farklı mermer örneğine, farklı doygunluk derecelerinde 0,5 kN/s, 0,75 kN/s ve 1,0 kN/s yükleme hızı uygulanarak tek eksenli basma dayanımı deneyi yapılmıştır.

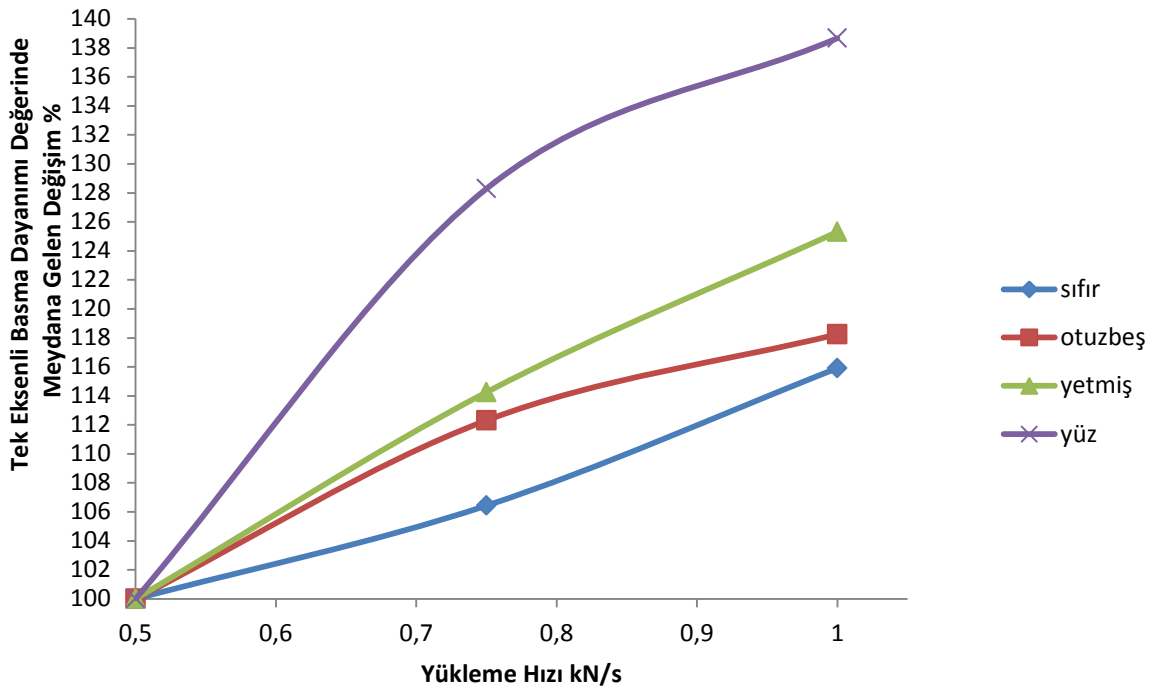
0,5 kN/s yükleme hızında elde edilen tek eksenli basma dayanımı değeri %100 olarak kabul edilmiş ve yükleme hızının artmasına bağlı olarak dayanımda meydana gelen artış % cinsinden Şekil 5.10’da verilmiştir.

Malatya Bej mermerine uygulanan yükleme hızı 0,5 kN/s’den 1,0 kN/s’ye çıkarıldığında doygunluk derecesi %0 iken dayanım yaklaşık %24, doygunluk derecesi %35 iken dayanım yaklaşık %16, doygunluk derecesi %70 iken dayanım

yaklaşık %16, doygunluk derecesi %100 iken dayanım yaklaşık %26 artış göstermiştir.

Malatya Bej mermerinin doygunluk derecesi %0 iken, yükleme hızı arttıkça dayanımı doğrusal bir artış göstermiştir. Doygunluk derecesi %35, %70 ve %100 iken yükleme hızı 0,75 kN/s'den büyük yükleme hızı uygulandığı zaman dayanımda çok büyük bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

5.6.2. Emprador mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi



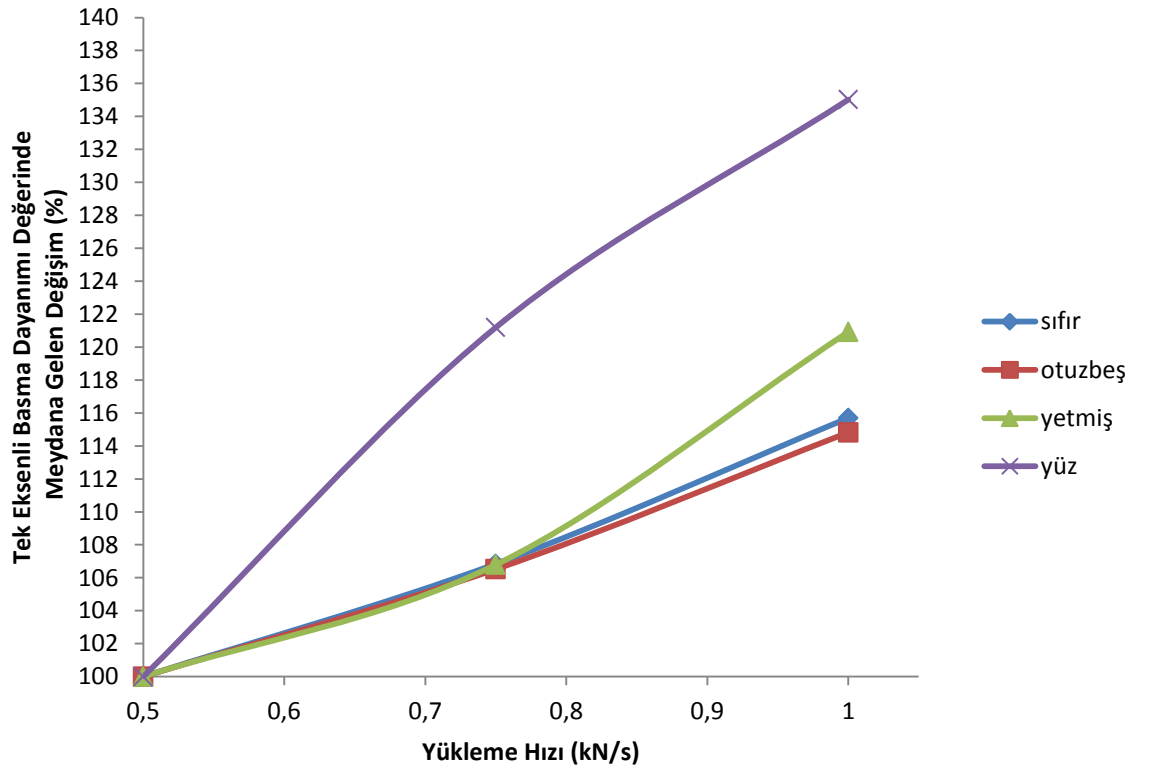
Şekil 5.11. Emprador mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi

0,5 kN/s yükleme hızında elde edilen tek eksenli basma dayanımı değeri %100 olarak kabul edilmiş ve yükleme hızının artmasına bağlı olarak dayanımda meydana gelen artış % cinsinden Şekil 5.11’de verilmiştir.

Adıyaman Emprador mermerine uygulanan yükleme hızı 0,5 kN/s’den 1,0 kN/s’ye çıkarıldığında doygunluk derecesi %0 iken dayanım yaklaşık %12, doygunluk derecesi %35 iken dayanım yaklaşık %16, doygunluk derecesi %70 iken dayanım yaklaşık %24 ve doygunluk derecesi %100 iken dayanım yaklaşık %36 artış göstermiştir.

Adıyaman Emprador mermerinde her doygunluk derecesinde, yükleme hızı arttıkça dayanım farkedilir büyüklükte artış göstermiştir.

5.6.3. Traverten mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi



Şekil 5.12. Traverten mermerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin yükleme hızına bağlı olarak değişimi

0,5 kN/s yükleme hızında elde edilen tek eksenli basma dayanımı değeri %100 olarak kabul edilmiş ve yükleme hızının artmasına bağlı olarak dayanımda meydana gelen artış % cinsinden Şekil 5.12’de verilmiştir.

Erzurum Traverten mermerine uygulanan yükleme hızı 0,5 kN/s’den 1,0 kN/s’ye çıkarıldığında doygunluk derecesi %0 iken dayanım yaklaşık %14, doygunluk derecesi %35 iken dayanım yaklaşık %13, doygunluk derecesi %70 iken dayanım yaklaşık %19, doygunluk derecesi %100 iken dayanım yaklaşık %34 artış göstermiştir.

Erzurum Traverten mermerinin doygunluk derecesi %100 iken yükleme hızı arttıkça dayanımı her aşamada farkedilir büyüklükte artmıştır. Doygunluk derecesi %0, %35, %70, iken yükleme hızı 0,5 kN/s’den 0,75 kN/s’ye çıktığında dayanım çok düşük miktarda değişim göstermiş, 0,75 kN/s yükleme hızı Erzurum Traverten mermeri için dönüm noktası olmuştur.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Mermer olarak kullanılan sedimanter kökenli üç farklı kayaç üzerinde yapılan farklı doygunluk koşulları ve yükleme oranlarında gelişen mekanik özellik değişimlerinin belirlendiği çalışma sonucunda aşağıdaki bulgular saptanmıştır:

- 1- Malatya Bej mermerinin doğal birim hacim ağırlığı değeri $2,69 \text{ gr/cm}^3$, Adıyaman Emprador mermerinin doğal birim hacim ağırlığı değeri $2,62 \text{ gr/cm}^3$, Erzurum Traverten mermerinin doğal birim hacim ağırlığı değeri $2,47 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir.
- 2- Ağırlıkça su emme değeri Malatya Bej mermerinde %0.15, Adıyaman Emprador mermerinde %1.36 Erzurum Traverten mermerinde %1.20 hacimce su emme değeri Malatya Bej mermerinde %0.41, Adıyaman Emprador mermerinde %3.56 Erzurum Traverten mermerinde ise %2.95 olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça ve hacimce su emme değeri hem element bileşimi hem de boşluklu yapılarının çok olmasından dolayı en çok Adıyaman Emprador mermerinde çıkmıştır.
- 3- Özgül ağırlık değerleri; Malatya Bej mermerinde 2,78 Adıyaman Emprador mermerinde 2,77 Erzurum Traverten mermerinde ise 2,75 olarak belirlenmiştir.
- 4- Doluluk oranı değerleri; Malatya Bej mermerinde %99.59, Adıyaman Emprador mermerinde %96.44, Erzurum Traverten mermerinde %97.048 olarak belirlenmiştir. En büyük doluluk oranı değeri Malatya Bej mermerinde bulunmaktadır.
- 5- Görünür porozite değerleri; Malatya Bej mermerinde %0.41, Adıyaman Emprador mermerinde %3.56, Erzurum Traverten mermerinde %2.95 olarak belirlenmiştir. Gerçek porozite değerleri; Malatya Bej mermerinde %3.24, Adıyaman Emprador mermerinde %5.42, Erzurum Traverten mermerinde %10.55 olarak saptanmıştır.

- 6- Mineralojik içeriği belirlemek için yapılan XRD sonucunda; Malatya Bej ve Erzurum Traverten mermerlerinin kalsit bileşimli, Adıyaman Emprador mermerinin ise kalsit ve dolomit bileşimli olduğu belirlenmiştir.
- 7- Elementel içeriği belirlemek için yapılan XRF sonucunda her üç mermerde ana oksit bileşeninin CaO olduğu (Malatya Bej %58.77, Adıyaman Emprador %40.97, Erzurum Traverten %59.13) görülmüştür. Ayrıca Adıyaman Emprador mermeri dolomit içerdiği için MgO oranı %14.33 olarak bulunmuştur.
- 8- Kayaçlar %0, %35, %70, %100 doygunluk derecelerine gelinceye kadar suda bekletilmiş ve belirlenen doygunluk derecelerine ulaştığında Schmidt çekici ve Shore Sclereskobu ile sertlik tayini, nokta yükleme dayanımı, indirekt çekme dayanımı ve P-dalga hızı tayinleri yapılmıştır. Tek eksenli basma dayanımı testi her bir doygunluk derecesinde farklı yükleme oranları (0,5 kN/s, 0,75 kN/s, 1,0 kN/s) uygulanarak gerçekleştirilmiştir.
- 9- Yapılan mekanik testlerde genel olarak doygunluk derecesinin artmasına bağlı olarak dayanım değerlerinde bir azalmanın meydana geldiği görülmüştür.
- 10- Schmidt çekici ile yapılan sertlik tayini sonucunda Malatya Bej mermerinde %70 doygunluk değerinden sonra hızlı bir azalma görülürken, gözeneklilik oranının daha yüksek olduğu diğer mermerlerde ise sürekli ve doğrusal bir azalmanın meydana geldiği görülmüştür.
- 11- Shore Sclereskobu ile yapılan sertlik tayini sonuçlarında ise her üç mermer türünde doygunluk artışının sertlik değerinde doğrusal bir azalma meydana getirdiği gözlemlenmiştir.
- 12- Nokta yükleme deneyi sonuçları incelendiğinde doygunluk oranına bağlı olarak dayanım değerlerinde bir azalmanın olduğu görülmektedir. Bu azalma en çok %35-70 doygunluk oranında görülmüş ve %70 doygunluk

derecesinden sonra doygunluk artışı dayanım üzerinde çok fazla etkili olmamıştır.

13-Brazilian deneyi sonuçları incelendiğinde gözenekliliğin düşük olduğu Malatya Bej mermerinde doygunluk %35 ve Adıyaman Emprador mermerinde %70 oranından sonra dayanımı çok fazla etkilememiştir. Fakat Erzurum Traverten mermerinde ise doygunluk artışı dayanımı sürekli olarak düşürmüştür.

14-P-Dalga hızı gözeneklilik derecesi fazla olan Erzurum Traverten ve Adıyaman Emprador örneklerinde doygunluğun artışına bağlı olarak büyük oranda artış olurken, gözenekliliği düşük olan Malatya Bej mermeri fazla etkilenmemiştir.

15-Tek eksenli basma dayanımı deneyi farklı doygunluk derecesi ve farklı yükleme oranları uygulanılarak gerçekleştirilmiştir. %0 doygunluk oranındaki (kuru) tüm kayaçlarda yükleme hızındaki artış dayanımı doğrusal olarak arttırdığı görülmüştür. Gözenekliliğin düşük olduğu Malatya Bej mermerinde doygunluk derecesi artışına karşın yükleme hızı artışının 0,75 kN/s oranından sonra çok fazla etkili olmadığı görülmüştür. Erzurum Traverten ve Adıyaman Emprador mermerlerinde ise yükleme hızı ve doygunluk derecesi artışı basma dayanımı değerini artırmış, ancak bu artışta yükleme hızının etkisi daha büyük olmuştur.

6.2. Öneriler

Kayaçları mühendislik yapılarına göre uygun şartlar altında sınıflandırma yapabilmek için çalışma bölgesine ait verileri uygun analizlere tabi tutmak gerekmektedir. Çalışma bölgesine ait verileri hem laboratuvar hem de arazi ortamında saptamak mümkündür. Fakat yapılan çalışmalarda genellikle kayaçların dayanımını saptarken kayacın kuru haldeki dayanımı dikkate alınmaktadır. Oysa ki kayaçlarda bulunan gözeneklerin su ile dolması onların fiziko-mekanik açıdan zayıflamasına yol açmaktadır. Bu çalışmada, incelenen kayaç örneklerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde de gözeneklilik derecesi artışının kayacın mekanik özelliklerini düşürdüğü görülmüştür. Yapılan bu çalışmadan faydalanılarak; şev stabilite analizleri, baraj, yol, tünel, galeri gibi yapıların inşaatında kayaçların doygunluk derecelerine karşın nasıl bir dayanım özelliği sergilediğinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle kaya mekaniği alanında tasarım yapılırken doygunluk koşullarını göz önünde bulundurulması duraylılığın denetlenmesinde önemlidir.

Kayaçların doğal ortamlarında kararlılık analizi ve tasarım özelliklerini belirlemek amacıyla, yükleme hızının kayaç dayanımına etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Fakat yapılan çalışmalarda genellikle kayaçların yükleme hızına bağlı dayanımını saptarken kayacın kuru haldeki dayanımı dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada, kayaçların farklı doygunluk derecelerinde ve yükleme oranlarında tek eksenli basma dayanımının nasıl değiştiği incelenmiş olup, yükleme oranı arttıkça, kayaçların tek eksenli basma dayanımlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmadan faydalanılarak, uzun dönemli köprü ve yeraltı madencilik tasarımında ani yüklemelere karşın kayacın gösterebileceği maksimum dayanım değeri belirlenebilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- [1] R. Ulusay, C. Gökçeoğlu, A. Binal, Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, 2005, Ankara.
- [2] J.P.Harrison and J.A.Hudson, Engineering Rock Mechanics Part 2, 2000, s.13, USA.
- [3] Khandelwal M., Ranjith P.G., *Correlating index properties of rock with P-wave measurements*, **Journal of applied geophysics**, 71:1 (2010) 1-5
- [4] T.N. Singh et all., *Effect of the pH on the phsysico-mechanical properties of marble*, **Bulletin of Engineering Geology and Environment**, 66:1 (2007) 81-87
- [5] Karpuz C., Hindistan M.A., Kaya Mekaniği İlkeleri Uygulamaları, 2008 , Ankara
- [6] Bhvani, S., Goel R.K., Engineering rock mass classification, Chapter 3, Rock material, 13-19, 2011
- [7] Mishra D.A., Basu A., *Estimatioanof uniaxial compressive strength of rock materials byindex testsusing regression analysis and fuzzy inference system*, **Engineering Geology**, 160 (2013) 54-68
- [8] Kahraman S., *Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock*, **Internetal Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, 38 (2001) 921-928
- [9] Yeşiloğlu-Gültekin N., Sezer E.A., Gökçeoğlu C., *An application of adaptive neuro fuzzy inference system for estimating the uniaxial compressive strength of certain granitic rocks from their mineral contents*, **Expert Systems with Applications**, 40 (2013) 921-928
- [10] Tütmez B., Tercan A.E., *Spatial estimation of some mechanical properties of rocks by fuzzy modelling*, **Computers and Geotechnics**, 34:1 (2007) 10-18
- [11] J.C.Jaeger, N.G.W. Cook, R.W. Zimmerman, Funtemantals of rock Mechanics, 2004, s. 1, USA.
- [12] Kahraman S., *A correlation between P-wave velocity, number of joints and Schmidt hammer rebound number*, **Internetal Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, 38 (2001) 729-733

- [13] H.Arman, K. Kayabalı, H. Çetin, Mühendislik Kaya Mekaniği İlkelerine Giriş,2005, Ankara
- [14] R.E. Goodman, Kaya Mekaniğine Giriş, (Çeviren : Kamil Kayabalı), 2003, Ankara
- [15] H. Köse, B. Kahraman, Kaya Mekaniği (4. Baskı), 2009, İzmir.
- [16] D.Tiab, E.C. Donaldson, *Petrophysics*, Elsevier, 2012, s. 85
- [17] Karaman K., Kesimal A., Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde nokta yükü deney yöntemleri ve porozitenin değerlendirilmesi, **Madencilik**, 51 (4) (2012) 3-14
- [18] Karakuş M., Tütmez B., *Fuzzy and multiple regression modelling for evaluation of intact rock strength based on point load, schmidt hammer and sonic velocity*, **Rock Mechanical Rock Engineering**, 39 (1) (2006), 45-57
- [19] Tütmez B., Kahraman S., O. Günaydın, *Multifactorial fuzzy approach to the sawability classification of building Stones*, **Construction and Building Materials**, 21 (2007) 1672-1679
- [20] ISRM, *Suggested Methods For Determining The Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials*, **International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstracts** ,16 (1978) 135-140.
- [21] Akram M., Bakar M.Z.A., *Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks*, **Pak. J. Eng. App. Sci.**, Vol 1, 8
- [22] Bieniawski Z.T., *The Point-Load Test in Geotechnical Practice Engineering Geology* , 1975.
- [23] Quocdan D., Konietzky H., Herbst M., *Brazilian tensile strength tests on some anisotropic rock*, **International Journal of Mechanics and Mining Science**, 58 (2013) 1-7
- [24] Karakul H., Ulusay R., Kayaların dayanım özelliklerinin farklı doygunluk koşullarında P-dalga hızından kestirimi ve P-dalga hızının fiziksel özelliklere olan duyarlılığı, **Yer Bilimleri**, 33 (3) (2012) 239-268

- [25] Kahraman S., *The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of rocks*, **Ultrasonics**, 46 (2007) 341-348
- [26] Khandelwal M., Singh T.N., *Correlating static properties of coal measures rocks with P-wave velocity*, **Internatioanal Journal of Coal Geology**, 79 (2009) 55-60
- [27] Khandelwal M., Ranjith P.G., *Correlating index properties of rocks with P-wave measurements*, **Journal of Applied Geophysics**, 71(2010) 1-5
- [28] Anon, *Classification of rocks and sils for engineering geological mapping. Part 1-Rock and Soils Materials*, **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, 19 (1979) 364-371
- [29] D.E Sarıcı, Akçadağ (Malatya) batısındaki eosen yaşlı mermerlerin optimum işleme koşullarının belirlenmesi, Doktora Tezi, 2011 54-64s
- [30] ISRM, *Suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock masses*, **International Journal of Rock Mechanic and Mining Science**, 15 (1978) 319-368.
- [31] R. Altındağ, Effects of specimen volume and tempareture on measurement of shore hardness, **Rock Mechanical Rock Engineering**, 35 (2) (200), 109-113
- [32] Kurt H., Maden Mühendisleri İçin Mineraloji ve Petrografi, 2012 , Konya Sayfa:234
- [33] Fuenkajorn K., Sriapai T., Samsri P., *Effects of loading rate on strength and deformability of Maha Sarakham salt*, **Enginnering Geology**, 135-136 (2012) 10-23
- [34] Haung B.,Liu J., The effect of loading rate on the behavior of samples composedof coal, **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, 61 (2013) 23-30
- [35] OkuboS., Hashiba K., Fukui K., *Loading rate dependency of the strengths of some Japanese rocks*, **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, 58 (2013) 180-185

- [36] Backers T., Fardin N., Dresen G., O. Stephansson, *Effect of loading rate on Mode I fracture toughness, roughness and micromechanics of sandstone*, **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, 40 (2003) 425-433
- [37] Okubo S., Fukui K., Qingxin Qi, *Uniaxial compression and tension tests of anthracite and loading rate dependence of peak strength*, **Internatioanal Journal of Coal Geology**, 68 (2006) 196-204
- [38] Hashiba K., Okubo S., Fukui K., *A new testing method for investigating the loading rate dependency of peak and residual rock strength*, , **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, 43 (2006) 894-904
- [39] Lei M., Hashiba K., Okubo S., K. Fukui, *Loading rate dependency of complete stres-strain curve of various rock types*, **The 14th World Conference on Earthquake Enginneering**, (2008) October 12-17, China
- [40] Zhou X., Qian Q., Yang H., *Effect of loading rate on fracture characteristics of rock*, **Journal of Central South University of Technology**, 17 (2010) 150-155
- [41] Fuenkajorn K., Sriapai T., Samsri P., *Effects of loading rate on strength and deformability of Maha Sarkham salt*, **Engineering Geogly**, 135-136 (2012) 10-23
- [42] Khamrat S., Fuenkajorn K., *Effect of loading rate and pore pressure on compressive strength of rock*, **The 7th International Conference on Earth Resource Technology**, (2013) 7-12
- [43] E. Hoek, J.W. Bray, Kaya Şev Stabilitelesi, Çevirenler (G. Paşamehmetoğlu, A. Özgenoğlu, Celal Karpuz), 2009, Ankara
- [44] D.İ.Önenç, *Sert Taşların "Su Emme" Özelliğinin Önemi*, **MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni**, 1-2 (1997), 67-71
- [45] Ajalloian R., Karimzadeh L., *Geotechnical rock mass evaluation of Givi dam site*, **10th Int. Cong. On Rock Mechanic**, 1 (2003) 7-10
- [46] Sachpazis C.I., *Monitoring and correlating geotechnical engineering properties and degree of metamorphisim in a four-stage alteration process passing from pure limestone to pure marble*, **Elektronic Journal of Geotechnical Engineering**, 2004

- [47] Barefield E., Shakoor A., *The effect of degree of saturation on the unconfined compressive strength of selected sandstones*, **10th IAEG International Congress**, United Kingdom, (2006) 606
- [48] Romana M., Vasarhelyi B., *A discussion on the decrease of unconfined compressive strength between saturated and dry rock samples*, **10th Congress of the International Society for Rock Mechanics**, 3(2007)
- [49] Agustawijaya D.S., *The uniaxial compressive strength of soft rock*, **Civil Engineering Dimension**, 9 (2007) 9-14
- [50] Z.A. Ergöler, *Su içeriğinin kil içeren kayaların mühendislik davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2007
- [51] Vasconcelos G., Lourenço P. B., Alves C. A. S., Pamplona J., *Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites*, **Ultrasonic**, 48 (2008) pp:453-466
- [52] TörökA., Vasarhelyi B., *The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary*, **Engineering Geology**, (2010)
- [53] Jabbar M.A., *Correlations of point load index and pulse velocity with the uniaxial compressive strength for rocks*, **Journal of Engineering**, 4 (2011) 992-1006
- [54] TS 2513, Doğalyapı taşları, TSE, Ankara, (1977)
- [55] TS 699, Tabii yapı taşları- muayene metodları
- [56] ISRM, *Suggested Methods For Determination of the Shore Sclereseope Hardness*, **International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstracts**, 15:3 (1978) 102-103
- [57] ISRM, *Suggested Methods For Determination of Schmidt Rebound Hardness*, **International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstracts**, 15:3 (1978) 101-102

- [58] ISRM, *Suggested Methods For Determining Ponit Load Strength*, **International Journal Of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstracts**, 22 (1985) 51-60
- [59] ISRM, *Suggested Methods For Determining Sound Velocity*, **International Journal Of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstract**, 15 (1978) 53-58.
- [60] TS 7654, Kayaçların çekme mukavemetinin dolaylı (indirekt) metotla tayini, TSE, Ankara, (1989)
- [61] Quadhi T.M., *Testing Jabal Farasan marble deposit for multiple industrial applications*, **The Arabian Journal for Science and Engineering**, 33:1 (2008) 79-97.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Engin ÖZDEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi: Kangal-SİVAS, 1991

Adres: İnönü Üniversitesi, Merkez Kampüsü, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

E-Posta: ozdemir.engin@inonu.edu.tr

Lisans: İnönü Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller: İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi (2012, devam ediyor)