

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YOĞUNLUK ÖLÇER PROTOTİP ÜRETİMİ VE  
KAYAÇLARIN YOĞUNLUK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Maden Müh. Ali Osman ÇAKIR**

**HAZİRAN 2019  
TRABZON**



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



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalında  
Ali Osman ÇAKIR Tarafından Hazırlanan**

**YOĞUNLUK ÖLÇER PROTOTİP ÜRETİMİ  
VE KAYAÇLARIN YOĞUNLUK ANALİZİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/ 05 /2019 gün ve 1806 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Üye : Doç. Dr. İlker USTABAŞ**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı çerçevesinde hazırlanmış olan bu tezde kayaçların fiziksel özelliklerinin tayininde kullanılan arşimet, kompas ve yüzey kurusu deney yöntemleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvar deneyleri sayesinde elde edilen veriler ışığında, farklı kayaç numunelerinin yoğunluklarını; doğal, kuru ve doygun olarak belirleyebilen bir cihaz üretilmiştir. Elde edilen verileri, sayısal ve grafiksel olarak ifade edebilen cihaz, farklı arazi koşullarında ve laboratuvar ortamında kullanımına uygun olarak tasarlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca, akademik desteği ve değerli fikirleriyle bana her zaman yardımcı olan danışmanım, Sayın Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ'a bu süreçte her daim desteğini benden esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN'a ve başta kıymetli abim Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÇAKIR olmak üzere Öğr. Gör. Ömer ÇAKIR'a, Öğr. Gör. Fatih ÇAKIR'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Tüm hayatım boyunca, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili anneme ve babama en içten şükranlarımı sunarım.

Ali Osman ÇAKIR  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yerinde Yoğunluk Ölçer Prototip Üretimi ve Kayaçların Karşılaştırmalı Yoğunluk Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/06/2019

Ali Osman ÇAKIR

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Tezin Amacı .....	4
1.3. Kayaçlar .....	4
1.4. Kayaçların Sınıflandırılması .....	5
1.4.1. Magmatik Kayaçlar .....	5
1.4.1.1. Derinlik Kayaçları .....	6
1.4.1.2. Damar Kayaçları .....	6
1.4.1.3. Volkanik Kayaçları .....	7
1.4.2. Metamorfik Kayaçlar .....	7
1.4.3. Sedimanter Kayaçlar .....	8
1.4.3.1. Kimyasal Tortul Kayaçlar .....	9
1.4.3.2. Kırıntılı Tortul Kayaçlar .....	9
1.4.3.3. Organik Tortul Kayaçlar .....	9
1.5. Kayaçların Mühendislik Özellikleri .....	10
1.5.1. Kayaçların Mekanik Özelliklerinin Tayini ve Deney Yöntemleri .....	10
1.5.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı .....	10
1.5.1.2. Çekme Dayanımı .....	11
1.5.1.3. Üç Eksenli Basınç Dayanımı .....	11
1.5.1.4. Nokta Yüğü Dayanımı İndeksi .....	11

1.5.2.	Kayaçların Kimyasal Özelliklerinin Tayini ve Deney Yöntemleri	12
1.5.3.	Kayaçların Fiziksel Özelliklerinin Tayini ve Deney Yöntemleri	12
1.2.3.1.	Özgül Ağırlık	12
1.2.3.2.	Birim Hacim Ağırlık	13
1.2.3.3.	Su Emme	15
1.2.3.4.	Porozite ve Boşluk Oranı	16
1.2.3.5.	Permabilite	18
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	19
2.1.	Giriş	19
2.2.	Kayaç Numunelerinin Temin Edilmesi	19
2.3.	Örnek Hazırlama	19
2.3.1.	Karot Alma	21
2.2.2.	Karot Kesme ve Düzeltme	23
2.4.	Yoğunluk Deneyleri	25
2.4.1.	Arşimet Yöntemiyle Yoğunluk Birim Hacim Ağırlık Deneyi	25
2.4.2.	Mezür Yöntemi ile Yoğunluk Birim Hacim Ağırlık Deneyi	31
2.4.3.	Kompas Yöntemiyle Yoğunluk Birim Hacim Ağırlık Deneyi	31
2.5.	Laboratuvar Ortamında Gerçekleştirilen Yoğunluk Deneyleri	38
2.6.	Yerinde Yoğunluk Ölçer Cihazı ile Yoğunluk Deneyleri	43
2.7.	Yerinde Yoğunluk Ölçer Cihazının Tasarımı ve Üretim Prosesinin Belirlenmesi	53
2.7.1.	Cihazın Mekanik Üretimi	53
2.7.2.	Elektronik Devre Şemasının Tasarlanması ve Üretimi	56
2.7.3.	Isıtıcı ve Isı Aktarıcının Üretimi	58
2.7.4.	Veri Transferinin Gerçekleştirilmesi ve Cihazın Programlanması	59
2.8.	Yerinde Yoğunluk Ölçer Cihazının Veri Transferinin İrdelenmesi	59
2.9.	Yerinde Yoğunluk Ölçer Cihazı ile Elde Edilen Verilerin Geleneksel Deney Yöntemleri ile Karşılaştırılması	60
3.	SONUÇLAR	61
4.	ÖNERİLER	62
5.	KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YOĞUNLUK ÖLÇER PROTOTİP ÜRETİMİ VE  
KAYAÇLARIN YOĞUNLUK ANALİZİ

Ali Osman ÇAKIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ  
2019, 66 Sayfa

Kayaçlar fiziko-mekanik özelliklerine göre çeşitli amaçlar için (yol çalışmalarında, inşaat sektöründe, liman ve havaalanı dolgusu, parke, gabion vb. imalatlarda) kullanılmaktadır. Kayaçların yoğunluk ve su içeriği gibi fiziksel özelliklerine her türlü madencilik tasarımlarında ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kayaçların yoğunluk ve diğer fiziksel özellikleri madencilik faaliyetlerinin (açık işletme ve yeraltı işletmesi) ekonomik ve emniyetli üretiminde oldukça elzemdir. Madencilik faaliyetleri oldukça maliyetlidir. Sondaj çalışmaları madencilik maliyetini artırmaktadır. Sondajlardan alınan örneklerin laboratuvarda analiz edilmesi ayrıca hem çok zahmetli hem de zaman kaybıdır. Günümüz teknolojisi ilk analizlerin arazide yapılmasını gerektirmektedir. Kayaçların yerinde yoğunluk ve porozite analizi ile araştırmacılar patlatma tasarımı, tahkimat, rezerv hesaplamaları, kömür ve çevre kayaçların özellikleri gibi birçok önemli konuda bilgi elde edebilmektedir. Bu çalışmada; kayaçların yoğunluk, ağırlıkça su emme, porozite ve su içeriği gibi önemli fiziksel parametrelerini farklı laboratuvar deneyleri ile gerçekleştirmek yerine, kendi bünyesinde toplayan ve bütün deney aşamalarını tam otomasyon olarak yapabilen bir cihazın üretimi yapılmıştır. Bu sayede uzun zaman alan laboratuvar deneyleri kayaç cinsine bağlı olarak daha kısa sürelerde tek bir cihaz yardımı ile yapılabileceği görülmüştür. Cihazın tam otomasyon olması araştırmacının bireysel hatalarını da ortadan kaldırmıştır. Cihaz tasarımı arazi ve laboratuvar ortamına uygun olarak portatif olarak tasarlanmıştır. Cihaz, yapılan ölçümleri istenilen eksenler girildikten sonra (su içeriği – zaman grafiği gibi) grafik olarak araştırmacıya sunabilmektedir. Ayrıca veriler cihazdan USB ile alınabilmektedir. Geliştirilen cihazla kısa sürede laboratuvar çalışmasına kıyasla daha çok sayıda analiz yapmak mümkündür. İlk prototipin üretilmesinden sonra yapılacak deneyler ve ölçümler sonucu makine kendi literatürünü ve standartlarını geliştirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Kayaç yoğunluğu, Fiziksel özellikler, Madencilik faaliyetleri



MSc. Thesis

SUMMARY

DENSITY METER PROTOTYPE PRODUCTION AND  
DENSITY ANALYSIS OF ROCKS

Ali Osman ÇAKIR

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mining Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ  
2019, 66 Pages

According to their physico-mechanical properties, rocks are used for various purposes (road works, construction sector, port and airport filling, parquet, gabion etc.). The physical properties of rocks, such as density and water content, are needed in all types of mining designs. In addition, the density and other physical properties of the rocks are very important in the economic and safe production of mining operations (open operation and underground operation). Mining activities are very costly. Drilling works increase the cost of mining. The analysis of the samples taken from the drillings in the laboratory is also very laborious and time consuming. Today's technology requires the first analysis to be done in the field. With the density and porosity analysis of the rocks, researchers can obtain information on several important topics such as blasting design, fortification, reserve calculations, properties of coal and surrounding rocks. In this study; instead of performing important physical parameters such as density, water absorption, porosity and water content of the rocks with different laboratory tests, a device that collects all the experimental stages in its own structure and can perform all experimental stages as full automation has been produced. In this way, it is seen that long-time laboratory experiments can be done with a single device in shorter times depending on the type of rock. The complete automation of the device has eliminated the individual errors of the researcher. The device design is designed to be portable in accordance with the field and laboratory environment. The device can present the measurements to the researcher after the desired axes are entered (such as water content - time graph). Data can also be retrieved from the device via USB. With the developed device, it is possible to do more analysis in a short time compared to laboratory work. After the production of the first prototype, the tests and measurements will be carried out and the machine's own literature and standards will be improved.

**Key Words:** Rock density, physical properties, mining activities

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Schmidt sertliği ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki .....	3
Şekil 2.1. Karot alma makinesi .....	20
Şekil 2.2. Alınan karot örnekleri .....	21
Şekil 2.3. Karot alma işlemi .....	22
Şekil 2.4. Karot kesme ve düzeltme makinesi .....	24
Şekil 2.5. Düzeltilmiş karot numuneleri .....	24
Şekil 2.6. Arşimet deney düzeneği .....	25
Şekil 2.7. Arşimet deneyi için doymuş hale getirilen numuneler .....	29
Şekil 2.8. a) Karot numunelerini kurutma işlemi b) 0.01 hassasiyette ağırlık ölçümü ...	31
Şekil 2.9. a) şekilli b) şekilsiz numunelerin mezürdeki skala ölçümleri .....	32
Şekil 2.10. a) numuneleri suya doyurma işlemi b) hacim hesabı .....	32
Şekil 2.11. Kuru ve doymuş yoğunlukların hesaplanmasından önce deney numunelerinin a) suya doyurma b) kurutma işlemi .....	37
Şekil 2.12. Fosilli kireçtaşı örneklerinin zamana bağlı ağırlık değişimleri .....	39
Şekil 2.13. Fosilli kireçtaşı örneklerinin suda bekletme ile zamana bağlı ağırlık değişimleri .....	39
Şekil 2.14. Fosilli kireçtaşı örneklerinin zamana bağlı su içeriklerindeki değişimler .....	40
Şekil 2.15. Volkanik breş örneklerinin zamana bağlı su içeriklerindeki değişimler .....	41
Şekil 2.16. Kireçtaşı örneklerinin zamana bağlı su içeriklerindeki değişimler .....	41
Şekil 2.17. Su içindeki volkanik breş örneklerinin zamana bağlı su içeriklerindeki değişim .....	42
Şekil 2.18. Su içindeki fosilli kireçtaşı örneklerinin zamana bağlı su içeriklerindeki değişim .....	42
Şekil 2.19. Sabit sıcaklık altında su içeriği değişimi .....	43
Şekil 2.20. Granit numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi .....	45
Şekil 2.21. Granit numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi .....	47
Şekil 2.22. Kireçtaşı numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi .....	47
Şekil 2.23. Kireçtaşı numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi .....	48
Şekil 2.24. Fosilli kireçtaşı numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi .....	49

Şekil 2.25. Fosilli kireçtaşı numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi .....	49
Şekil 2.26. Volkanik breş numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi ...	50
Şekil 2.27. Volkanik breş numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi .	51
Şekil 2.28. Andezit numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi .....	52
Şekil 2.29. Volkanik breş numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi .	52
Şekil 2.30. Yerinde yoğunluk ölçerin dış görüntüsü .....	54
Şekil 2.31. Yerinde yoğunluk ölçerin iç görüntüsü .....	55
Şekil 2.32. Numune kabı .....	55
Şekil 2.33. Yerinde yoğunluk ölçer blok şeması .....	56
Şekil 2.34. Isıtıcı ve ısıtıcı aktarıcının genel görüntüsü .....	58

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Soğuma şekillerine göre derinlik kayaçları .....	6
Tablo 2.1. Volkanik breş (VB) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	27
Tablo 2.2. Kireçtaşı (K) numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	27
Tablo 2.3. Fosilli kireçtaşı (FK) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	27
Tablo 2.4. Granit (G) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	28
Tablo 2.5. Andezit (A) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	28
Tablo 2.6. Şekilsiz volkanik breş (VB) numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	29
Tablo 2.7. Şekilsiz kireçtaşı (K) numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	29
Tablo 2.8. Şekilsiz fosilli kireçtaşı (FK) numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	30
Tablo 2.9. Şekilsiz granit (G) numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	30
Tablo 2.10. Şekilsiz andezit (A) numunelerinin Arşimet deney sonuçları .....	30
Tablo 2.11. Şekilli kireçtaşı (K) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	33
Tablo 2.12. Şekilli fosilli kireçtaşı (FK) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	33
Tablo 2.13. Şekilli volkanik breş (VB) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	34
Tablo 2.14. Şekilli granit (G) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	34
Tablo 2.15. Şekilli andezit (A) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	34
Tablo 2.16. Şekilsiz kireçtaşı (K) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	35
Tablo 2.17. Şekilsiz fosilli kireçtaşı (FK) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	35
Tablo 2.18. Şekilsiz volkanik breş (VB) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	35
Tablo 2.19. Şekilsiz granit (G) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	36
Tablo 2.20. Şekilsiz andezit (A) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları .....	36
Tablo 2.21. Granit kayaç numunesinin kompas verileri, zamana ve su içeriğine bağlı olarak ağırlık değişimleri .....	38
Tablo 2.22. Andezit kayaç numunesinin kompas verileri, zamana ve su içeriğine bağlı olarak ağırlık değişimleri .....	38

Tablo 2.23. Granit numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı ..	46
Tablo 2.24. Granit için yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler .....	46
Tablo 2.25. Kireçtaşı numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı .....	48
Tablo 2.26. Kireçtaşı için yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler .....	48
Tablo 2.27. Fosilli kireçtaşı numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı .....	50
Tablo 2.28. Kireçtaşı için yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler .....	50
Tablo 2.29. Volkanik breş numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı .....	51
Tablo 2.30. Volkanik breş yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler .....	51
Tablo 2.31. Volkanik breş numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı .....	53
Tablo 2.32. Volkanik breş yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler .....	53
Tablo 2.33. Yerinde yoğunluk ölçerin veri transfer özellikleri .....	59
Tablo 2.34. Farklı yöntemlerle elde edilmiş kayaç yoğunlukları .....	60

## SEMBOLLER DİZİNİ

$a_{ort}$	: Şekilli numunelerin çap değerlerinin ortalaması
$d_{doğal}$	: Doğal yoğunluk
$d_{doygun}$	: Doygun yoğunluk
$d_{dy}$	: Arşimet doygun yoğunluk
$d_{kuru}$	: Kuru yoğunluk
$d_{ky}$	: Arşimet kuru yoğunluk
$d_{md}$	: Mezür yöntemiyle ölçülen cismin doygun yoğunluğu
$d_{mk}$	: Mezür yöntemiyle ölçülen cismin kuru yoğunluğu
$e$	: Boşluk oranı
$f_{\bar{o}}$	: Örnekleme frekansı
$G_I$	: Özgül ağırlık
$h_{ort}$	: Şekilli numunelerin yükseklik değerlerinin ortalaması
$I$	: Akım
$n$	: Gözeneklilik
$P$	: Güç
$PI$	: Oransal integral
$R$	: Şekilli numunelerin çap değerlerinin ortalaması
$S$	: Doygunluk derecesi
$S_a$	: Ağırlıkça su emme
$S_V$	: Hacimce su emme
$T_{\bar{o}}$	: Örnekleme periyodu
$U$	: Gerilim
$V$	: Hacim
$V_b$	: Boşluk hacmi
$V_p$	: Gözeneklerin hacmi
$V_{dh}$	: Doygun durumdaki hacim
$V_{ilk}$	: Saf su dolu mezürdeki sıvının hacmi
$V_{kh}$	: Kuru durumdaki hacim
$V_{Mezür}$	: Mezür düzeneğinde ölçülen cismin hacmi

$V_s$	: Toplam hacim
$V_{son}$	: Saf su ve cismin toplam hacimleri
$V_T$	: Toplam hacim
$W_{dh}$	: Suyu doyorulan kayaç numunesinin ağırlığı
$W_{ds}$	: Suyu doyorulan kayaç numunesinin Arşimet düzeneğindeki ağırlığı
$W_k$	: Kuru ağırlık
$W_l$	: Cismin birim hacim ağırlığı
$W_n$	: Kayacın doğal su içeriği
$W_s$	: kuru ağırlık
$W_T$	: Doğal kayaç numunelerinin toplam ağırlığı
$W_t$	: Doğal nem içerisine sahip cisimlerin toplam ağırlığı
$W_{yk}$	: Yüzey kurusu ağırlığı
$W_w$	: Saf suyun birim hacim ağırlığı
$\gamma_A$	: Kayaçların birim hacim ağırlığı
$\gamma_n$	: Doğal birim hacim ağırlık
$\gamma_s$	: Tane birim hacim ağırlık
$\varphi_n$	: Su içeriği

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Kayaçlara ait yoğunluk, porozite ve su emme gibi fiziksel özellikler sahip oldukları kütle ve hacmin yanı sıra boşluk ve gözenek özellikleri ile ilgilidir. Kaya malzemesi içindeki boşluk oranının artması kayaç yoğunluğunu azaltıp porozitesini artırmakta ve buna bağlı olarak kayaçların dayanım özellikleri azalabilmektedir. Yeraltı madencilik faaliyetlerinin genellikle yeraltı su seviyesinin altında yapıyor olması, kaya malzemelerinin doğal su içeriklerinin de belirlenmesini gerektirmektedir [1].

Kayaçlar fiziko-mekanik özelliklerine göre çeşitli amaçlar için (yol çalışmalarında, inşaat sektöründe, liman ve havaalanı dolgusu, parke, gabion vb. imalatlarda) kullanılmaktadır. Örneğin parke taşı olarak kullanılacaksa yoğunluğu 2.4 gr/cm<sup>3</sup>'ten büyük olmalıdır [2]. Su absorpsiyonu agregaların mühendislik uygulamalarının belirleyen önemli bir parametredir. Örneğin su absorblama miktarı %2,5' dan fazla ise, bu agregalar yol yapımında kullanılabilirler [3]. Kayaçlar içerisindeki şok dalga hızını belirleyen etmenler arasında sırasıyla; yoğunluk, kayaç kütlelerinin dayanım ve porozite gibi özellikleri bulunmaktadır. Kayaçların dayanım, yoğunluk ve porozite özelliklerinin, kayaçlardaki şok dalgası yayılma hızını önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir [4]. Öte yandan [5]'da yapılan çalışmaya göre, mineral tane yoğunluklarının, kayaç numunelerinin iç parçacık hareketleri arasında zayıf ve orta derecede bir ilişki tespit etmişlerdir. Ayrıca yazarlar parçacık hareketleriyle kayaçların su emme kapasiteleri arasında yüksek bir ilişki elde etmişlerdir. Literatür araştırması kayaçların yoğunluk, su içeriği gibi parametrelerinin her türlü tasarımlarında gerekli olan önemli fiziksel özellikler olduğunu göstermektedir.

Kayaçların yoğunluk ve arazide basit bir şekilde belirlenen Schmidt sertliğinden dolayı olarak tek eksenli basınç dayanımları belirlenebilmektedir [6]. Kayaçlara ait en önemli parametreler şüphesiz tek eksenli basınç dayanımı ve yoğunluk gibi fiziksel parametrelerdir. Kayaç numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı verilerinden yola çıkılarak, numunelerin tek eksenli basınç dayanımı tahmini için oldukça pratik yöntemlerin (iğne penetrasyon indeksi, Schmidt çekici yöntemi, nokta yükü indeks deneyi vb.) önerildiği ve geliştirildiği literatürden anlaşılmaktadır [7]. Kayaçlara ait TEB parametresi pratik yöntemlerle (Schmidt çekici, nokta yükü dayanımı vb.) arazide dolaylı olarak



literatürdeki eşitlikler yardımıyla tahmin edilebilmektedir. Literatürde önerilen tek eksenli basınç dayanım eşitliklerini farklı bir yöntemle test etmek için Şekil 1’de [6] tarafından önerilen abak kullanılabilir. Bunun için arazide yoğunluk/birim hacim ağırlığının belirlenmesine ihtiyaç vardır. Yoğunluk gibi kayaca ait fiziksel özelliklerin ve UCS parametresinin arazide yaklaşık olarak belirlenmesiyle gabion, parke ve yol yapımı gibi çeşitli uygulamalarda kullanılıp kullanılmayacağı kabaca ortaya çıkmaktadır. Arazide özellikleri belirlenen ve sadece amaca uygun olabilecek örneklerin detaylı analizler için laboratuvara getirilmesi araştırmacıların işini büyük ölçüde kolaylaştıracaktır.

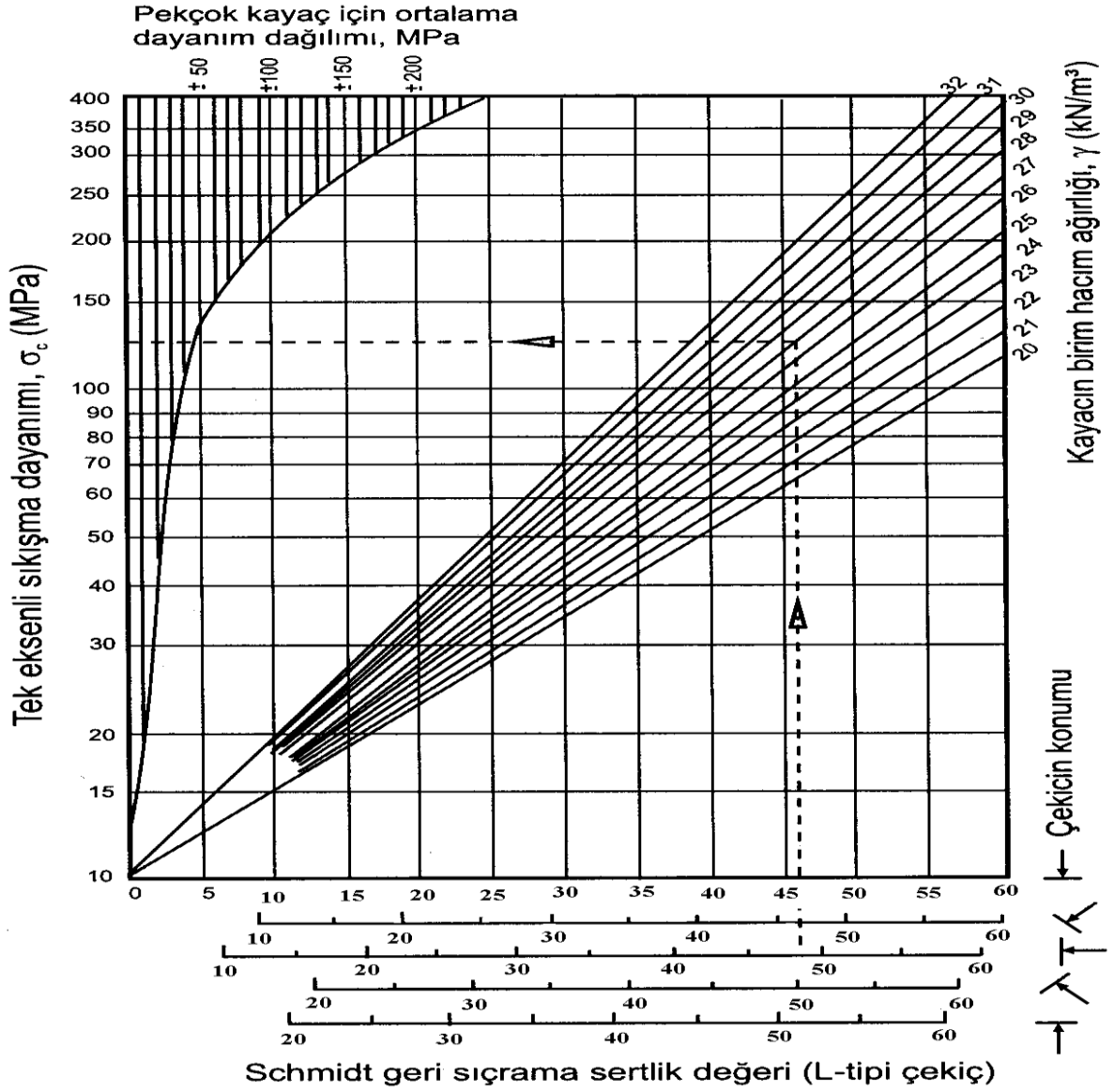
Kayaçların yoğunluk parametresi patlatma tasarımı yapılırken veya değerlendirilirken de oldukça gereklidir. Kaya malzemelerinin şok dalgası yayılma hızını; yoğunluk, dayanım ve porozite özellikleri etkilemektedir. Kömür araştırma sondajlarında kömürlü tabaka ile yan kayaçlar birbiri ile ardalanma göstermektedir. Kömür sondajları bittiğinde laboratuvarlara gönderilmekte ve analizleri yapılmaktadır. Oysaki günümüz teknolojisinde zaman kazanımı oldukça önem arz etmektedir. Kömür sondajları devam ederken arazide değişen her bir tabakanın temsili yoğunluğu ve diğer fiziksel özelliklerinin yaklaşık olarak tespit edilmesi araştırmacılara büyük kolaylık sağlayacaktır.

Zeminlerin yerinde yoğunluğunun belirlenmesi adına yapılan çalışmalar (kum konisi yöntemi vb.) bulunmasına rağmen kayaçlar için hem laboratuvar da hem de arazide kullanılacak yarı otomatik bir cihaza henüz literatürde rastlanmamıştır. Yoğunluk ve diğer bazı önemli parametrelerin madencilik sektörü için çok önemli olduğu görülmüştür. Günümüz teknolojisine uygun olarak ön çalışmaların arazide tamamlanması ihtiyacından dolayı önerilen cihazın geniş bir kullanım alanı bulacağı öngörülmektedir.

Kayaçların yoğunluk ve su içeriği gibi fiziksel özelliklerine her türlü madencilik tasarımlarında ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kayaçların yoğunluk ve diğer fiziksel özellikleri madencilik faaliyetlerinin (açık işletme ve yeraltı işletmesi) ekonomik ve emniyetli üretiminde oldukça elzemdir. Madencilik faaliyetleri oldukça maliyetlidir.

Geliştirilecek alet ile birkaç saat içinde yaklaşık olarak kayaçların yoğunluk, ağırlıkça su emme, porozite ve su içeriği gibi önemli fiziksel parametreleri belirlenebilecektir. Temsili kayaç numuneleri çekiç ile boyutları küçültülerek cihazın uygun haznesine konular ve doğal ağırlığı tartılır. Daha sonra örnek cihaz içinde otomatik olarak kurutulur ve kuru ağırlığı tartılır daha sonra örnek üzerine hacmi bilinen su otomatik olarak ilave edilir. Örneğin hacmi yaklaşık hesaplandıktan sonra gerekli parametreler hesaplanır. Alınan ağırlık ölçümleri cihaz hafızasında kademeli olarak kaydedilir. Cihaz,

yapılan ölçümleri istenilen eksenler girildikten sonra (su içeriği – zaman grafiği gibi) grafik olarak araştırmacıya sunabilmektedir. Ayrıca veriler cihazdan USB ile alınabilecektir. Geliştirilen cihazla kısa sürede laboratuvar çalışmasına kıyasla daha çok sayıda analiz yapmak mümkün olacaktır. İlk prototipin üretilmesinden sonra yapılacak deneyler ve ölçümler sonucu makine kendi literatürünü ve standartlarını geliştirilecektir. Deneylerin doğruluğu laboratuvarında detaylı analizler ile test edilecektir. Üniversiteler ve madencilik firmaları için tasarlanan cihaz seri üretime geçerek araştırmacıların ihtiyaçlarına da karşılık verebilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 1.1. Schmidt sertliği ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki [8]

## 1.2. Tezin Amacı

Üretilmesi planlanan prototip ile tek seferde kayacın yerinde yoğunluğunun ölçülmesiyle madencilik faaliyetlerinin daha doğru, iş sağlığı ve güvenliği protokollerine en uygun şekilde, işletme maliyetlerinin düşürecek verileri kullanıcılara en kısa zamanda sunması amaçlanmaktadır. Proje hedeflerinin gerçekleşmesi durumunda prototip; kayaç yoğunluğunu büyük ölçüde kendisi otomatik olarak belirlemiş olacaktır. Kayaç yoğunluğunun yanı sıra porozite, ağırlıkça su emme, doğal durumdaki su içeriği gibi fiziksel özellikleri %5 hassasiyetle hesaplanabilecektir.

Kayaç yoğunluklarının yerinde ölçülmesi ile patlatma ve tahkimat öncesi sağlıklı veriler alınması sağlanmış olacaktır. Bu sayede doğru patlayıcı miktarı seçimi ve uygun tahkimat miktarı ve seçimi en doğru şekilde yapılması sağlanması amacı güdülmektedir.

Yapılan ölçümler sayısal ve grafiksel olarak araştırmacıya sunulması amaçlanırken, bu sayede madencilik faaliyetlerinde kullanılacak kayaçlar ile ilgili ön bilgi sahibi olunacaktır. Sonuca göre kayaçlar laboratuvara getirilerek detaylı analizler yapılabilir.

## 1.3. Kayaçlar

Osmanlıcada “senk” ya da “hacer” olarak bildiğimiz taş kelimesi, günümüze “kaş” kelimesinden gelmiştir. Öz Türkçede katı toprak manasına gelen kaş kelimesi, yer kürenin basıncı ve doğal olaylar sonucunda oluşan toprak anlamını da taşımaktadır. Jeoloji biliminde taş kelimesi yerine kayaç, kaya ve kütle sözcükleri kullanılmaktadır. Jeoloji adıyla kayaçlar, bir veya birden fazla mineralin bir araya gelmesiyle oluşan, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile gruplandırdığımız katı kütlelerine denir [9]. Kayaçları temel özellikleri sayesinde ayırt edebilir ve tanıyabiliriz. Bu özellikleri sıralayacak olursak; tane şekli, mineral bileşimleri, tane boyutu ve taneler arasındaki ilişki örnek olarak verilebilir.

Kayaçlar oluşumları milyonlarca yıl veya yıllara sonucu olarak iç ve dış güçlerin etkisi ile doğal bir döngü içerisinde oluşurlar. Yer kabuğunun oluşumu ve şekillenmesi ile paralel olarak nitelendirdiğimiz kayaçların oluşumları, dünyanın ilk günlerinden bugüne kesintisiz bir süreç olup, günümüzde de halen devam etmektedir [10]. Kayaçlar, magmanın kristalleşmesi, var olan kayaçların yeniden kristalleşmesi ya da doğal olayları sonucu kırılan parçalanan kayaçların su içerisinde barındırdığı minerallerle depolanarak tekrar oluşurlar.

Mineraller, kimyasal bir formüle sahip katı kütlelerden meydana gelirler. Homojen yapıdadırlar. Kayaçlar, bu minerallerin bir araya gelmeleriyle meydana gelirler. Kayaçların içerisinde bol miktarda mineral bulunur. Kayaçların temel özelliklerini belirleyen de bu minerallerdir. Ayrıca kayaçların içerisinde barındırdıkları mineraller, o kayacın isminin belirlenmesini de sağlamaktadır. Kayaçların içerisinde bulunan ve kayaca ismini veren minerallerin yanında çok az bulunan minerallere tali mineraller denir. Bu minerallerin kayaçlar içerisinde tanınmasında kristal şekli ve atomik yapılarının yanı sıra fiziksel özelliklerinden de yararlanır. Bunlar; öz kütle, sertlik, dilinim, parlaklık, manyetik özellik ve çizgi rengi gibi özelliklerdir [11].

#### **1.4. Kayaçların Sınıflandırılması**

Bu kısımda arazide sıklıkla karşılaşılan kayaç türleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

##### **1.4.1. Magmatik Kayaçlar**

Magmatik kayaçlar yer yüzünde bulunuş şekilleri itibari ile büyük bir çoğunluğu sert, dayanımlı ve yoğun bir yapıdadırlar. Oluşum esnasında meydana gaz kabarcıklarından dolayı tüfler ve bazı bazalt türleri gözenekli yapıdadır. Bundan dolayı bu kayaçların mukavemeti düşük, hafif ve yüksek absorpsiyona sahiptirler.

Erimiş halde bulunan silikat hamuruna magma denir. Magmanın yerkabuğunda meydana gelen tektonik hareketler sonucunda oluşan çatlaklar yardımı ile yer yüzüne çıkarak soğuması ile meydana gelen kayaçlara, magmatik kayaçlar denir. Magmanın yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde ve bu derinliklerden yeryüzüne uzanan çatlaklarda ve bazı durumlarda bu çatlakların yer yüzü açıklıklarında katılaşması sonucu magmatik taşlar oluşur. Katılaşmanın gerçekleştiği yere göre magma; derinlik kayaçları, damar kayaçları ve yüzey kayaçları olarak gruplandırılabilirler. Çatlaklar yardımı ile yer yüzüne çıkan magmatik kayaçların soğuma hızı, oluşacak magmatik kayaçların kristal yapılarının doğrudan etkilemektedirler. Yeryüzünün derinliklerinde gerçekleşen magma sonucunda meydana gelen derinlik kayaçları, gerçekleşen yavaş soğuma sebebi ile iri kristal tanelerine sahip olmaktadır. Damar ve çatlaklarda gerçekleşen soğuma hızı, nispeten derinlik kayaçlarının oluşumuna göre daha hızlı olacağı için camsı bir yapı içerisinde dağınık ince

kristalli bir kayaç yapısı oluştururlar. Bu sayede magmatik kayaçlar, farklı kristal büyüklüklerine sahip ve değişik renlerde kayaç yapıları oluştururlar. Yarıca homojen bir yapıya sahiptirler. Magmanın yer kabuğu içerisindeki soğuma hızına göre;

- Katılaşma ve soğuma derinlerde yavaş gerçekleşiyor ise tam kristalli kayaçlar,
- Katılaşma ve soğuma yeryüzünde hızlı gerçekleşiyor ise camsı bir yapı içerisinde kristalli kayaçlar,
- Katılaşma ve soğuma, yer yüzüne yakın denizliklerde ve çatlaklarda oluşuyor ise küçük kristalli kayaçlar meydana gelirler.

Buradan yola çıkarak magmatik kayaçlar, oluşum derinliklerine göre üç grupta incelenir. Bunlar; derinlik, damar ve volkanik kayaçlardır [12].

Tablo 1.1. Soğuma şekillerine göre derinlik kayaçları

<b>Yavaş Soğuyan (İri Taneli)</b>	<b>Hızlı Soğuyan (İnce taneli)</b>	<b>Çok Hızlı Soğuyan (Camsı Dokulu)</b>
Gabro	Bazalt	Pomza
Diyorit	Andezit	Volkanik Cürufu
Granit	Riyolit	Obsidiyen

#### 1.4.1.1. Derinlik Kayaçları

Magmatik kayaçlar, yer kabuğu içerisinde veya çatlak oluşumları yardımıyla yer yüzüne yakın kısımlarında meydana gelen soğuma sonucunda homojen yapılı olarak oluşurlar. Magmanın yer kabuğunun derinliklerinde ilerledikçe meydana gelen soğuma sonucunda oluşan kayaçlara plütonik kayaçlar denir. Bu soğuma yavaş yavaş meydana geliyor ise iri (1 mm'den daha büyük tane boyutuna sahip) ve tam kristalli kayaç yapıları meydana gelir. Plütonik kayaçlar, yer kabuğunda tam kristalli, taneli veya yalnızca kristallerden oluşurlar. Burada yalnızca kristallerden oluşan plütonik kayaçlar, çok sağlam ve dayanıklı bir yapı oluşturmaktadırlar.

#### 1.4.1.2. Damar Kayaçları

Yarı derinlik kayaçları, magmanın yer kabuğuna yakın kısımlarında ilerleyerek yer yüzüne ulaşmadan soğuyarak katılaşması sonucu oluşurlar. Bu kayaçlar yer kabuğu

içerisinde bulunan damar ve çatlaklarda soğuması sonu oluştuklarından damar kayacı olarak da adlandırılırlar. Yer yüzüne yakın derinliklerde düşük basınç altında soğuyarak oluştukları için, yapılarında iri kristaller ve çok iri taneli kristaller barındırırlar. Yarı derinlik kayaçlarının hamur maddesi ise genellikle mikro kristallerdir.

### **1.4.1.3. Volkanik Kayaçları**

Magmanın yer yüzüne yakın kısımlarında veya yer yüzüne bir baca yardımı ile taşınması sonucunda gerçekleşen çok hızlı soğumayla meydana gelen kayaçlara volkanik kayaçlar denir. Katılaştıran magmaya lav denir. Bu şekilde oluşan kayaçlar çabuk soğudukları için oluşturuldukları kristal yapıları ufaktır. Büyük kristallerini çevreleyen ince kristal matrisi oluşturlar. Bu yapıya ise porforik doku adı verilir. Ayrıca gözle görülebilen çeşitli kristaller, camsı hamur içinde bulunurlar. Magmanın yer kabuğu içerisinde oluşan çatlaklar yolu ile ilerleyerek bir baca yardımı ile yer yüzüne çıkması ile volkanlar oluşur. Bu volkanların soğuyarak oluşturduğu yüzey kayaçları 1 mm'den küçük tane boyutuna sahip minerallerden oluşmaktadır.

Volkanik kayaçların fiziksel özellikleri çok değişken olduğu için kullanıldıkları alana göre iyi irdelenmelidir. Volkanik kül ve breş fazlaca ayrışma gösterdikleri için bu tip kayaçlar kullanılırken çok dikkat edilmelidir.

### **1.4.2. Metamorfik Kayaçlar**

Püskürük ve tortul kayaçların sıcaklık, basınç ve gerilme etkisi altında kalarak yeni özellikler kazanması ile meydana gelen kayaçlara metamorfik kayaçlar denir. Yer kabuğunda meydana gelen tektonik hareketlerin sonucunda veya çökeltiler sonucu oluşan tortul kayaçların yüksek basınç ve sıcaklık altında kalmaları sonucunda metamorfik kayaçlar oluşur. Bir diğer oluşum etmeni ise püskürük kayaçların yüksek basınç altında kalmalarıyla şistli bir yapı kazanarak yeniden kristalleşmesi ile metamorfik kayaçlar oluşurlar. Bu sayede yapısı, dokusu ve kristal şekli başka olan yeni mineraller oluşur. Fakat kayaçların kimyasal bileşeni değişmez. Sıcaklık ve basınç altında kalker mermere, kumtaşı kuvarsite, alçıtaşı anhidrite, kıltaşı ise sleyte dönüşürler. Genel görünüşleri ise kristalli ve iri tanelidirler. Kristal yapılarının sınırları düzensizdir. Metamorfizmaya

uğrayan kayaçların kimyasal bileşenleri, dokularının birbirinden farklı oluşu ve farklı ortamlarda farklı yüzey şartlarına maruz kalışları sebebi ile kesin bir sınıflandırma yapılamamaktadır.

Metamorfik kayaçlar farklı bir yapı ve farklı minerolojik bileşen gösterirler. Metamorfik kayaçlar özellikleri bakımından farklılık arz ederler. Mermer ve kuvarsitler genellikle masif, yoğun, sağlam ve dayanıklıdırlar. Gnasy çok dayanıklı olmakla beraber şistler gibi istenmeyen özelliklerde gösterirler. Şistler ince levhalardan oluştukları için dilimler halinde ayrışır [13].

### 1.4.3. Sedimanter Kayaçlar

Yer kabuğunda farklı koşullar altında oluşmuş magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçların, fiziksel ve kimyasal bozunma sonucunda ayrışarak çözünmesiyle bozulan kayaçların akarsu, rüzgâr, buzullar, yer çekimi ve dalgalar yoluyla taşınarak çökmesiyle sedimanter kayaçlar oluşur. Bu şekilde oluşan gevrek malzemenin zamanla sıkışarak çimentolaşarak ve yapılarında fosil barındıran kayaçlara tortul kayaçlar denir.

Yerkabuğunu oluşturan kayaçların çoğunluğu magmatik ve metamorfik kayaçlardan oluşmaktadır. Bunun yanı sıra yer yüzüne yakın kısımlarında yaklaşık olarak %5 oranında çökel kayaçlar bulunmaktadır. Çökel kayaçlar, yüzeye yakın derinliklerde ve deniz tabanını kaplayan kayaçlar arasında rastlan en fazla kayaç türüdür.

Sedimanter kayaçların oluşması için çökme süreci adı verilen birkaç aşamanın gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu aşamalar çökel kayaçların oluşum aşamalarını oluşturan olmazsa olmaz şartları oluşturmaktadır. Bunları; ayrışma-bozuşma, çökelin taşınması, depolanması-çökmesi ve taşınması olarak tanımlayabiliriz.

Bozunma, atmosferin etkisi altında kalan yüzey kayaçların fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak ayrışmasına denir. Bu ayrışma sonucu bozularak ayrışan kayaçlar, toprağın ve sedimanter kayaçların ham maddesini oluşturmaktadır. Bu şekilde yer küredeki tüm sedimater kayaçlar, yukarıda belirttiğimiz etkiler sebebi ile bozularak oluşmuştur. Bu ayrışmalar mekanik olarak meydana geldiği gibi kimyasal olarak da meydana gelmektedir.

Sedimanter kayaçlar oluşum nedenlerine göre; fiziksel (ayrık), kimyasal ve organik tortul kayaçlar olmak üzere üç ana guruba ayrılırlar [13].

### **1.4.3.1. Kimyasal Tortul Kayaçlar**

Kimyasal tortul kayaçlar, doymuş eriyiklerinden çökelme ve tuzlu sulardan buharlaşma sonucunda oluşurlar. Eriyiklerin çökelme sırası; CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl şeklindedir. Kimyasal tortul kayaçlar bünyelerindeki temel kimyasal bileşime göre adlandırılırlar. En önemli örnekleri kireçtaşı ve marndır. Kimyasal ayrışmaya neden olan faktörler; iklim, zaman, mineral içeriği, yaşayan organizmalar ve yüzey alanıdır. Bunun yanı sıra ayrışma mekanizmalarının sıralayacak olursak; oksitlenme, redüklenme, hidratlaşma, hidroliz, çözünme, metal iyonu sökülmesi ve katyon değişimi şeklinde olacaktır.

### **1.4.3.2. Kırıntılı Tortul Kayaçlar**

Doğal etkiler sonucu aşındırılan malzemelerin başka bir yerde doğal bir çimento malzemesi ile birleşmesi sonucunda oluşan kayaçlara kırıntılı tortul kayaçlar denir. Kırıntılı tortul kayaçlara örnek olarak; kil taşı, kumtaşı, çakıl taşı (konglomera) verilebilir. Akarsu yataklarında biriken alüvyonların çoğu konglomeraya örnek olarak verilebilir.

Burada kayaç içerisindeki bulunan malzeme yoğunluğunun durumuna göre isimlendirilirler. Örneği kırıntılı tortul kayaçlarda, kayacın içerisinde kil fazla bulunuyorsa, kil taşı, çakıl bulunuyorsa çakıl taşı olarak adlandırılırlar. Bu çakıl taşları (konglomera) kayaç içerisinde köşeli halde bulunuyorlarsa breş, yuvarlanmış halde köşesiz halde bulunuyorlar ise puding ismini alırlar.

### **1.4.3.3. Organik Tortul Kayaçlar**

Doğal etkiler sonucunda aşındırılan ve taşınan malzemelere ek olarak bitki ve hayvan atıklarının kimyasal ayrışmaları sonucunda akarsuların göllere ve denizlere taşıdığı malzemelerin çökmesi ile oluşurlar. Günümüzde en çok bilinen organik tortul kayaç, endüstriyel olarak da kullanılan taş kömürüdür. Diğer organik tortu kayaçlara örnek verecek olursak; linyit, turba, antrasit ve tebeşir verilecek diğer organik tortul kayaçlardır.



## 1.5. Kayaçların Mühendislik Özellikleri

Bu başlık altında kayaçların temel mühendislik özellikleri hakkında kısaca bahsedilmiştir.

### 1.5.1. Kayaçların Mekanik Özelliklerinin Tayini ve Deney Yöntemleri

Kaya malzemelerinin farklı ortam koşullarına karşı dayanım özelliklerinin belirlenmesi, kaya kütlelerinin sınıflandırılması ve yapı malzemesi ile oluşturulacak yapı elemanlarının uygunluğunun test edilebilmesi için önemlidir. Kaya malzemesinin dayanım özelliklerinin belirlenmesi, yeraltında gerçekleştirilecek madencilik uygulamalarının sağlıklı bir şekilde uygulanması için (inşaat ve tasarım projelerinde) kaya malzemesinin mekanik ve fiziksel özellikleri tayin edilmelidir [14].

#### 1.5.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı (TEB), maden, jeoloji, inşaat gibi mühendislik uygulamalarının tasarımı ve uygulanmasında önemli bir rol oynar. Tek eksenli basınç dayanımı parametreleri ve yöntemleri, Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği [6] ve Amerikan Test ve Malzemeler Derneği [15] tarafından belirtilen yöntemlere uygun olarak yapılmalıdır. TEB deneyleri sonucunda bize verdiği en efektif çıktı; kaya malzemesinin kırılmadan önce ne kadar basınca dayanabildiği hakkındadır. Ayrıca bu deney yapılırken kayaçların kohezyon ve içsel sürtünmeleri hakkında bilgi sahibi olmamıza yardımcı olur.

Deneyin yapılabilmesi için uygun karot numunelerinin de alınması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında pahalı ve uygulamada zorluklar yaşanabilen bir yöntemdir [16]. Buna alternatif olarak kayaç numunelerinin çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde analitik ve ampirik yöntemler kullanılabilir. Bu açıdan bakıldığında ultrasonik hız deneyi, TEB'nin belirlenmesinde bir alternatif olarak görülmekte ve uygulanmaktadır [17].

Numunelerin basınç yükleri karşı koydukları dirence basınç dayanımı denir. Tek Eksenli Basınç Dayanımı deneyi, düzgün geometriye sahip numunelerin yüksek basınç dayanımı altında kayaç numunelerinin dayanım sınırlarının bulunmasına dayanmaktadır.

Kayaçların basınç dayanımının bulunması, mühendislik tasarımları için büyük önem arz etmektedir.

#### **1.5.1.2. Çekme Dayanımı**

Araştırmacı, gerçekleştireceği çekme deneyi sayesinde kayaç numunelerinin elastik ve plastik davranışları hakkında bilgi sahibi olur. Bunun için malzemeye statik yük uygulamak gerekmektedir. Bu yük aynı doğru üzerinde birbirine zıt kuvvetlerin etkisi ile gerçekleştirir. Düzgün geometriye sahip olan kayaç numuneleri uzayarak eninde daralma meydana gelir. Burada oluşan gerilmeye çekme gerilmesi denilirken, kayaç numunelerinin bu gerilmeye yenildikleri ana ise çekme dayanımı denir. Bu deney genellikle deforme olmamış kayaç numuneleri üzerinde uygulanmaktadır. Deney numuneleri düzgün geometriye sahip olmalıdır. Daire veya dikdörtgen geometriye sahip numunelere aksenel ve değişken kuvvetler uygulanır.

#### **1.5.1.3. Üç Eksenli Basınç Dayanımı**

Üç eksenli basınç deneyi, makaslama dayanımı parametrelerinin belirlenmesinde uygulanabilir metotlar içinde en güvenilir olanıdır. Bu deney silindirik kayaç numunelerinin, makaslama parametrelerinin belirlenmesi amacı ile yapılır. Deneyde kullanılacak olan kayaç numunelerine yanal doğrultuda sabit bir basınç uygulanırken, düşey doğrultuda sabit bir basınç etkisi altında deney gerçekleştirilir.

#### **1.5.1.4. Nokta Yüğü Dayanımı İndeksi**

Nokta yükleme dayanım deneyi, iki konik yük arasına yerleştirilen kayaç numunelerinin kırılması esasına dayanmaktadır. Çeşitli mühendislik jeolojisi amaçlarının belirlenmesi için, yenilme yükü kullanılarak bulunan nokta yükleme dayanım indeksi kullanılmaktadır.

### 1.5.2. Kayaçların Kimyasal Özelliklerinin Tayini ve Deney Yöntemleri

Kayaçların mineralojik bileşenleri hakkında edindiğimiz veriler bizlere, kayaçların kimyasal bileşenleri hakkında bilgi sahibi olmamıza yardımcı olur. Temel de bu bilgilerin kaynağı ise kayaçların içlerinde barındırdıkları silis ve alüminyum içerikleridir. Silis doygunluğu magmatik kayaç sınıflandırılmasında en önemli ve en belirleyici parametredir. Silis doygunluğuna göre magmatik kayaçları sınıflandıracak olursak;

- Asidik SiO<sub>2</sub> : > %66
- Ortaç (nötr) SiO<sub>2</sub> : %52 - %66
- Bazik SiO<sub>2</sub> : %45 - %66
- Ultrabazik SiO<sub>2</sub> : < %45

şeklinde ifade edebiliriz [18].

### 1.5.3. Kayaçların Fiziksel Özelliklerinin Tayini ve Deney Yöntemleri

Bu kısımda kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler sunulmuştur.

#### 1.2.3.1. Özgül Ağırlık

Hacmi belli olan bir cismin ağırlığının, aynı hacme sahip ve +4<sup>0</sup>C derecedeki suyun ağırlığına oranına özgül ağırlık denir. Bir cismin birimi hacim ağırlığının, saf suyun birim hacmi ağırlığına oranı olarak ifade edilir.

$$G = \frac{\gamma}{\gamma_{su}} \quad (1.1)$$

$G$  : Özgül ağırlık

$\gamma$  : Katı kısmın ağırlığı

$\gamma_{su}$  : Aynı hacme sahip olan suyun ağırlığı

Bir kayacın doğal su içeriği; doğada buldukları şekilde, kendi muhtevasında bulundurduğu su ağırlığının katı tane ağırlığına oranı ile belirlenir.

$$W_n = \frac{W_{su}}{W_k} \times 100 \quad (1.2)$$

$W_n$  : Doğal su içeriği

$W_{su}$  : Kayacın içerdiği su ağırlığı

$W_k$  : Katı kısmın ağırlığı

Doğal su içeri hesaplanmadan önce gerçekleştirilmesi gereken işlemler şu şekildedir:

Araziden alınan numune tartılarak toplam ağırlık tespit edilir ( $W_t$ ).

Ağırlığı tespit edilen kayaç numunesi  $105^0C$  de 24 saat boyunca etüvde kurutulur.

Böylece kayaç numunesinin kuru ağırlığı bulunur ( $W_k$ ).

$W_t - W_k$  ağırlıkları arasındaki farktan elde edilen sonuç; kayaç numunesinin doğal su içeriğini verir.

Dolayısıyla kayaç numunelerinin su içeriği ( $\varphi_n$ );

$$\varphi_n = \frac{W_t - W_k}{W_k} \times 100 \quad (1.3)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Özgül ağırlık tayini kayaçların veya zeminin bağıl yoğunluğunun ölçümü ile ilintilidir. Çalışma sahasından alınan numuneler deneye uygun boyuta indirgenirler. Prosesin devamında ise uygun boyuta indirilen numuneler  $105^0C$  sıcaklıkta etüvde kurutulur. Daha sonrasında ise kayaç numuneleri soğuyana kadar desikatör içerisinde bekletilirler.

### 1.2.3.2. Birim Hacim Ağırlık

Doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ); tabiatta doğal halde bulunan katı tanelerin yanı sıra içerisinde sıvı ve gaz bulunan kayaçların birim ağırlığıdır.

$$\gamma_n = \frac{W_T}{V_T} \quad (1.4)$$

Burada:

- $\gamma_n$  : Doğal birim hacim ağırlık  
 $W_T$  : Doğal kayaç numunesi toplam ağırlığı  
 $V_T$  : Toplam hacimdir.

Tane birim hacim ağırlığı ( $\gamma_s$ ); tabiatta doğal halde bulunan kayaçların etüvde kurutulduktan sonra elde edilen kuru ağırlığın numune hacmine oranına denir. Aynı zamanda “özgül ağırlık” olarak da ifade edilir.

$$\gamma_s = \frac{W_K}{V_K} \quad (1.5)$$

Burada:

- $\gamma_s$  : Tane birim hacim ağırlığı  
 $W_k$  : Kuru ağırlık  
 $V_k$  : Toplam hacimdir.

Kayaçların ve dolayısıyla kayaçlardan elde edilen numunelerin doğal birim hacim ağırlıkları boşluklarında bulundukları su miktarına göre değişiklik gösterir. Kayaçlar bünyesinde bulundukları su miktarı ne kadar büyük ise doğal birim hacim ağırlıkları da o denli büyük olur. Bu nedenden ötürü porozitesi (kayaç içerisindeki boşluk) fazla olan kayaçların, içerisinde barındırdığı su miktarı daha fazla olacağından birim hacim ağırlıkları, porozitesi az olan kayaçlara göre daha büyük değerler alacaktır.

Kayaç kütlelerinden alınan karot numuneleri karot düzeltme işleminden sonra, kumpas yardımı ile numunenin farklı noktalarında dikey ve yatay yüzeylerden ölçümler yapılır. Daha sonrasında ise alınan bu ölçümlerin ortalamaları alınarak hacim hesabı yapılır. Ölçümleri tamamlanan numunenin kuru yoğunluğu hesaplanacaksa, önce malzeme 12 saat boyunca etüvde bırakılarak gözenekler içerisindeki nem tamamen uzaklaştırılır. Daha sonrasında ise numune tartılarak ağırlığı hesaplanır. Bu sayede kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık tayini yapılmaktadır. Aynı şekilde numunelerin doygun yoğunluğu ve doygun birim hacim ağırlığının hesaplanması için numune tamamen doyana kadar su içerisinde bekletilir. Daha sonrasında ise numune yüzeyi kurularak aynı işlemler tekrar edilir.

### 1.2.3.3. Su Emme

Kayaç su içerisine bırakıldığında, sahip olduğu gözenekler sebebi ile boşluklar su ile dolar. Gerçekleşen bu olaya su emme denir. Bazı durumda boşlukların birbiri ile bağlantısı olmayabilir. Bu gibi durumlarda kayaç içerisindeki hava su ile uzaklaştırılmaz.

Doğal halde bulunan bir kayacın iç yapısında barındırdığı süreksizlikleri ve boşluklu yapı içerisinde barındırdığı suyun hacminin, kayaç içerisindeki boşluk hacmine oranına doygunluk derecesi denir.

$$S_d = \frac{V_{su}}{V_b} \times 100 \quad (1.7)$$

Burada:

$S_d$  : Doygunluk derecesi

$V_{su}$  : Suyun hacmi

$V_b$  : Boşluk hacmi

Kayaç numuneleri, yüzeyleri dışarıda kalmayacak şekilde suya batırılırsa içerisinde barındırdıkları gözenekli yapı zamana bağlı olarak su ile dolmaya başlar. Gerçekleşen bu olay kayacın su emmesi olarak ifade edilir. Ancak kayaç içerisindeki boşluklar birbiri ile bağlantılı olmadığı durumlarda suyun bu boşluklara dolması doğal olarak engellenmiş olur.

Kayaçların su içeriği hesaplanmadan önce gerçekleştirilmesi gereken işlemler şu şekildedir:

- Kayaç numuneleri tartılarak toplam ağırlık tespit edilir ( $W_t$ ).
- Kayaç numuneleri su içerisinde bırakılarak numune suya doygun hale getirilene kadar 24 saat ya da 48 saat boyunca su içerisinde bırakılır. Numunenin suya doygun hale geldiği belli aralıklarla yapılan ağırlık ölçümlerinin sabitlendiği noktaya kadar tartımlar yapılır ( $W_{dh}$ ).
- Suyu doyurulan numune Arşimet terazisinde tartılarak suya doygun ağırlığı ölçülür ( $W_{ds}$ ).
- Numunenin toplam hacmi =  $W_{dh} - W_{ds}$  bağıntısı ile hesaplanır.

Ağırlıkça su emme ( $S_a$ ):

$$S_a = \frac{W_{dh} - W_k}{W_k} \quad (1.8)$$

Hacimce su emme ( $S_V$ ):

$$S_V = \frac{W_{dh} - W_k}{W_{dh} - W_{ds}} \quad (1.9)$$

Hacimce su emme oranı hesaplanırken ve kayaç numunelerinin toplam hacmi esas alınırken, ASTM C97'ye göre hesaplamalar yapılmıştır.

#### 1.2.3.4. Porozite ve Boşluk Oranı

Bir kayaçın boyutsuz bir büyüklüğü olan ve  $n$  ile ifade edilen porozite, kayadaki boşluk hacminin kayanın toplam hacmine oranı olarak ifade edilir. Burada; kayaç içerisinde bulunan boşluk hacmi ( $V_b$ ), tüm hacmin ( $V_t$ ) ile gösterilir. Gözeneklilik ( $n$ ) sembolüyle gösterilirken % ile ifade edilir.

$$\%n = \frac{V_b}{V_t} \times 100 \quad (1.10)$$

$n$  : Gözeneklilik

$V_b$  : Kayaç içerisindeki boşluğun hacmi

$V_t$  : Toplam hacim

Boşluk Oranı ( $e$ ); kayaç numunelerinin boşluk hacmi ( $V_b$ ) ile katı tanelerinin hacim oranına denir. Boşluk oranı yüzde olarak ifade edilir.

$$\%e = \frac{V_b}{V_k} \times 100 \quad (1.11)$$

$e$  : Boşluk oranı

$V_b$  : Kayaç içerisindeki boşluğun hacmi

$V_k$  : Katı tane hacmi

Kayaç numunelerinin içerilerinde bulundukları boşluklar ya çok küçük boyutta (0,005-0,2 mm) “Mikropor” ya da çok büyük boyutlarda (0,2-2 mm) “Makropor” dur. Bu boşluklar tanelerin ya da kristallerin arasında bulunurken, küçük olanlar tane veya kristallerin içerisinde bulunmaktadır.

Kayaç kütlelerinin porozite yüzdeleri aşağıdaki gibi verilmektedir.

- Çok kompakt : <1
- Az kompakt : 1<-2,5
- Orta boşluklu : 2,5-5
- Oldukça boşluklu : 5-10
- Çok boşluklu : 10-20
- Çok fazla boşluklu : >20

Belirli bir geometrik şekle sahip deney numuneleri kumpas yardımı ile numune çapı ve boyutları ölçülerek hacim hesabı yapılır. Numuneler 105 °C’de etüvde 12 saat boyunca kurutulur. Daha sonrasında ortam nemine maruz kalmaması için desikatörde yarım saat boyunca soğuması sağlanır. Daha sonrasında kurutulan ve soğuyan numune hassas terazide tartılır.

Numuneler su dolu kap içerisinde bekletilerek suya doymuş hale getirilir. Daha sonrasında ise kayaç numuneler çıkarılarak yüzeyleri bir havlu yardımı ile kurulanır. Suya doyurulan numuneler doymuş ağırlıkları tartılması için hassa terazide tartılır. Bu işlem ortam sıcaklığı sebebi ile, kayaç numunelerindeki suyun ve nemin uzaklaşmaması için olabildiğince hızlı yapılması gerekmektedir.

Taneler, kayaç kırıntılarının birikmesiyle oluşan sedimanter kayaçlarda porozite, sığırına yakın çok küçük değerler ile %90 oranında seyreden büyük değerler arasında değişim gösterirler. Kumtaşlarında ise porozite, tipik olarak %15 civarındadır. Diğer parametrelerin değişmemesi kaydıyla, kayaçlarda yaş ve derinlik arttıkça porozite genellikle azalmaktadır. Örneğin kambriyen kumtaşı ortalama %11 poroziteye sahipken, kretase yaşlı bir kumtaşı %34 civarındadır. Tebeşir en poroz kayaçlardan bir olup, porozitesi kimi zaman %50’nin üzerine çıkabilmektedir. Bunun sebebi bu kayaçların yapısını oluşturan kokolit adı verilen mikroskobik canlıların içi boş iskeletlerinde oluşmaktadır.

Kayaç numunelerinin porozitesi farklı teknikler yardımı ile ölçülebilir. Petrol rezervuarlarında, petrolün miktarı ile porozite doğru orantılıdır. Bu ilişki sayesinde kumtaşlarının porozitelerinin sağlıklı olarak tanımlanması mümkün olmuştur. Ayrıca



poroziteyi belirleyen metotlar sert kayaçlarda sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Prozite ölçümünde faydalanılan metotlar;

- Yoğunluklarının belirlenmesiyle,
- Suyu doymuş kayaç numunelerinin su içeriğinin ölçülmesiyle,
- Kayaç numunelerine cıva entegre edilip doyurularak,
- Boyle yasası kullanılarak hesaplanmaktadır [19].

#### **1.2.3.5. Permabilite**

Kayaçların suya maruz kaldıklarında meydana gelen su geçirgenlikleri, kaya mühendisliği için önemli bir fiziksel özelliktir. Permabilite, gözenekli malzemelerin maruz kaldıkları su ve gaz etmenleriyle, kayaç numunelerinin boşlukları içine sızma özelliği olarak tanımlanmaktadır. Kayaçların bu sızmaya karşı koydukları direnç; kayacın tipine, boşlukların geometrisine ve suyun yüzey gerilmesine bağlıdır. Kayaçların su ve gaz geçirimsizlikleri az ya da çok her kayaç için gerçekleşen bir etmen olsa da permabiliteleri tanımlandığında bu kavram su geçirgenliği az olan kayaçlarda geçirgen olmayan olarak tanımlanmaktadır. Burada su eğer kayaç içerisinde yüzey gerilme kuvveti ile tutuluyorsa, su gravite etkisi ile drenaja karşı koyabilir [20].

Zeminlerin permabilite katsayısı ve konsolidasyon özellikleri en çok farklılık gösteren ve diğer koşullardan en çok etkilenen değerlerdir. Permabilite katsayısı laboratuvarında gerçekleştirilen permabilite deneyi, konsolidasyon deneyi ve üç eksenli kesme deneyi ile bulunmaktadır [21]. İmar yapılacak alanlarda, bu değerlerin doğru olarak tespit edilmesi için önem arz etmektedir. Ayrıca imara açılacak bölgelerde, zemin yapı etkileşiminde, geoteknik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir [22].

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME**

### **2.1. Giriş**

Kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, jeoteknik uygulamaların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulmakta olup, yoğunluk parametresinin belirlenmesi, akademik ve mühendislik uygulamaları için önem arz etmektedir. Laboratuvar ortamında beş farklı kayaç numunesi; şekilli örneklerde (kumpas, Arşimet ve mezür) ve şekilli örneklerde (Arşimet ve mezür yöntemi) ile bir dizi deney yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerin, tek bir cihaz eliyle yapılması amacıyla “Yerinde Yoğunluk Ölçer” cihazı üretilmiştir. Bu sayede laboratuvar ortamında farklı yöntemler ile gerçekleştirilen deneylerin, üretilen test analiz cihazıyla yapılarak, deney sonuçları karşılaştırılmış, bu sayede cihaz kalibre edilmiştir.

### **2.2. Kayaç Numunelerinin Temin Edilmesi**

Deneyde kullanılacak kayaç numuneleri sırasıyla fosilli kireçtaşı, masif kireçtaşı, volkanik breş, andezit ve granittir. Trabzon havzasında kayaç türleri bloklar halinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne getirilmiştir. Bölüm laboratuvarında, kayaç numunelerine uygulanacak deneyler, öncelikle numune hazırlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Böylece hem geometrik şekle sahip olan numuneler hem de kırılarak şekilsiz hale getirilen kayaç numuneleri deney için hazır hale getirilmiştir.

### **2.3. Örnek Hazırlama**

Bloklar halinde bölüm laboratuvarına getirilen malzemeler deneye tabi tutulmadan önce bir dizi işleme tabi tutulurlar. Bu işlemler yapılacak deneyin türüne göre spesifik olarak seçilir. Burada gerçekleştirilen tüm işlemlere örnek hazırlama olarak adlandırabiliriz. Deneylerin gerçekleştirilmesi için yapılan en önemli örnek hazırlama işlemi karot almadır.

Karot kelimesi literatüre ve bizim mühendislik uygulamalarımıza Almanca “karotte” kelimesinde türetilerek gelmiştir. Araştırılması istenen formasyonun belirli bir kısmında silindirik numuneler üretilecek şekilde örnek çıkarılmasına karot alma, çıkan numunelere ise karot denir. Karot alma makinesi ise 1864 yılında İsviçreli mühendisler tarafından bulunmuş. Daha sonrasında ise yine İsviçreli maden mühendisleri tarafından karot alma makinesi 1885 yılında geliştirilerek Şekil 2.1’deki gibi bu günkü halini almıştır.



Şekil 2.1. Karot alma makinesi

Karot alma işlemi gerçekleştirilirken, karot ucunun ısınmaması ve toz probleminin ortadan kaldırılması için su takviyesi ile kullanılmaktadır. Beton veya kayaç blokları üzerinde, karot ucunun seçimine göre farklı boy ve çaplarda, düz ve açılı olarak karot numuneler almak mümkündür.

### 2.3.1. Karot Alma

Karotlar sayesinde beton veya kaya bloklarından alınan numunelerin ait oldukları formasyonun dayanım ve deformasyon gibi mekanik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmamıza yardımcı olurlar. Karot alma işlemini gerçekleştirmek için karot alma makinesi kullanılmaktadır. İstenilen numune boyutuna uygun karotiyer seçimi yapılmalıdır. Bu sayede beton ya da kayaç blokları üzerinde düzgün geometriye sahip silindirik karot numuneleri elde edilebilir. Laboratuvarında yaygın olarak kullanılan karot çapları 36.5 mm ile 54.7 mm arasında değişen karotiyerlerdir. Bu çalışmada NX (54,7 mm) çaplı karotiyer kullanılmıştır. Çalışma kapsamında alınan karotlardan bazıları Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Alınan karot örnekleri

Kaya malzemesinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvara getiren kaya bloklarından karot çapı hesaplanarak karot almadan önce kaya bloğunun üzeri işaretlenir. Burada işaret koyulurken kaya bloğunun kenar kısımları ve karot çapı dikkate alınarak iki karot arası mesafe uygun olarak seçilmelidir. İşaretlenen karot bölgelerinden ilk alınacak karot örneği, karotiye dik olacak şekilde karotiyerin altına dik olarak getirilir. Burada karot alınacak blok iyi sabitlenmelidir. Aksi halde düzgün bir karot alma işlemi gerçekleştirilemez. Karotiyer ucuna dik yerleştirilen kaya bloğu sabitlendikten sonra karotiyer kayaca birkaç cm mesafeye kadar yaklaştırılır. Karot alma işleminde karotiyerin düzleme dik hareketinde bir sapma meydana gelmemesine de dikkat edilmelidir. Çünkü kaya bloğundaki hareket,

alınacak karot örneğinin geometrisini bozduğu gibi karotiyerde meydana gelecek düzleme dik sapmalar da aynı şekilde alınacak karotun geometrisini bozar. Bunun için araştırmacının manuel olarak baskı kuvvetini ve karotiyerin düzleme dik hareketini kontrollü bir biçimde gerçekleştirmelidir.

Karot alma makinesi çalıştırıldığında eş zamanlı olarak karotiyere su verilmiştir. Bu sayede karot alma işlemi sırasında toz problemi engellenmiş, karotiyerin elmas uçları az ısınacağından kullanım ömrü uzatılmış olacaktır. Karot alma makinesi elektrikle çalıştırılmış olup, uzatma kablosu kullanılacak ise su ile çalışıldığı için prize ve kablo boyunca herhangi bir hasarın olup olmadığına dikkat edilmelidir. Karot alma makinesi kayacın cinsine göre dönme hızını kontrol edebildiğimiz vitesler sayesinde arttırıp, azaltılabilir. Karotiyerin dönüş hızı sağlıklı numuneler almamız için çok önemlidir. Sert kayalarda düşük hızlı karot alma işlemlerinde makine motoru zorlanmaktadır. Bu durum, alınan karot örneklerinin geometrilerinde bozulma ile sonuçlanmaktadır.

Bu çalışmada sabit ve sulu kesim yapabilen, 2800 W'lık 2 vitesli olan Milwaukee markalı karot alma makinesi Şekil 2.3'de gösterildiği gibi kullanılmıştır. Karot alma işlemi sayesinde 5 farklı kayaktan (her bir kayaktan üçer örnek alınacak şekilde) 15 karot numunesinin düzgün bir geometriye sahip olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Karot alma işlemi

Karot alma işlemleri gerçekleştirilirken karotiyerin zemine zarar vermemesi için örnek numune çıkarılacak kaya bloğunun altına daha sonrasında kullanılmayacak bir kayaç bloğu yerleştirilir. Bu sayede hem karot alınacak kaya bloğu sabitlenmiş olunur hem de zemin herhangi bir zedelenmeye maruz kalmaz.

### 2.3.2. Karot Kesme ve Düzeltme

Alınan karot numuneleri kaya bloğunun enine göre farklı uzunluklar göstermektedir. Aynı cins kayaç numunelerin hazırlanmasında karot numunelerinin boylarının aynı olması önem göstermektedir. Ayrıca kayaç bloğunun yüzeyi düz ve pürüzsüz olmayacağı için yapılacak yoğunluk deneylerinde şekilli kayaç numunelerinin geometrileri hesaplanarak bulunacağından düz ve olabildiğince pürüzsüz olması istenir. Bu nedenle karot numuneleri tek tek her bir kayaç türünden alınan örneklerin boyutlarını ve yüzeylerini düzeltmek için Şekil 2.4’de gösterilen karot kesme makinesiyle kesilerek düzeltilir. Bu sayede şekilli kayaç numuneleri elde edilmiş ve yapılması istenilen yoğunluk deneyi için numune hazır hale getirilmiştir.

Kesim esnasında dairesel testere ucu ısınmaması için su, testereye gelecek şekilde ayarlanarak sisteme verilir. Testerenin dairesel dönüş hızı ve devri sabittir. Burada makine farklı sertlikteki kayaç numuneleri için farklı tepkiler gözlenmiştir. Kireçtaşı diğer kayaç numunelerine göre daha zor ve daha uzun sürede kesilmiştir. Ancak kayacın sert olması kesim işlemi tamamlanmak üzereyken kalan çıkıntı ve numunenin kesim esnasında kırılmasını engeller. Bunun yanında volkanik breş gibi daha poroz ve yumuşak kayaçlarda kesim işlemi kolay ve hızlı gerçekleşirken, kesimi tamamlamak üzereyken numunenin uç kısımlarında kırıklar ve çapaklanma meydana gelmektedir. Bunun için testere ucu manuel olarak araştırmacının kontrolündedir. Burada araştırmacı farklı sertlikteki kayaç numunelerine göre baskı kuvvetini ayarlayarak en düzgün şekilde numune düzeltme işlemini gerçekleştirmelidir.

Kesim işlem esnasında kayacın türü ve sertliği, araştırmacı hatalarına sebep olabilir. Bunun nedeni, kesilen yüzey istenilen pürüzsüzlükte olmayabilir. Burada kesilen kayaç numunelerinin alt ve üst yüzeyleri zımpara yapılarak düzeltilir. Edinilen deneyimlerin ışığında bu durum genel olarak daha yumuşak kayaçlarda gerçekleşen bir sorundur. Karot numuneleri hazırlandıktan sonra kodlanarak (Şekil 2.7) oda sıcaklığında gruplanarak saklanır.





Şekil 2.4. Karot kesme ve düzeltme makinesi



Şekil 2.5. Düzeltilmiş karot numuneleri

#### 2.4. Yoğunluk Deneyleri

Bu kısımda, kaya bloklarından elde edilen 15 karot numunesi silindirik ve şekilsiz olarak; Arşimet, kompas ve mezür yöntemleri ile yoğunluk deneylerine tabi tutulmuş, daha sonrasında ise yerinde yoğunluk ölçer cihazı ile aynı şekilsiz kayaç numuneleri ile deneyler yapılmıştır.

### 2.4.1. Arşimet Yöntemiyle Yoğunluk ve Birim Ağırlık Deneyi

Arazide özellikleri belirlenen temsili numunenin diğer parçası aynı gün içinde laboratuvara getirilerek Arşimet yöntemine göre yoğunluk deneyleri yapılmıştır (Şekil 2.6). Laboratuvara getirilen beş farklı kayaç bloğundan, üçer karot numunesi alınarak, 24 saat etüvde bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan kayaç numunelerinin ağırlıkları ve özellikleri kaydedilmiştir. Böylece kayaç numunelerinin kuru ağırlıkları, dolayısıyla deneyin sonucunda kuru yoğunluk hesabı yapılmıştır. Daha sonrasında ise Arşimet yöntemi ile yoğunluk deneyinin yapılması için, saf su dolu bir kap ve kap içerisinde numunelerin tüm yüzeyleri saf su içerisinde kalacak şekilde numune haznesine koyularak bir diğer ucu da 0,01 hassasiyetli teraziye bağlanır. Numune hazneye konulduğu ilk anda tartıda okunan değer kaydedilir. Bu değer bize saf su içerisindeki ilk ağırlığı verir. Deneyin devamında saf su içerisindeki numunelerin ağırlıkları belli zaman aralıkları ile (2., 4., 6. ve 8. saatlerde) kontrol edilerek kayacın 24 saat içerisinde suya doyduğu değere kadar deney devam eder.



Şekil 2.6. Arşimet deney düzeneği



Ağırlığın 24 saat içerisinde değişmediği o son değer bizlere Arşimet düzeneğinde ki son ağırlığı verir. Burada numunelerin kuru ağırlığı  $W_1$ , Arşimet düzeneği içerisindeki ilk ağırlık ölçümüne  $W_0$ , saf su içerisindeki son ağırlığa  $W_3$  olarak ifade edilir. Buradan (2.1) eşitliği ile hesaplanır.

$$V_{kh} = W_1 - W_0 \quad (2.1)$$

Daha sonrasında ise kuru yoğunluk (2.2) ile hesaplanır:

$$d_{aky} = W_1 - V_{kh} \quad (2.2)$$

Numunelerin doygun yoğunluklarının hesaplanabilmesi için numuneler 24 saat boyunca suya doyurulurlar. Bu ölçümler sonucunda kayaç numunesinin suya doygun yüze kurusu ağırlık değeri kaydedilir ve  $W_{yk}$  ile ifade edilir. Burada doygun yoğunluğu hesaplanmadan önce kayaç numunelerinin doygun hacimleri bulunmalıdır. (2.3) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$V_{dh} = W_{yk} - W_3 \quad (2.3)$$

Daha sonrasında ise Arşimet yöntemiyle doygun yoğunluk değeri (3.4) ile hesaplanır:

$$d_{ady} = W_{yk} - V_{dh} \quad (2.4)$$

Arşimet yöntemi ile yoğunluk deneyi ilk etapta üç farklı kayaç örneğine yapılmıştır. Her bir kayaçtan iki tane örnek üzerinden olacak şekilde, kayaç numunelerinin yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Bu kayaçlar sırası ile; Kireçtaşı, Fosilli Kireçtaşı ve Volkanik Breşir. Deneylerin sonu Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Volkanik breş (VB) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri	
	VB1	VB2
<b>Kuru Ağırlık</b>	363,30	353,30
<b>W<sub>ilk</sub></b>	225,33	218,50
<b>W<sub>Son</sub></b>	226,26	223,60
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	369,30	358,60
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,63	2,62
<b>Doygun Yoğunluk*</b>	2,86	2,65
*Şekli karot numunelerinin Arşimet deneyi sonuçları		
**Sırası ile volkanik breş bloğundan alınan 2 adet karot örneği		

Tablo 2.2. Kireçtaşı (K) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri	
	K1	K2
<b>Kuru Ağırlık</b>	360,90	352,20
<b>W<sub>ilk</sub></b>	224,36	226,66
<b>W<sub>Son</sub></b>	361,20	358,40
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	361,20	358,40
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,64	2,80
<b>Doygun Yoğunluk*</b>	2,64	2,80
*Şekli karot numunelerinin Arşimet deneyi sonuçları		
**Sırası ile kireçtaşı bloğundan alınan 2 adet karot örneği		

Tablo 2.3. Fosilli kireçtaşı (FK) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri	
	FK1	FK2
<b>Kuru Ağırlık</b>	279,60	271,40
<b>W<sub>ilk</sub></b>	146,46	135,45
<b>W<sub>Son</sub></b>	171,75	199,26
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	306,70	300,40
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,09	1,99
<b>Doygun Yoğunluk*</b>	2,27	2,23
*Şekli karot numunelerinin Arşimet deneyi sonuçları		
**Sırası ile fosilli kireçtaşı bloğundan alınan 2 adet karot örneği		

Daha sonra ise iki farklı kayaç örneği daha eklenerek yine her bir kayaçtan üçer numune (toplamda beş kayaç, üçer numunenin) şekilli kayaç numunelerinin yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Şekilli kayaç numuneleri için yapılan Arşimet yoğunluk deneyleri (Granit ve Andezit kayaç örnekleri için) Tablo 2.4 ve Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Granit (G) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	G1	G2	G3
<b>Kuru Ağırlık</b>	691,50	615,0	609,20
<b>W<sub>ilk</sub></b>	400,05	362,66	376,53
<b>W<sub>Son</sub></b>	431,87	384,05	380,60
<b>Yüzey Kurusu Ağırlığı</b>	693,50	616,70	610,90
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,40	2,44	2,62
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,65	2,65	2,65
*Şekilli karot numunelerinin Arşimet deneyi sonuçları **Sırası ile granit bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.5. Andezit (A) karot numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	A1	A2	A3
<b>Kuru Ağırlık</b>	740,40	748,30	674,40
<b>W<sub>ilk</sub></b>	446,55	451,74	405,10
<b>W<sub>Son</sub></b>	469,58	474,11	425,61
<b>Yüzey Kurusu Ağırlığı</b>	765,40	772,10	697,00
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,52	2,52	2,50
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,58	2,59	2,56
*Şekilli karot numunelerinin Arşimet deneyi sonuçları **Sırası ile andezit bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Deneyin devamında ise beş farklı kayaç numunesinden elde edilen üçer örnek kırılarak toplamda 15 deney numunesi belli ağırlıklarda paketlenerek ayrılmıştır. Bu numuneler sırası ile kuru ve suya doymun hale getirilerek (Şekil 2.7) kuru ve doymun yoğunlukları yukarıda anlatılan deney düzeneğine ve Arşimet yoğunluk deneyi adımlarına uygun olarak yapılmıştır. Deney sonuçları şekilsiz deney örnekleri olacak şekilde tablolar vasıtası ile verilmiştir.



Şekil 2.7. Arşimet deneyi için doygun hale getirilen numuneler

Tablo 2.6. Şekilsiz volkanik breş (VB) numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	VB1	VB2	VB3
<b>Kuru Ağırlık</b>	265,90	265,80	249,4
<b>W<sub>ilk</sub></b>	165,45	166,66	156,65
<b>W<sub>Son</sub></b>	166,26	167,56	159,22
<b>Yüzey Kurusu Ağırlığı</b>	268,10	267,40	251,60
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,65	2,68	2,65
<b>Doygun Yoğunluk*</b>	2,63	2,68	2,72
*Şekilsiz numunelerin Arşimet deney sonuçları			
**Sırası ile volkanik breş bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.7. Şekilsiz kireçtaşı (K) numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	K1	K2	K3
<b>Kuru Ağırlık</b>	313,70	291,80	225,00
<b>W<sub>ilk</sub></b>	153,32	161,35	156,61
<b>W<sub>Son</sub></b>	194,13	180,37	159,77
<b>Yüzey Kurusu Ağırlığı</b>	313,80	291,70	255,00
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	1,96	2,24	3,29
<b>Doygun Yoğunluk*</b>	2,62	2,62	2,67
*Şekilsiz numunelerin Arşimet deney sonuçları			
**Sırası ile kireçtaşı bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.8. Şekilsiz fosilli kireçtaşı (FK) numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	FK1	FK2	FK3
<b>Kuru Ağırlık</b>	224,20	250,60	224,00
<b>W<sub>ilk</sub></b>	130,75	133,55	120,55
<b>W<sub>Son</sub></b>	150,15	153,88	136,48
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	265,55	247,50	246,20
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,40	2,14	2,17
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,42	2,64	2,24
*Şekilsiz numunelerin Arşimet deney sonuçları			
**Sırası ile fosilli kireçtaşı bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.9. Şekilsiz granit (G) numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	G1	G2	G3
<b>Kuru Ağırlık</b>	394,50	390,50	391,10
<b>W<sub>ilk</sub></b>	242,12	240,11	240,67
<b>W<sub>Son</sub></b>	242,60	241,97	241,11
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	394,70	391,40	392,30
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,59	2,59	2,60
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,59	2,62	2,60
*Şekilsiz numunelerin Arşimet deney sonuçları			
**Sırası ile granit bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.10. Şekilsiz andezit (A) numunelerinin Arşimet deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	A1	A2	A3
<b>Kuru Ağırlık</b>	316,80	384,00	339,50
<b>W<sub>ilk</sub></b>	192,02	232,62	204,33
<b>W<sub>Son</sub></b>	198,06	242,50	211,51
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	327,60	397,40	350,90
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,54	2,54	2,51
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,63	2,56	2,52
*Şekilsiz numunelerin Arşimet deney sonuçları			
**Sırası ile andezit bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

#### 2.4.2. Mezür Yöntemi ile Yoğunluk Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Doğadan alınan beş farklı kaya bloğundan temin edilen 15 örnekle şekilsiz ve şekilli örnekler üzerinde, mezür yardımı ile yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Deney numuneleri Şekil 2.8’de gösterildiği gibi etüvde 24 saat boyunca 105 °C’de ısıtılmıştır. Bu sayede bünyelerinde barındırdıkları su ve nem uzaklaştırılarak numunelerin, kuru yoğunlukları hesaplanabilir.

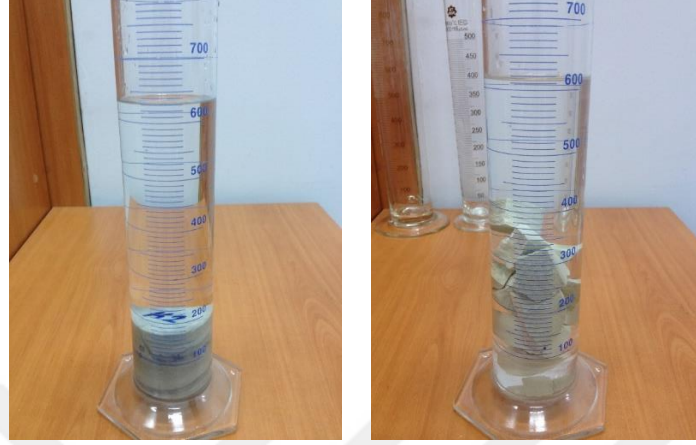


Şekil 2.8. a) Karot numunelerini kurutma işlemi b) 0.01 hassasiyette ağırlık ölçümü

Deney numunelerinin kuru yoğunluklarının hesaplanması için öncelikle Şekil 2.8’de gösterildiği üzere 0,01 g hassasiyetli terazi ile numunelerin kuru ağırlıkları ölçülerek not edildi. Daha sonrasında mezür içerisine saf su doldurularak, saf suyun mezür içerisindeki seviyesi Şekil 2.9’da gösterildiği gibi not edildi. Burada mezürün skala aralığı ne kadar sık değerler ile gösterilmiş ise, yapılan hacim hesabı o denli hassas ölçülür. Daha sonra şekilli ve deneyin devamında aynı örneklerden elde edilecek şekilsiz numuneler mezür içerisine konularak yeni saf su seviyesi ölçülerek not edilir. Saf suyun ilk durumdaki ve son durumdaki skala farkları bize o numunenin hacmini vermektedir.

Burada ölçümün hassas yapılabilmesi için dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da şekilsiz kayaç numunelerinin mezür içerisinde yer çekiminden ve kayaçlar arasındaki boşluktan dolayı hareket etmeleridir. Burada mezür hafifçe sallanarak kayaç numunelerinin mezür tabanına, kendi amorf şekillerinin izin verdiği ölçüde oturmasını sağlamaktır. Mezür içerisinde kayaç numunelerinin neden olduğu saf su yükselişi okunurken skala üzerindeki su bombesinin ya üst kısmı ya da alt kısmı referans alınarak, deneyin tamamında aynı

referans noktasına göre son değerler hesaplanarak not edilir. Bu sayede deneyin sağlıklı sonuç vermesi sağlanmış olunur.



(a)

(b)

Şekil 2.9. a)şekilli b) şekilsiz numunelerin mezürdeki skala ölçümleri



(a)

(b)

Şekil 2.10. a) numuneleri suya doyurma işlemi b) hacim hesabı

Kayaç numunelerinin mezür yardımı ile doğun yoğunluklarının hesaplanabilmesi için numuneler Şekil 2.10 a)'da olduğu gibi 24 saat boyunca içi dolu bir kap içerisinde, numunelerin tamamı su altında kalacak şekilde bekletilir. Belirli zaman aralıkları ile kayaç ağırlıkları kontrol edilerek kayaç numunelerinin suya doğunlukları takip edilir. Su ile doğurulan numuneler yüzeyleri silinerek tartılır ve bu bizlere numunelerin doğun ağırlıklarını verir. Mezür içerisindeki numune kütlesine bağlı olarak skala değişimi Şekil

2.10 b)'deki gibi hacmi verir. Dolayısıyla kayaç numunelerinin yoğunlukları böylelikle hesaplanmış olunur.

$$V_m = V_i - V_s \quad (2.5)$$

$$d_{mk} = W_{ka}/V_m \quad (2.6)$$

$$d_{md} = W_{yk}/V_m \quad (2.7)$$

Bu başlık altında verilen sonuçlar (2.5), (2.6) ve (2.7) ile hesaplanmıştır.

Beş farklı kayaç türünden elde edilen ikişer numune için yapılan şekilli deney sonuçları tablolar haline getirilerek aşağıda sırası ile *kireçtaşı*, *fosilli kireçtaşı*, *volkanik breş*, *granit* ve *andezitten* oluşan kayaç numuneleri için verilmiştir.

Tablo 2.11. Şekilli kireçtaşı (K) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri	
	K1	K2
<b>Kuru Ağırlık</b>	360,900	352,200
<b>Numune Hacmi</b>	140,000	130,000
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	361,200	358,400
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,570	2,709
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,580	2,710
*Şekilli karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları **Sırası ile kireçtaşı bloğundan alınan 2 adet karot örneği		

Tablo 2.12. Şekilli fosilli kireçtaşı (FK) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri	
	FK1	FK2
<b>Kuru Ağırlık</b>	279,60	271,40
<b>Numune Hacmi</b>	130,00	130,00
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	306,70	300,40
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,15	2,08
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,36	2,31
*Şekilli karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları **Sırası ile fosilli kireçtaşı bloğundan alınan 2 adet karot örneği		



Tablo 2.13. Şekilli volkanik breş (VB) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri	
	VB1	VB2
<b>Kuru Ağırlık</b>	363,30	353,30
<b>Numune Hacmi</b>	140,00	135,00
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	369,30	358,60
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,63	2,62
<b>Doygun Yoğunluk*</b>	2,64	2,65
*Şekilli karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları		
**Sırası ile volkanik breş bloğundan alınan 2 adet karot örneği		

Tablo 2.14. Şekilli granit (G) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	G1	G2	G3
<b>Kuru Ağırlık</b>	691,50	615,00	609,20
<b>Numune Hacmi</b>	260,00	230,00	230,00
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	693,50	616,70	610,90
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,66	2,67	2,65
<b>Doygun Yoğunluk*</b>	2,66	2,68	2,65
*Şekilli karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları			
**Sırası ile granit bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.15. Şekilli andezit (A) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	A1	A2	A3
<b>Kuru Ağırlık</b>	740,40	748,30	674,40
<b>Numune Hacmi</b>	300,00	300,00	270,00
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	765,40	772,10	697,00
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,55	2,57	2,58
<b>Doygun Yoğunluk*</b>	2,47	2,50	2,50
*Şekilli karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları			
**Sırası ile andezit bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Daha sonra ise aynı tür kayaç numunelerinden elde edilen şekilsiz numune örnekleri belirli ağırlıklarda tartılarak not edilmiştir. Bu kayaç gruplarına ait üçer örnek numuneleri mezür yardımı ile şekilsiz numuneler için yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Şekilsiz kayaç

numuneleri elde edilen yoğunluk deneyleri sonuçları sırasıyla; kireçtaşı, fosilli kireçtaşı, volkanik breş, granit ve andezit kayaç numuneleri tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 2.16. Şekilsiz kireçtaşı (K) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	K1	K2	K3
<b>Kuru Ağırlık</b>	313,700	291,800	225,00
<b>Numune Hacmi</b>	120,000	110,000	90,0
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	313,800	291,700	255,00
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,614	2,652	2,50
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,615	2,651	2,83
*Şekilsiz karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları **Sırası ile kireçtaşı bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.17. Şekilsiz fosilli kireçtaşı (FK) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	FK1	FK2	FK3
<b>Kuru Ağırlık</b>	224,200	250,600	224,000
<b>Numune Hacmi</b>	115,000	120,000	110,000
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	265,550	247,500	246,200
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	1,949	2,088	2,036
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,309	2,062	2,238
*Şekilsiz karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları **Sırası ile fosilli kireçtaşı bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.18. Şekilsiz volkanik breş (VB) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	VB1	VB2	VB3
<b>Kuru Ağırlık</b>	265,90	265,800	249,400
<b>Numune Hacmi</b>	100,00	100,000	95,000
<b>Yüzey Kuru Ağırlığı</b>	268,10	267,400	251,600
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,66	2,658	2,625
<b>Doğun Yoğunluk*</b>	2,70	2,674	2,648
*Şekilsiz karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları **Sırası ile volkanik breş bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.19. Şekilsiz granit (G) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	G1	G2	G3
<b>Kuru Ağırlık</b>	394,50	390,50	391,10
<b>Numune Hacmi</b>	155,00	150,00	150,00
<b>Yüzey Kurusu Ağırlığı</b>	394,70	391,40	392,30
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,54	2,60	2,60
<b>Doğgun Yoğunluk*</b>	2,54	2,61	2,61
*Şekilsiz karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları **Sırası ile granit bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

Tablo 2.20. Şekilsiz andezit (A) numunelerinin mezür yöntemi deney sonuçları

Parametre	**Karot örnekleri		
	A1	A2	A3
<b>Kuru Ağırlık</b>	316,80	384,00	339,50
<b>Numune Hacmi</b>	130,00	155,00	135,00
<b>Yüzey Kurusu Ağırlığı</b>	327,60	397,40	350,90
<b>Kuru Yoğunluk*</b>	2,43	2,48	2,51
<b>Doğgun Yoğunluk*</b>	2,52	2,56	2,59
*Şekilsiz karot numunelerin mezür yöntemi deney sonuçları **Sırası ile andezit bloğundan alınan 3 adet karot örneği			

### 2.4.3. Kompas Yöntemiyle Yoğunluk Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Bu çalışmada, 5 farklı kayaç bloğundan laboratuvarında düzgün şekilli silindirik örnekler hazırlanmış ve kaya malzemelerine ait yoğunluk ve su içeriği özellikleri belirlenmiştir. Deneyler her kayaç türü için üçer adet örnek üzerinde yapılmıştır. Kayaçlar sırasıyla fosilli kireçtaşı, masif kireçtaşı, volkanik breş, andezit ve bazalttır. Yoğunluk hesaplamaları yapılırken silindirik örneklerin hacim ve ağırlıkları dikkate alınmıştır. Örneklerin boyutlarının ölçümünde 0,01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas kullanılmıştır. Deneyler her bir örnekleme noktası için üç kere yapılmıştır. Deneyler [5] tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. Örneklerle ait ağırlık ve su içeriği değişimini araştırmak için etüve konulmuş (105 °C) ve zaman zaman (0.5, 1, 2, 4 ... 24 saat vb.) çıkartılarak ağırlıkları tartılmıştır. Benzer durum örnekleri suya doymun duruma getirirken gerçekleştirilmiştir. Su içerisinden alınan örnekler kuru yüzey doymun ağırlık olacak şekilde tartılmıştır.

Hesaplamlarda kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir. Deneysel çalışmalara ait bazı görüntüler Şekil 2.11’de yer almaktadır. Örneklerin porozite değerleri sırasıyla fosilli kireçtaşı için %21,5 masif kireçtaşı için %0,09 ve volkanik breş için %3,64 olarak bulunmuştur.

$$Yoğunluk = Kütleye / Toplam Hacim \quad (2.8)$$

$$Su İçeriği = (Gözenek Su Ağırlığı / Kuru Ağırlık) \times 100 \quad (2.9)$$

$$Ağırlıkça Su Emme = ([Doymun Ağırlık - Kuru Ağırlık] / Kuru Ağırlık) \times 100 \quad (2.10)$$



Şekil 2.11. Kuru ve doymun yoğunlukların hesaplanmasından önce deney numunelerinin a) suya doymun b) kurutma işlemi

Yapılan bu deneylere örnek olarak deney numunesi hazırlama sırası da baz alındığında Andezit ve Granit kayaç bloklarından alınan karot numuneleri su içerisinde bekletilerek sırası ile 2, 4, 8 ve 24 saat sonunda elde edilen veriler tablolar halinde verilmiştir. Burada numunelerin düzgün fiziksel özellikleri sebebiyle kompas yardımı doğrudan hacim hesabının yapılmıştır. Buna binaen şekilli örneklerde doymun ve kuru yoğunluklarının hesabı doğrudan numune geometrisi ile ilintilidir. Aşağıda her bir numunenin geometrik verileri ve su içeriğine bağlı olarak ağırlık değişimleri verilmiştir.

Tablo 2.21. Granit kayaç numunesinin kompas verileri, zamana ve su içeriğine bağlı olarak ağırlık değişimleri

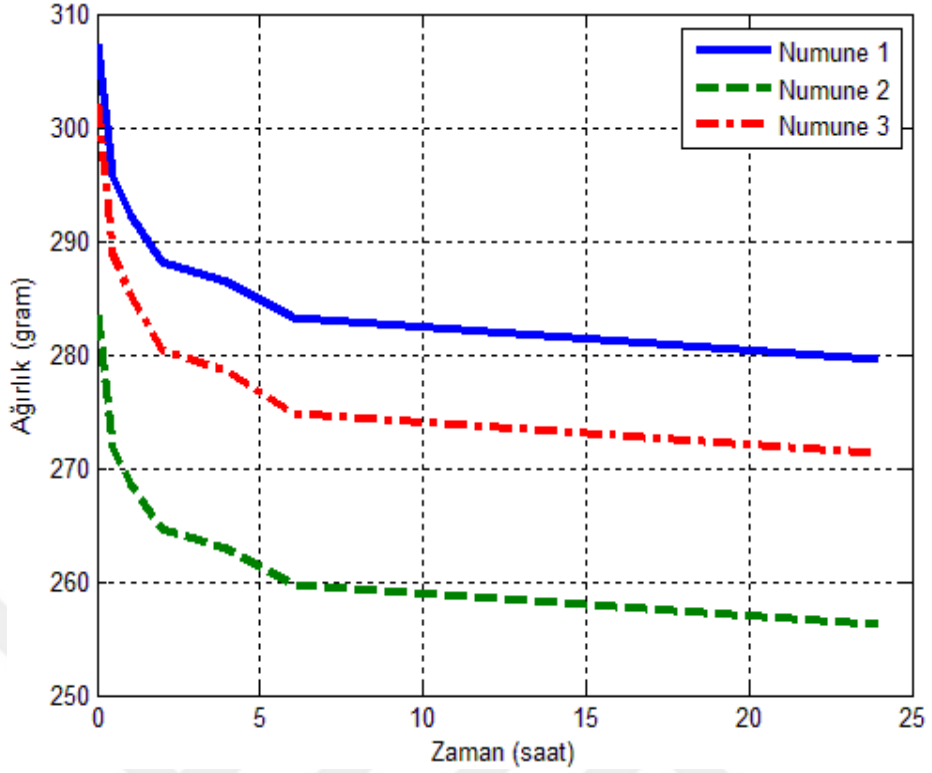
Parametre	Karot Örnekleri		
	G1	G2	G3
$a_{ort}$	5,44	5,43	5,42
$h_{ort}$	11,41	10,09	10,02
$R_2$	7,40	7,40	7,34
$V$	265,20	234,60	231,05
$W_1$	691,50	615,00	609,20
$W_2$	692,70	616,00	610,10
$W_3$	693,30	616,70	610,90
$W_4$	693,50	616,70	610,90
$W_5$	693,50	616,70	610,90

Tablo 2.22. Andezit kayaç numunesinin kompas verileri, zamana ve su içeriğine bağlı olarak ağırlık değişimleri

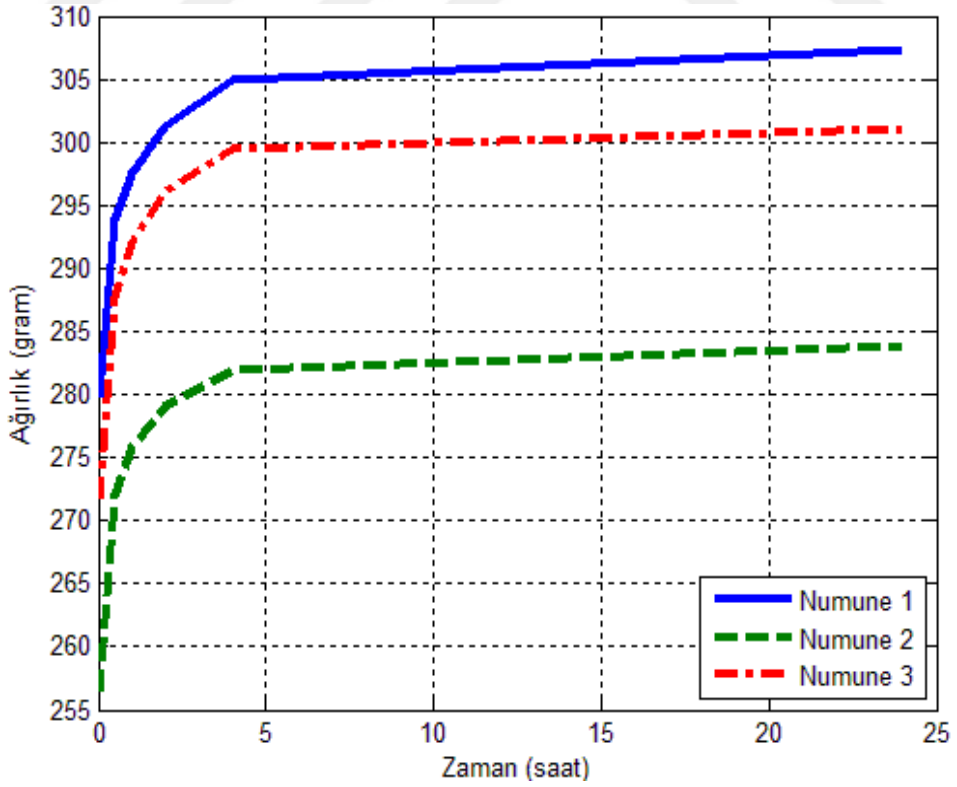
Parametre	Karot Örnekleri		
	A1	A2	A3
$a_{ort}$	5,44	5,43	5,43
$h_{ort}$	12,80	12,90	11,70
$R_2$	7,40	7,40	7,40
$V$	297,57	299,90	272,00
$W_1$	740,40	748,30	674,40
$W_2$	747,10	752,50	678,30
$W_3$	762,40	761,70	688,80
$W_4$	764,40	764,40	692,40
$W_5$	765,40	772,10	697,00

## 2.5. Laboratuvar Ortamında Gerçekleştirilen Yoğunluk Deneyleri

İlk olarak kayaçların zamana bağlı ağırlık değişimleri irdelenmiştir. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'de mikro fosilli kireçtaşı örneği örnek olarak verilmiştir. Şekil 2.12'da 24 saat boyunca etüve konulan örneğin zamana ve su içeriğindeki azalmaya bağlı olarak azalan ağırlık grafiği, Şekil 2.13'de ise su içinde 24 saat bekletilen örneklerin su içeriğinin artmasıyla ağırlığındaki değişimi gösteren grafik bulunmaktadır. İlk bir saat içinde örneklerin ağırlıklarında büyük değişimler gözlenmiştir. Her iki grafikten de görüleceği gibi ağırlık değişimlerinin neredeyse hepsi ilk beş saat içinde gerçekleşmektedir.



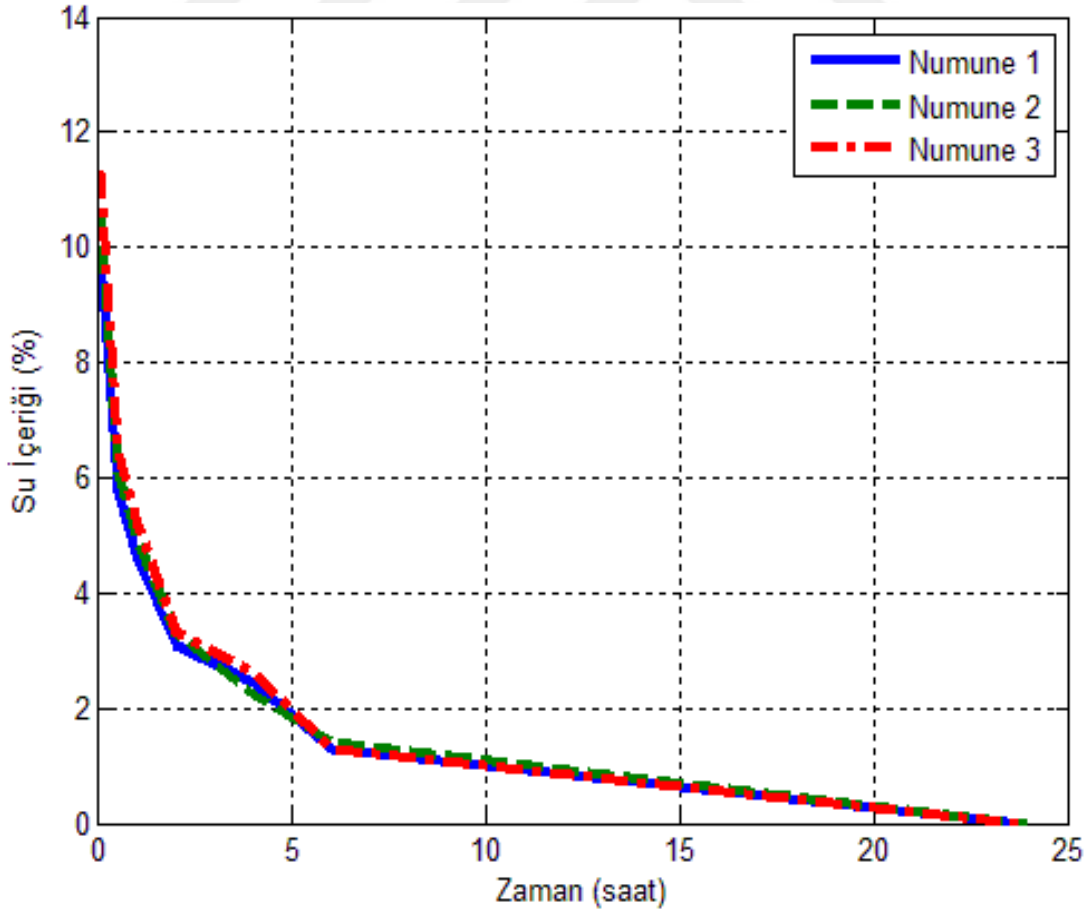
Şekil 2.12. Fosilli kireçtaşı örneklerinin zamana bağlı ağırlık değişimleri



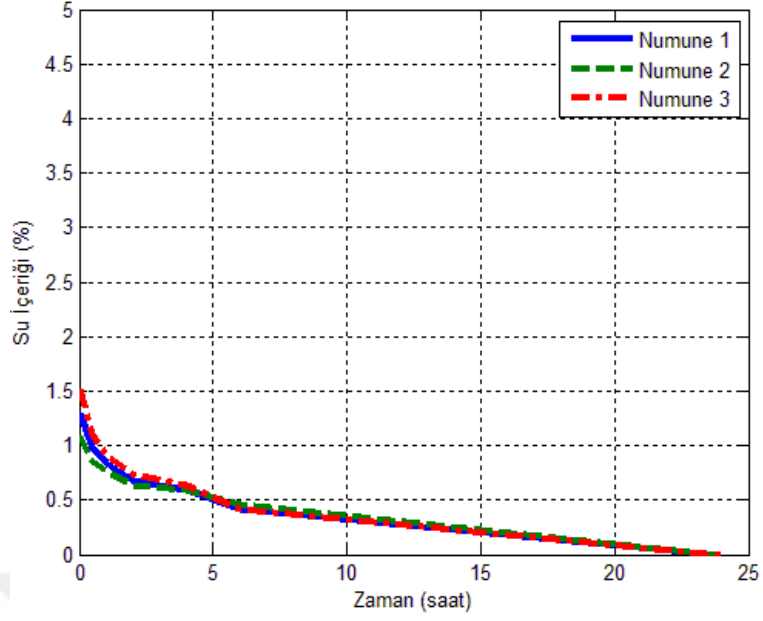
Şekil 2.13. Fosilli kireçtaşı örneklerinin suda bekletme ile zamana bağlı ağırlık değişimleri

Etüve konulan örneklerin zamana bağlı su içeriklerindeki değişimler Şekil 2.14, Şekil 2.15 ve Şekil 2.16'de verilmiştir. Su içerikleri yaklaşık %10 olan fosilli kireçtaşı örneklerindeki değişim daha belirgin olmuştur. Şekil 2.16'de ki masif kireçtaşının porozitesi yok denilecek kadar az olduğu için su içeriği grafiğinde bir değişim gözlenmemiştir. Bu nedenle masif kireçtaşı ile ilgili başka grafik çalışmaya eklenmemiştir. Diğer iki grafikten görüleceği üzere su içeriğindeki değişimler çoğunlukla ilk saatler içinde meydana gelmektedir. Diğer bir ifadeyle porozitesi olan bir kayacın su içeriğinin oldukça hızlı (ilk birkaç saat içinde) değiştiği anlaşılmaktadır.

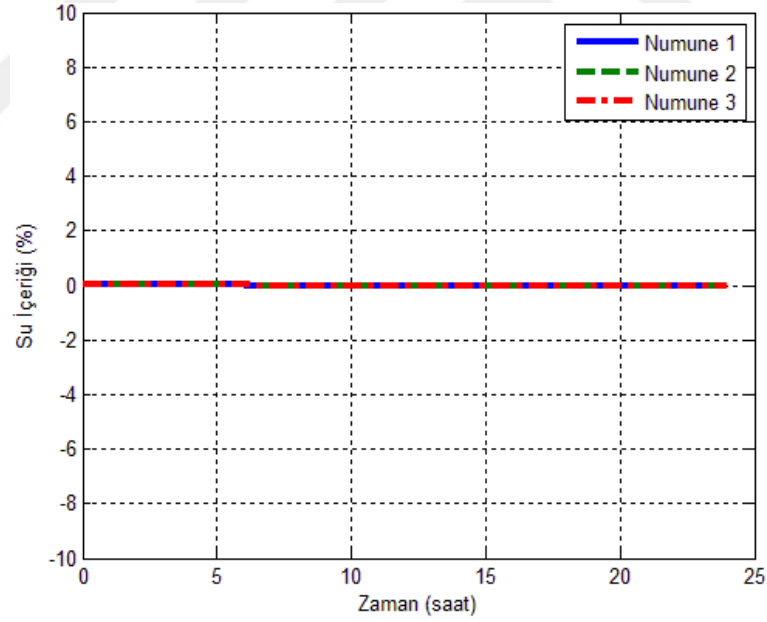
Su içindeki örneklerin zamana bağlı su içeriklerindeki değişimlerini gösteren grafikler Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de verilmiştir. Etüve konulan örneklerde olduğu gibi su içindeki örneklerin ilk birkaç saat içinde suyu bünyelerine çektiği hatta ilk yarım saat gibi kısa bir sürede gözenelerin çoğunun su ile dolduğu anlaşılmaktadır (Şekil 2.18). Bu durum su içinde yapı malzemesi olarak kullanılan gözenekli bir kayacın durumunu anlamaya yardımcı olabilir.



Şekil 2.14. Fosilli kireçtaşı örneklerin zamana bağlı su içeriklerindeki değişimler



Şekil 2.15. Volkanik breş örneklerin zamana bağlı su içeriklerindeki değişimler

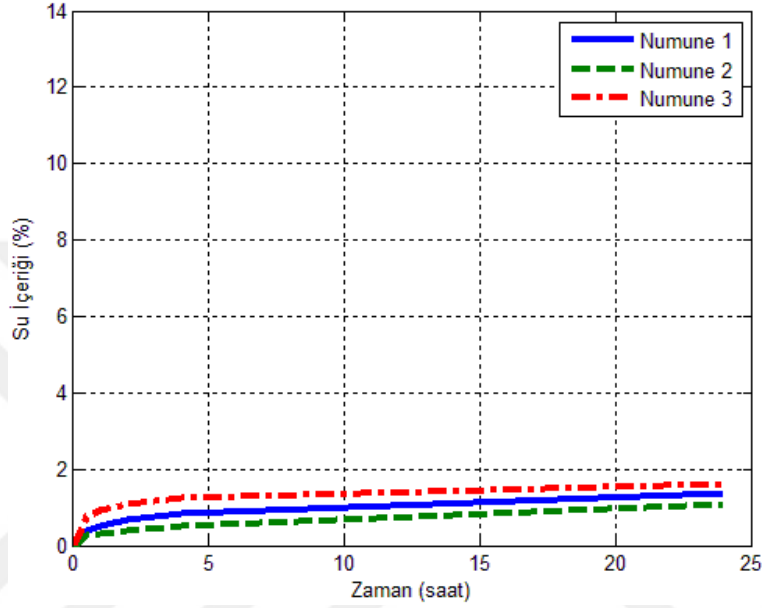


Şekil 2.16. Kireçtaşı örneklerin zamana bağlı su içeriklerindeki değişimler

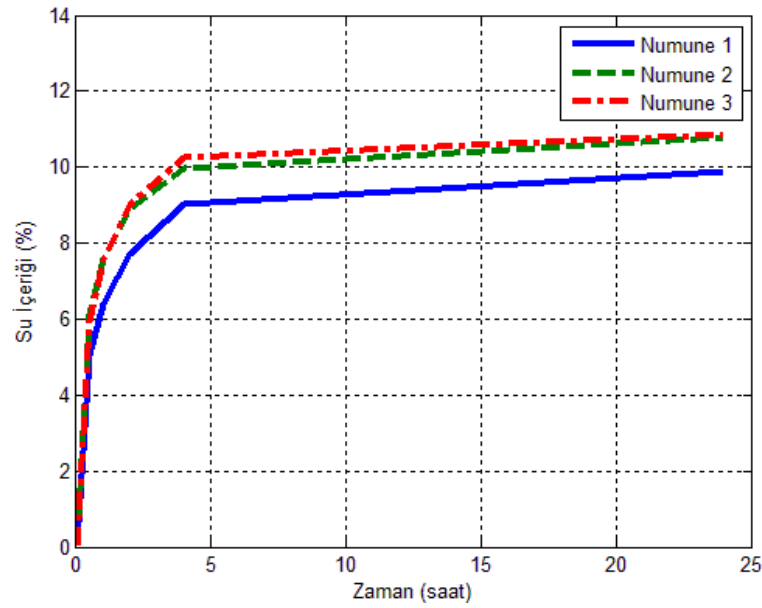
Ayrıca sıcak bir iklimde tasarlanan yapı taşlarının aşırı yağış sonrasında bünyesindeki sudan yaklaşık olarak ne kadar süre içinde kurtulacağını anlamak için de deneyler yapılmıştır. Otuz derece sabit tutularak etüve konulan suya doymun örneklerin belirli aralıklarla tartımı yapılmıştır. Deney sonunda sıcaklığın ağırlık üzerinde etkili olup olmadığı da araştırılmıştır. Bunun için etüvden alınan örnekler hemen tartılarak not edilmiş daha sonra



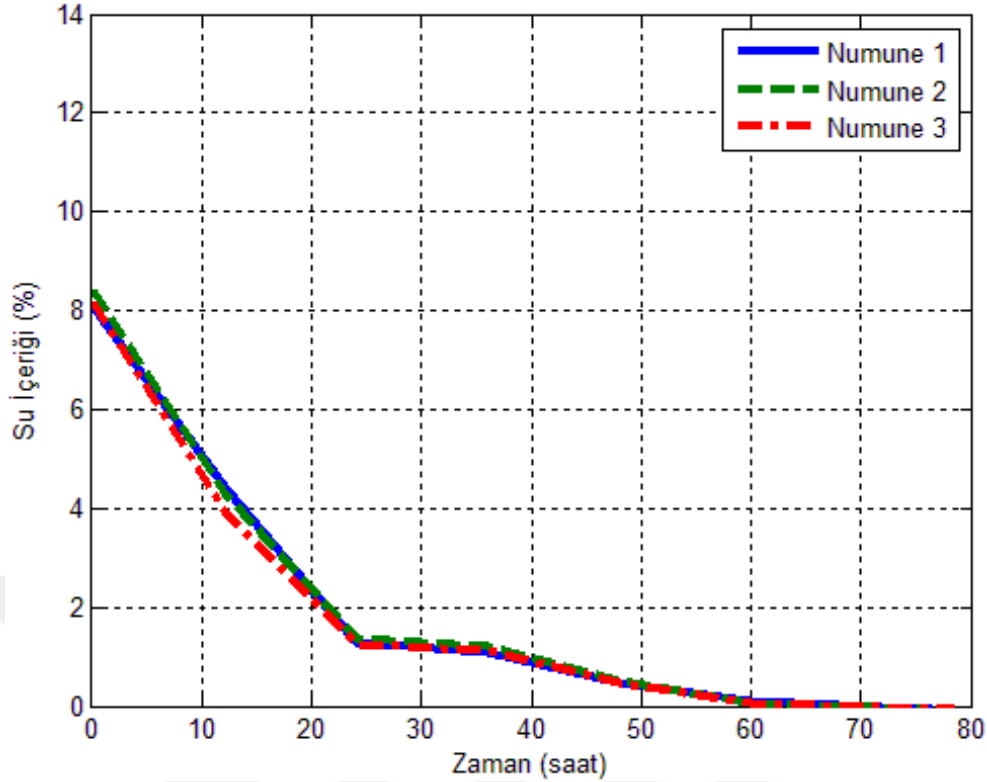
aynı örnekler desikatörde 45 dakika nemsiz ortamda soğumaya bırakılmıştır. Tartımlar arasında neredeyse hiç fark olmadığı veya oldukça az fark olduğu gözlenmiştir. Gözenek oranının fazla olduğu fosilli kireçtaşına ait sonuçlar Şekil 2.19’de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi örnekler yaklaşık 3 günde bünyelerindeki suyu tamamen kaybetmişlerdir. En büyük su kaybını ilk gün yaşamışlardır.



Şekil 2.17. Su içindeki volkanik breş örneklerin zamana bağlı su içeriklerindeki değişim



Şekil 2.18. Su içindeki fosilli kireçtaşı örneklerin zamana bağlı su içeriklerindeki değişim



Şekil 2.19. Sabit sıcaklık altında su içeriği değişimi

## 2.6. Yerinde Yoğunluk Ölçer Cihazı ile Yoğunluk Deneyleri

Yerinde yoğunluk ölçer cihazı ile karot numunelerinin kuru ağırlığı ( $W_{kuru}$ ), doğal ağırlığı ( $W_{doğal}$ ), doygun ağırlığı ( $W_{doygun}$ ), hacmi ( $V$ ), kuru yoğunluğu ( $d_{kuru}$ ), doğal yoğunluğu ( $d_{doğal}$ ) ve doygun yoğunluğu ( $d_{doygun}$ ) otomatik olarak bulunmaktadır. Kullanıcı numuneyi, numune kabına koyup, cihazın içerisine yerleştirdikten sonra test işlemi başlamaktadır. Test süresi kayaç türüne ve ağırlığına bağlı olarak değişmekle birlikte 4 – 5 sa. sürmektedir. Test işlemi beş aşamadan oluşmaktadır. Bunlar:

- 1 kurutma: Bu aşamada öncelikle numune kabı cihaz içerisindeki hassas teraziye yerleştirilip, darası alınır. Ardından kap içerisine numune yerleştirilerek, test işlemi başlatılır. Cihaz öncelikle numune ağırlığı ölçer ve bilgisayara USB portu üzerinden gönderir. Ölçülen bu değer numunenin doğal ağırlığıdır ( $W_{doğal}$ ). Ardından cihaz numune kabı içerisindeki kayacı 160 W gücündeki ısıtıcıları ile 150 °C sıcaklıkta ısıtır. Cihazın sıcaklık kontrolünde oransal integral (*proportional integral, PI*) yöntemi kullanılmıştır. Bu denetim yöntemi ile numune 150 °C'ye ısıtılmakta ve bu ısı 1. aşama boyunca bu değerinde sabitlenmektedir. İlk aşamanın süresi sabit olup,

3.600 sn. (1 sa.)'dir. 1. aşama tamamlandıktan sonra numunenin ölçülen ağırlığı, kuru ağırlığıdır ( $W_{kuru}$ ).

- 2 soğutma: 1. aşama tamamlandıktan sonra cihaz otomatik olarak soğutma aşamasına geçmektedir. 2. aşamanın süresi numunenin cinsine ve ağırlığına bağlı olarak değişmekle birlikte yaklaşık olarak 1 – 1,5 sa. sürmektedir. Cihaz iki saniyede bir numunenin ağırlığını ve sıcaklığını ölçmekte ve numune sıcaklığı 35 °C'nin altına düştüğünde 2. aşama sonlandırılmaktadır.
- 3 su doldurma: Bu aşamada numune kabının içerisine peristaltik pompa ile referans seviyeye kadar su doldurulmaktadır. Numune kabı, içerisinde kayaç olmadığı durumda, referans seviyeye kadar su doldurulduğunda 554,38 g su almaktadır. Dolayısıyla 1 ml suyun ağırlığı 1 g alındığında numune kabının hacmi ( $V_{kap}$ ) 554,38 ml'dir. 3. aşama numune kabı içerisindeki kayacın hacmine bağlı olarak 8 – 9 dk. sürmektedir. Referans noktaya kadar su doldurulduğunda ölçülen ağırlık  $W_{kayaç+su}$ 'dur. Aynı şekilde 1 ml suyun ağırlığı 1 g alındığında numune kabı içerisine pompalanan suyun hacmi (2.12) ile hesaplanmaktadır. Ardından numune kabının hacminden ( $V_{kap}$ ), kap içerisine aktarılan suyun hacmi ( $V_{su}$ ) çıkarılarak (2.13) ile kayacın hacmi bulunmaktadır.

$$V_{su} = W_{kayaç+su} - W_{kuru} \quad (2.12)$$

$$V = W_{kap} - W_{su} \quad (2.13)$$

- 4 su çekme: Bu aşamanın süresi 7.200 sn. (2 sa.) sabit olup, kayacın kap içerisindeki suyu çekmesi beklenmektedir. Kayaç su çektikçe, numune kabı içerisindeki su seviyesi, referans değerinin altına inmektedir.
- 5 su ekleme: Bu aşamada su seviyesi, numune kabına peristaltik pompa ile su eklenerek tekrar referans seviyeye getirilir. 5. aşama kap içerisindeki kayacın türüne bağlı olarak 1-20 sn. arasında değişmektedir. Numune kabının toplam ağırlığının bu aşama sonu ve öncesindeki ağırlıkları birbirinde çıkartılarak, kayacın çektiği su ağırlığı ( $W_{emilen}$ ) bulunur. Böylece kayacın doymuş ağırlığı (2.14) ile hesaplanır. Son olarak kayacın kuru yoğunluğu (2.15), doğal yoğunluğu (2.16) ve doymuş yoğunluğu (2.17) ile bulunur.

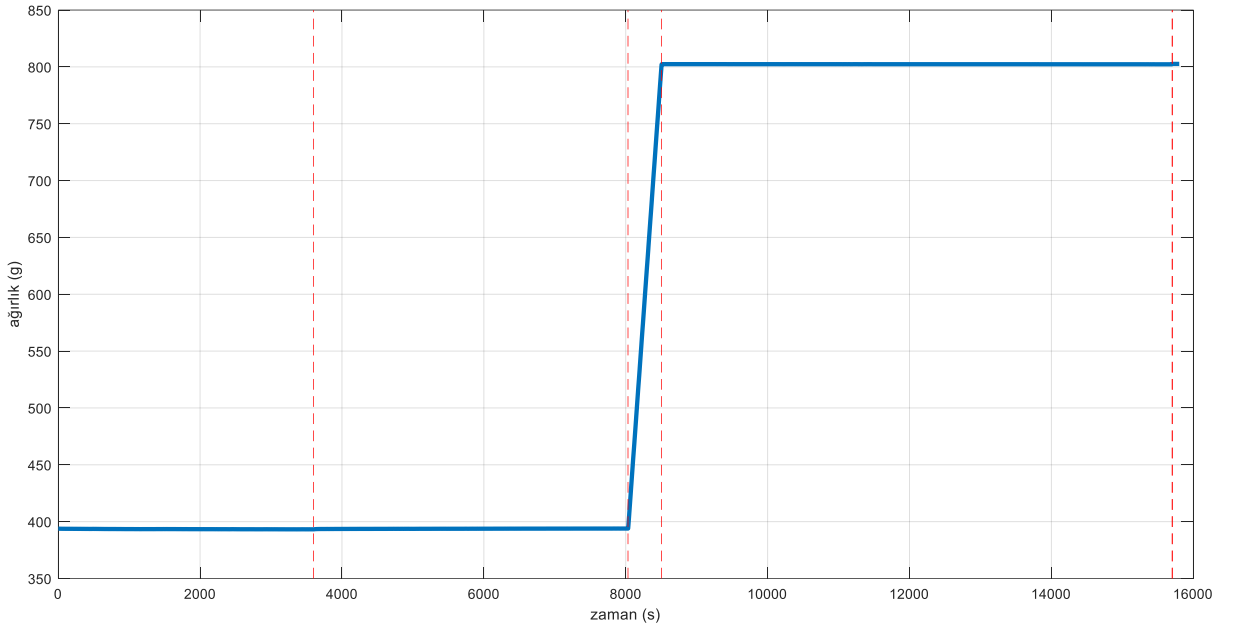
$$W_{doygun} = W_{kuru} - W_{emilen} \quad (2.14)$$

$$d_{kuru} = W_{kuru}/V \quad (2.15)$$

$$d_{doğal} = W_{doğal}/V \quad (2.16)$$

$$d_{doygun} = W_{doygun}/V \quad (2.17)$$

Yerinde yoğunluk ölçer cihazı ile ilk olarak granit numunesinin ölçümü yapılmıştır. Şekil 2.20'de kayacın ağırlığının ölçüm boyunca zamanla değişimi görülmektedir. Şekilde kesikli kırmızı çizgiler ölçüm aşamalarını (1, 2, 3, 4 ve 5) göstermektedir. Ölçüm 15.704 sn. sürmüştür ve 7.852 örnek alınmıştır. Tablo 2.23'de her bir aşamanın süresi ve bu aşama boyunca alınan örnek sayıları görülmektedir. Alınan ağırlık ölçümleri ve (2.12) – (2.17) kullanılarak granit numunesinin kuru ağırlığı ( $W_{kuru}$ ), doğal ağırlığı ( $W_{doğal}$ ), doygun ağırlığı ( $W_{doygun}$ ), hacmi ( $V$ ), kuru yoğunluğu ( $d_{kuru}$ ), doğal yoğunluğu ( $d_{doğal}$ ) ve doygun yoğunluğu ( $d_{doygun}$ ) parametreleri bulunmuş ve Tablo 2.24'de verilmiştir.



Şekil 2.20. Granit numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi

Tablo 2.23. Granit numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı

Aşama	Süre (sn.)	Süre (sa. dk. sn.)	Okuma Sayısı (örnek)
1 Kurutma	3.600	1 00 00	1.800
2 Soğutma	4.432	1 13 52	2.216
3 Su Doldurma	472	0 07 52	236
4 Su Çekme	7.200	2 00 00	3600
5 Su Ekleme	2	0 00 02	1
<b>Toplam</b>	15.706	4 21 46	7.853

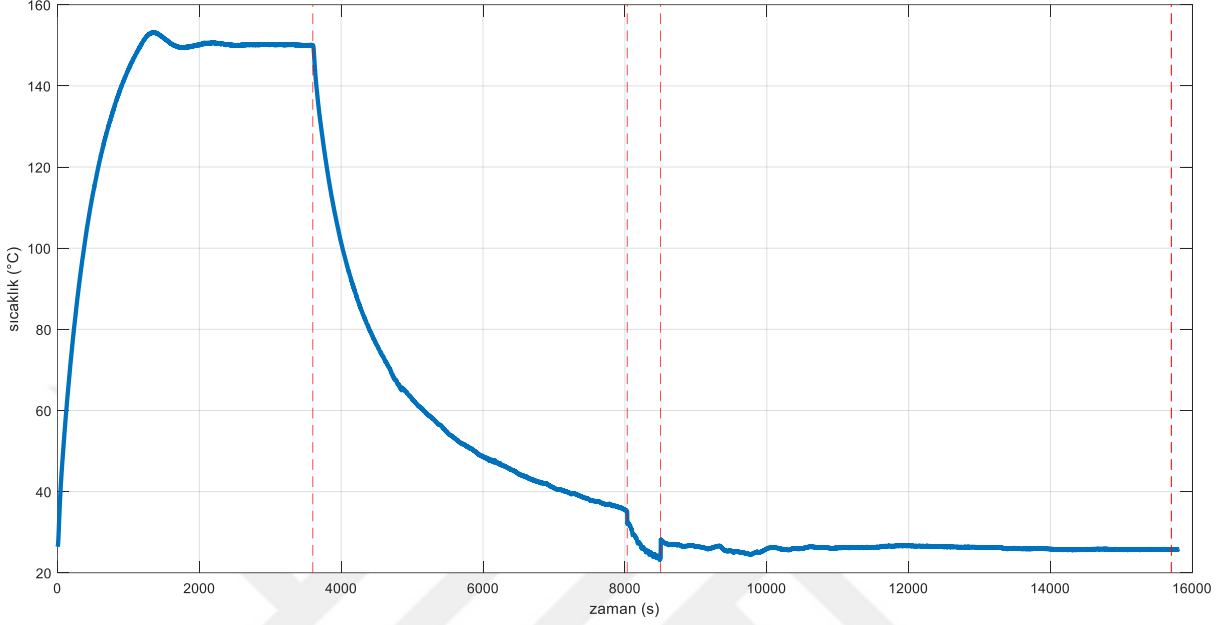
Tablo 2.24. Granit için yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler

Parametre	Değeri
$W_{kuru}$ (g)	393,240
$W_{doğal}$ (g)	393,840
$W_{doygun}$ (g)	394,040
$V$ (ml)	145,200
$d_{kuru}$ (g/ml)	2,708
$d_{doğal}$ (g/ml)	2,712
$d_{doygun}$ (g/ml)	2,714

Şekil 2.21’de granit numunesinin ölçüm boyunca sıcaklık değişimi görülmektedir. Sıcaklık değişimi şu şekilde gerçekleşmektedir.

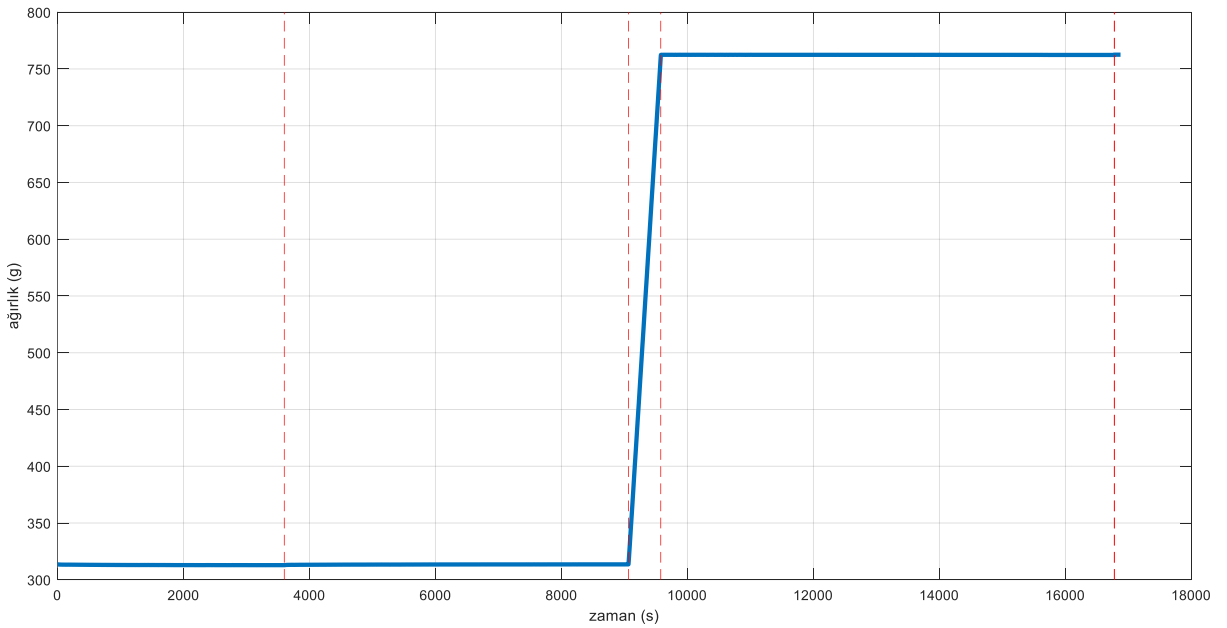
- 1 kurutma: Bu aşamada numune 150 °C’de ısıtılmaktadır. Isıtma işlemi 160 W’lık ısıtıcıların PI denetimi ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.21’de numune sıcaklığının 150 °C’de salınım yaptıktan sonra sabitlendiği görülmektedir.
- 2 soğutma: Isıtma işleminden sonra ısıtıcılar kapatılmakta ve numune sıcaklığının 35 °C’ye düşmesi beklenmektedir. Şekilde 2.21’de numune sıcaklığının üstel bir şekilde azaldığı görülmektedir.
- 3 su doldurma: Bu aşamada kap referans seviyeye kadar su doldurmaktadır. Kaba doldurulan su nedeniyle anlık sıcaklık 24 °C’ye düşmüştür.
- 4 su çekme: Bu aşamada numunenin 2 saat boyunca su emmesi beklenmektedir. Şekil 2.21’de numune sıcaklığının önce arttığı daha sonra ısıl denge (ısıtıcı, ısı yayıcı, numune kabı ve numune) sağlandığında, numune sıcaklığı ortam ısı olan 26 °C’de sabitlenmiştir.

- 5 su ekleme: Bu aşama 2 sn. sürdüğü için numune sıcaklığında herhangi bir değişim gözlenmemiştir.

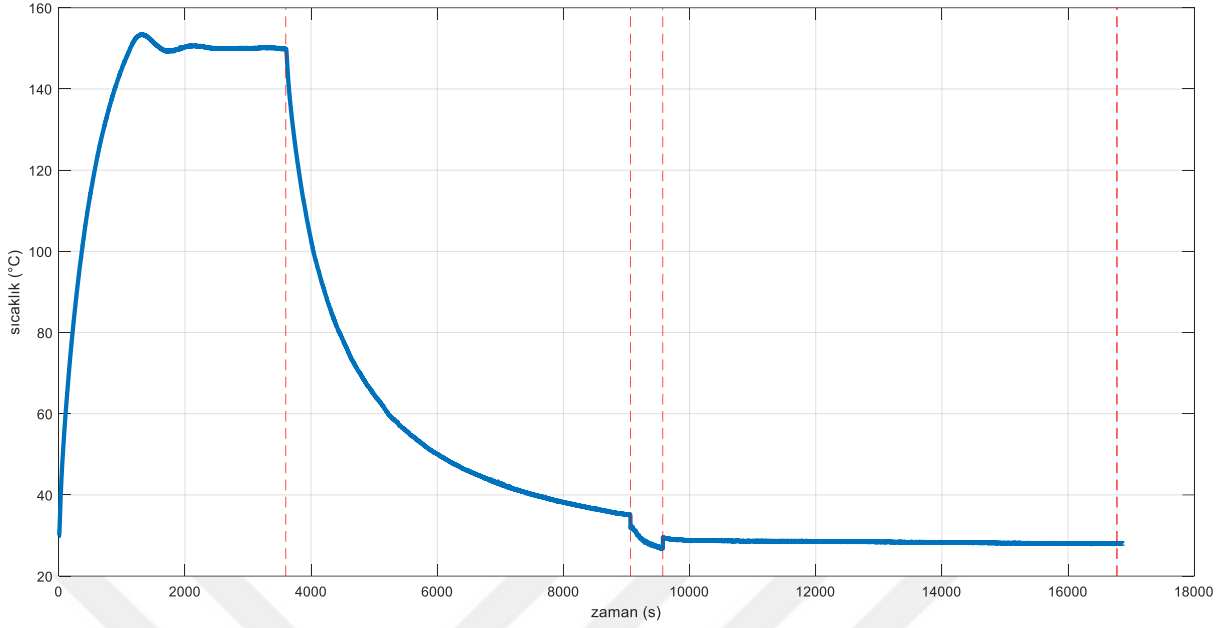


Şekil 2.21. Granit numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi

Yerinde yoğunluk ölçer cihazı ile ikinci olarak kireçtaşı numunesi ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Şekil 2.22, Şekil 2.23, Tablo 2.25 ve Tablo 2.26'da verilmiştir.



Şekil 2.22. Kireçtaşı numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi



Şekil 2.23. Kireçtaşı numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi

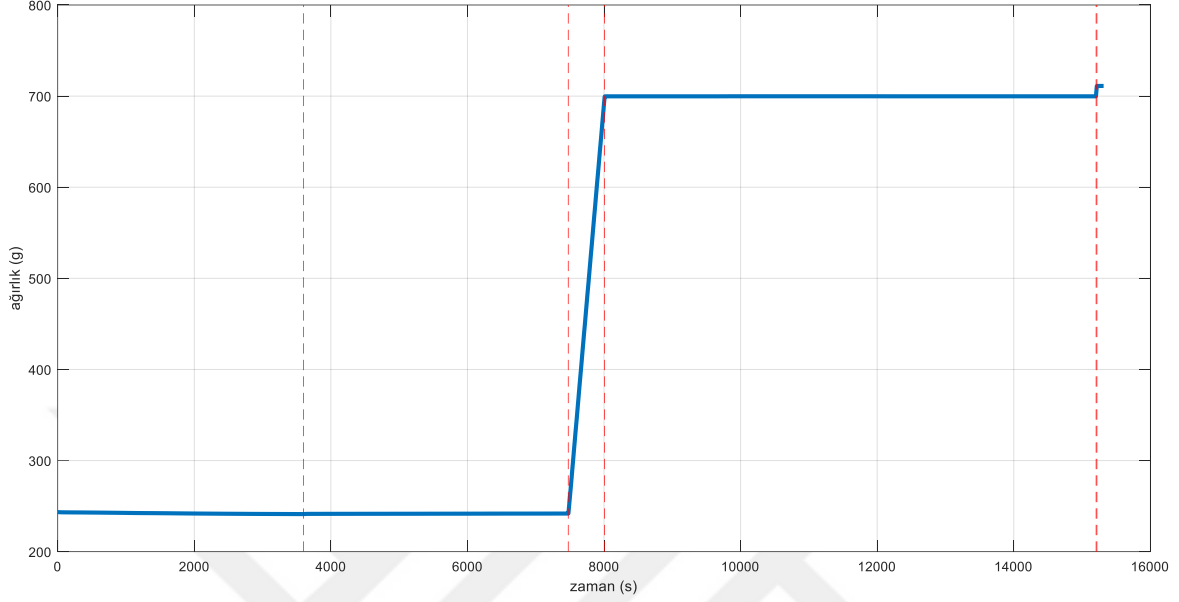
Tablo 2.25. Kireçtaşı numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı

Aşama	Süre (sn.)	Süre (sa. dk. sn.)	Okuma Sayısı (örnek)
1 Kurutma	3.600	1 00 00	1.800
2 Soğutma	5.462	1 31 02	2.731
3 Su Doldurma	514	0 08 34	257
4 Su Çekme	7.200	2 00 00	3.600
5 Su Ekleme	2	00 00 2	1
<b>Toplam</b>	<b>16.778</b>	<b>4 39 38</b>	<b>8.389</b>

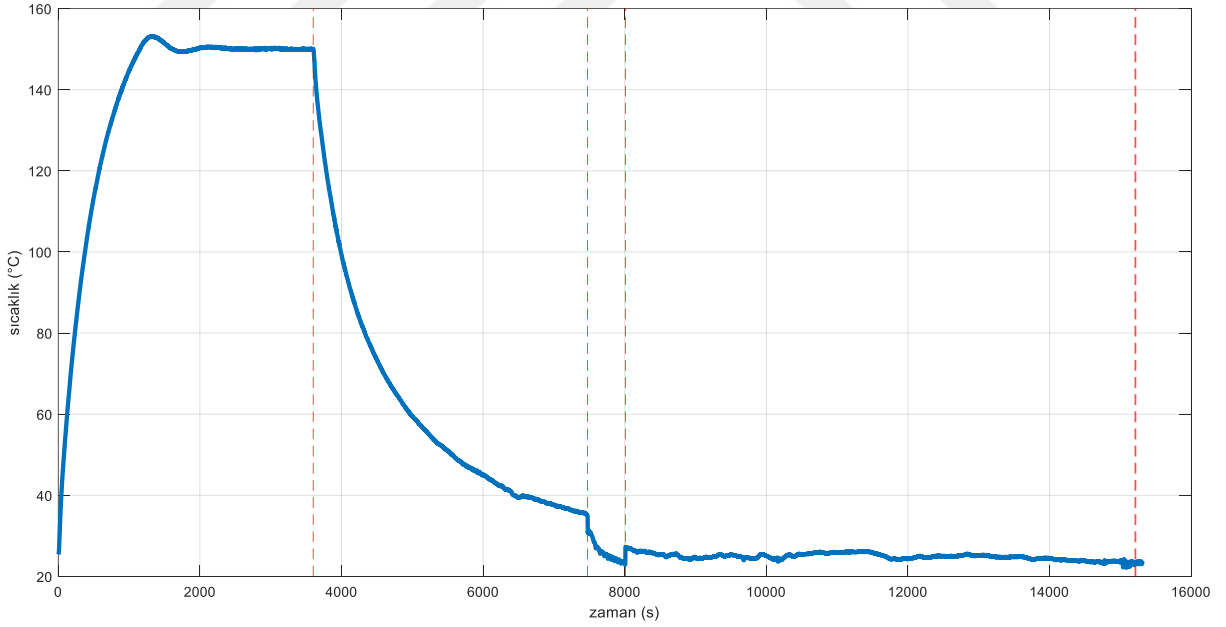
Tablo 2.26. Kireçtaşı için yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler

Parametre	Değeri
$W_{kuru}$ (g)	312,880
$W_{doğal}$ (g)	313,580
$W_{doygun}$ (g)	313,680
$V$ (ml)	104,800
$d_{kuru}$ (g/ml)	2,985
$d_{doğal}$ (g/ml)	2,992
$d_{doygun}$ (g/ml)	2,993

Üçüncü olarak fosilli kireçtaşı ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Şekil 2.24, Şekil 2.25, Tablo 2.27 ve Tablo 2.28’de verilmiştir.



Şekil 2.24. Fosilli kireçtaşı numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi



Şekil 2.25. Fosilli kireçtaşı numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi



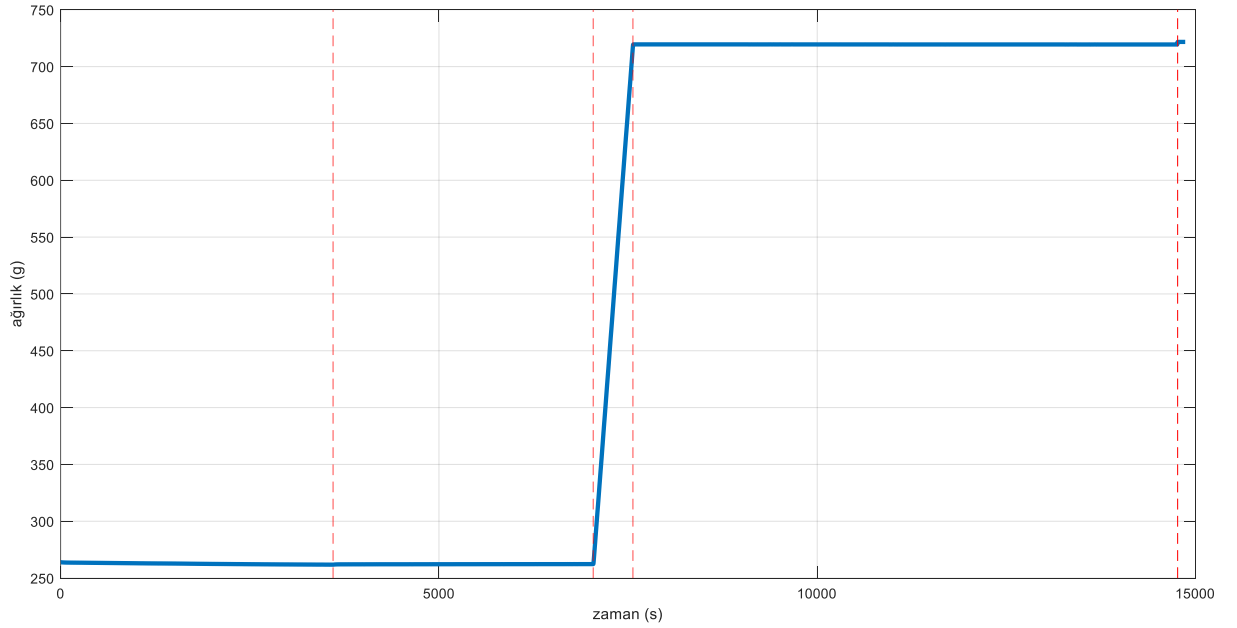
Tablo 2.27. Fosilli kireçtaşı numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı

Aşama	Süre (sn.)	Süre (sa. dk. sn.)	Okuma Sayısı (örnek)
<b>1 Kurutma</b>	3.600	1 00 00	1.800
<b>2 Soğutma</b>	3.876	1 04 36	1.938
<b>3 Su Doldurma</b>	532	0 08 52	266
<b>4 Su Çekme</b>	7.200	2 00 00	3.600
<b>5 Su Ekleme</b>	12	0 00 12	6
<b>Toplam</b>	15.220	4 13 40	7.610

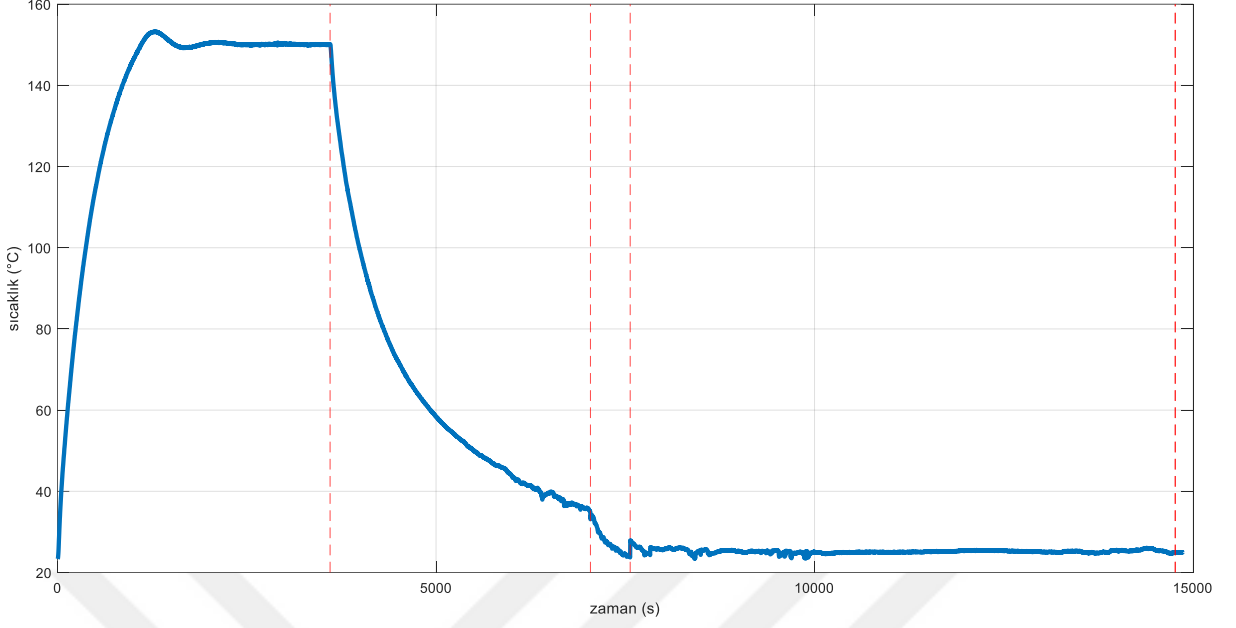
Tablo 2.28. Kireçtaşı için yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler

Parametre	Değeri
$W_{kuru}$ (g)	241,260
$W_{doğal}$ (g)	243,460
$W_{doygun}$ (g)	254,860
$V$ (ml)	95,880
$d_{kuru}$ (g/ml)	2,516
$d_{doğal}$ (g/ml)	2,539
$d_{doygun}$ (g/ml)	2,658

Ölçüm cihazı ile dördüncü olarak volkanik breş numunelerinin parametreleri elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar Şekil 2.26, Şekil 2.27, Tablo 2.29 ve Tablo 2.30’da sunulmuştur.



Şekil 2.26. Volkanik breş numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi



Şekil 2.27. Volkanik breş numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi

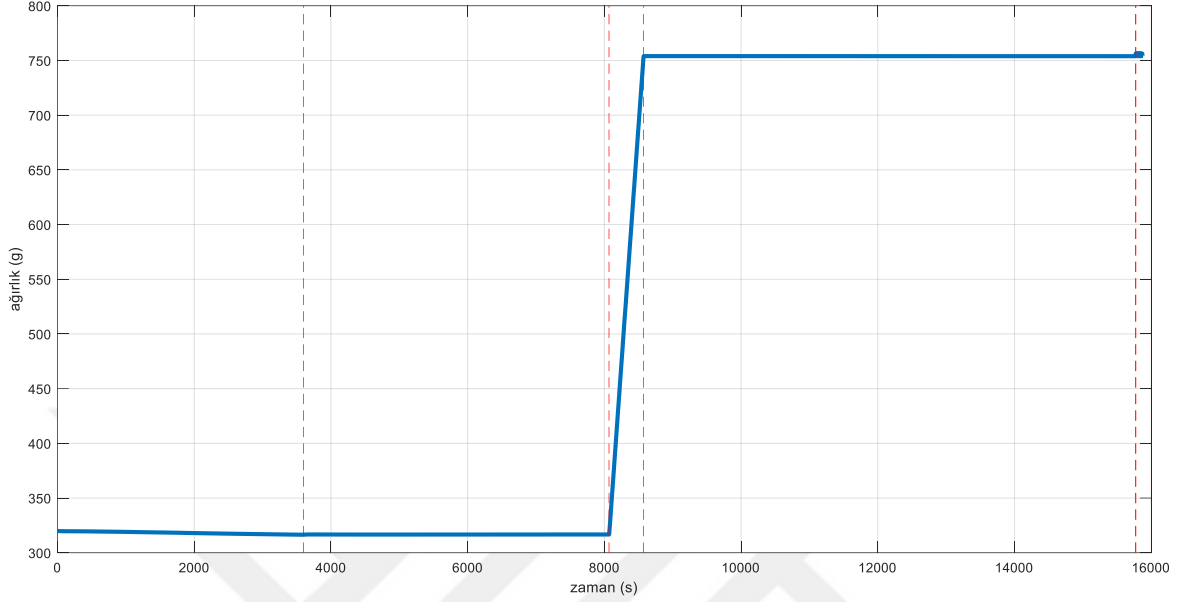
Tablo 2.29. Volkanik breş numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı

Aşama	Süre (sn.)	Süre (sa. dk. sn.)	Okuma Sayısı (örnek)
<b>1 Kurutma</b>	3.600	1 00 00	1.800
<b>2 Soğutma</b>	3.438	0 57 18	1.719
<b>3 Su Doldurma</b>	526	0 08 46	263
<b>4 Su Çekme</b>	7.200	2 00 00	3.600
<b>5 Su Ekleme</b>	4	0 00 04	2
<b>Toplam</b>	14.768	4 06 08	7.384

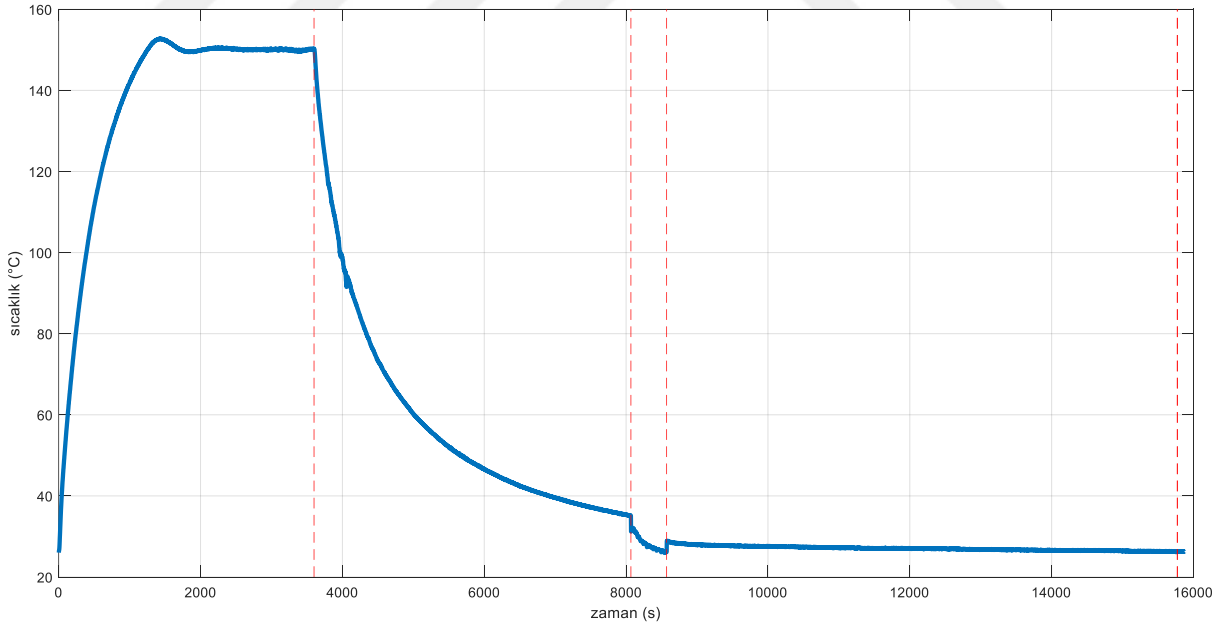
Tablo 2.30. Volkanik breş yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler

Parametre	Değeri
$W_{kuru}$ (g)	261,800
$W_{doğal}$ (g)	263,900
$W_{doygun}$ (g)	266,080
$V$ (ml)	96,640
$d_{kuru}$ (g/ml)	2,709
$d_{doğal}$ (g/ml)	2,731
$d_{doygun}$ (g/ml)	2,753

Son olarak yerinde yoğunluk ölçer cihazı ile andezit numunelerinin ölçümü yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2.28, Şekil 2.29, Tablo 2.31 ve Tablo 2.32’de verilmiştir.



Şekil 2.28. Andezit numunesinin ağırlığının ölçüm süresince zamanla değişimi



Şekil 2.29. Andezit numunesinin sıcaklığının ölçüm süresince zamanla değişimi

Tablo 2.31. Andezit numunesi için ölçüm aşamalarının süresi ve alınan örnek sayısı

Aşama	Süre (sn.)	Süre (sa. dk. sn.)	Okuma Sayısı (örnek)
<b>1 Kurutma</b>	3.600	1 00 00	1.800
<b>2 Soğutma</b>	4.468	1 14 28	2.234
<b>3 Su Doldurma</b>	504	0 08 24	252
<b>4 Su Çekme</b>	7.200	2 00 00	3.600
<b>5 Su Ekleme</b>	6	0 00 06	3
<b>Toplam</b>	15.778	4 22 58	7.889

Tablo 2.32. Andezit yerinde yoğunluk ölçer ile bulunan parametreler

Parametre	Değeri
$W_{kuru}$ (g)	316,480
$W_{doğal}$ (g)	319,940
$W_{doygun}$ (g)	322,300
$V$ (ml)	116,880
$d_{kuru}$ (g/ml)	2,708
$d_{doğal}$ (g/ml)	2,737
$d_{doygun}$ (g/ml)	2,758

## 2.7. Yerinde Yoğunluk Ölçer Cihazının Tasarımı ve Üretim Prosesinin Belirlenmesi

Bu kısımda yerinde yoğunluk ölçer cihazının mekanik ve elektronik üretimi ve veri transferi ilgili bilgiler sunulmuştur.

### 2.7.1. Cihazın Mekanik Üretimi

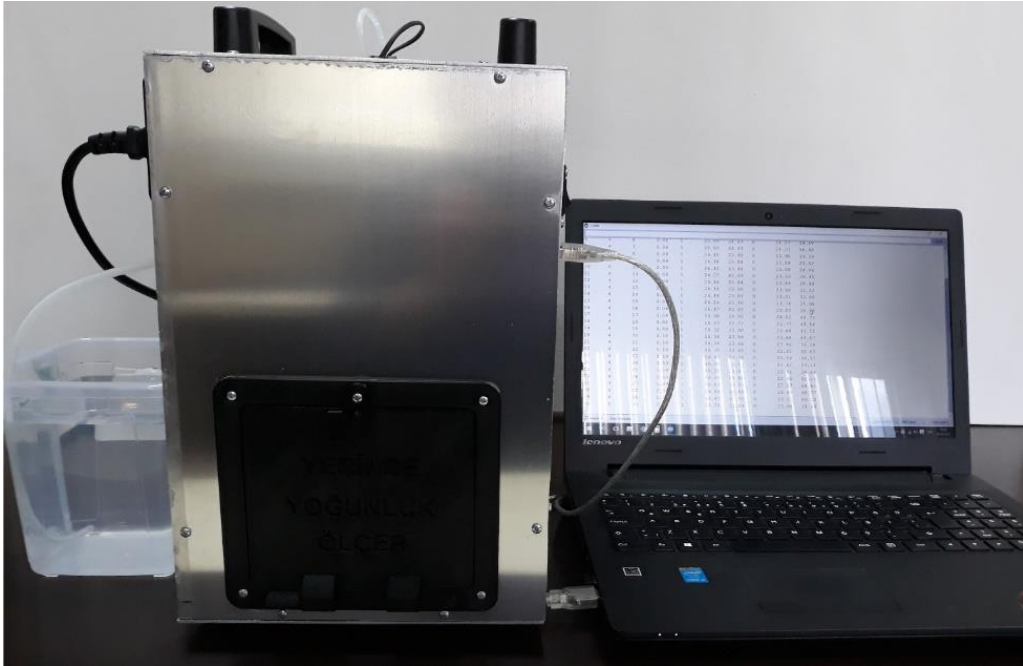
Yerinde yoğunluk ölçer cihazının genel görünümü Şekil 2.30'da ve iç yapısı Şekil 2.31'de verilmiştir. Cihazın boyutları 220 mm x 280 mm x 325 mm olup, 2 mm kalınlıklı alüminyum levhadan üretilmiştir. Cihazın iskeletinde 10 mm x 10 mm kesitli alüminyum çubuklar kullanılmıştır. Test cihazı, arazide rahatlıkla kullanılabilmesi amacıyla mümkün olduğunca küçük, hafif ve sağlam bir şekilde üretilmiştir. Cihaz modüler bir yapıya sahip olup, tüm panelleri vidalarla takılıp çıkarılabilmektedir. Kaynaklı herhangi bir parçası

bulunmamaktadır. Cihazın bu yapısı bakım, onarım ve geliştirme işlemlerinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

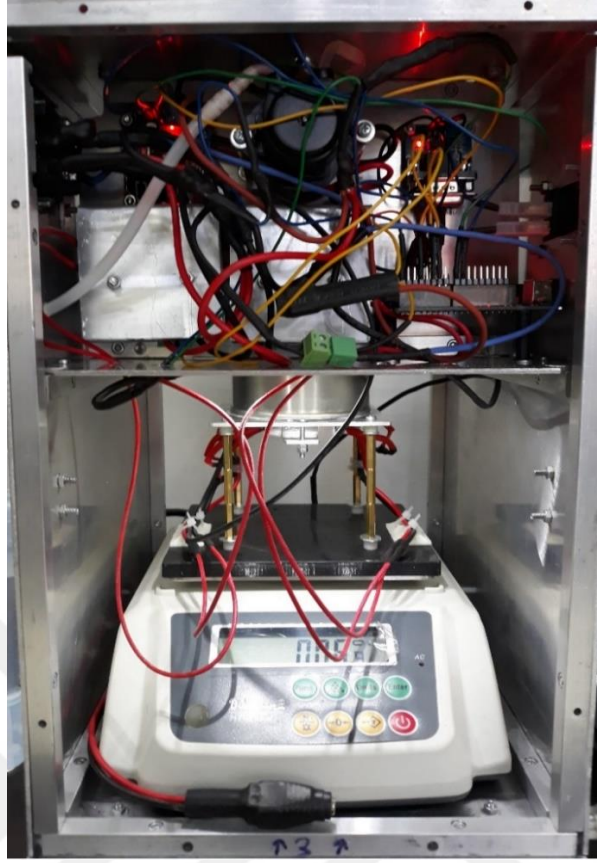
Test aşamasında kayalar cihaz içerisine bir numune kabı ile yerleştirilmektedir. Numune kabının çapı 82 mm, boyu 170 mm ve hacmi 900 ml'dir. Kap 0,2 mm çelik saçtan imal edilmiş olup 94 g ağırlığındadır. Cihazda kullanılacak numune kabının şu özellikleri taşıması gerekmektedir:

- Hafiflik: Cihazın ölçüm sınırını kısıtlamaması için numune kabı mümkün olduğunca hafif olmalıdır. Numune kabının ağırlığı arttıkça ölçülebilecek en fazla kayaç ağırlığı azalmaktadır.
- Sağlamlık: Kap mekanik zorlamalara dayanıklı ve dış etkenlerden en az şekilde etkilenecek şekilde olmalıdır.
- Isı iletimi: Kayacın kurutulması işleminde numune kabı 160 W'lık ısıtıcı ile tabanından ısıtılmaktadır. Enerji verimliliği açısından numune kabının ısı iletimini yüksek olması gerekmektedir.
- Paslanmazlık: Çalışma ortamının nemli ve ıslak olması ve test aşamasında su kullanılması nedeniyle numune kabı paslanmaya karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

Şekil 2.32'de görülen numune kabı yukarıda verilen tüm kıstasları sağlamaktadır.



Şekil 2.30. Yerinde yoğunluk ölçerin dış görünümü



Şekil 2.31. Yerinde yoğunluk ölçerin iç görünümü



Şekil 2.32. Numune kabı

## 2.7.2. Elektronik Devre Şemasının Tasarlanması ve Üretimi

Yerinde yoğunluk ölçer cihazının blok şeması Şekil 2.33’de görülmektedir. Cihaz 12 VDC gerilimle çalışmakta ve en fazla 7 A akım çekmektedir. Bu durumda cihazın en fazla çalışma gücü (2.11) formülü ile hesaplanabilir.

$$P = U.I \quad (2.11)$$

Burada;

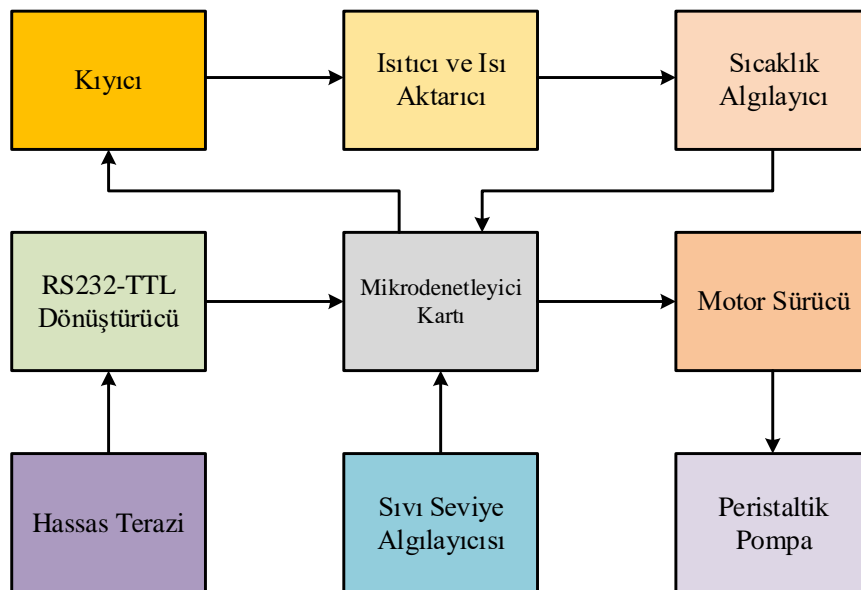
$P$  : gücü

$U$  : gerilimi

$I$  : akımı göstermektedir.

Cihazı oluşturan bileşenleri ve işlevlerini kısaca açıklayalım.

- Mikrodenetleyici: Cihazın tüm kontrol, ölçüm ve haberleşme işlemini gerçekleştirmektedir. Her örnekleme periyodu (2 sn.) içerisinde 1.200 sıcaklık ölçümü, 25 ağırlık ölçümü ve 25 sıvı seviye ölçümü yapmaktadır. Elde ettiği verileri USB portu üzerinde bilgisayara aktarmaktadır. Ayrıca peristaltik pompanın açık/kapalı kontrolünü [23] – [26] ve ısıtıcıların PI denetimi gerçekleştirmektedir [27] – [40].



Şekil 2.33. Yerinde yoğunluk ölçerin blok şeması

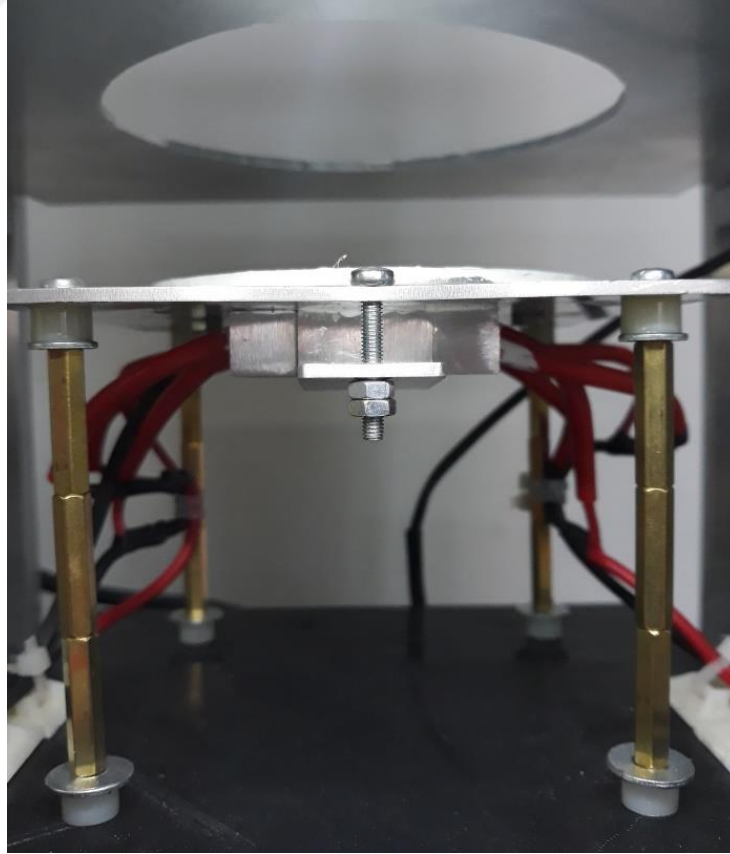
- Hassas Terazî: 1.500 g en fazla ölçüm sınırına, 0,01 g çözünürlüğe ve 0,05 g doğruluğa sahip sayısal bir terazîdir. Saniyede 15 ağırlık ölçümü yapıp RS232 portu üzerinde mikrodenetleyici kartına yollamaktadır.
- RS232-TTL Dönüştürücü: Terazî çıkış RS232 ve mikrodenetleyici kartı girişi TTL olduğu için aradaki haberleşmenin kurulabilmesi için bir dönüştürücü gerekmektedir. RS232-TTL dönüştürücü bir arayüz birimi olup uygun gerilim dönüşümlerini yapmaktadır.
- Sıvı Seviye Algılayıcı: Temelde bir iletkenlik ölçer gibi çalışmaktadır. Sıvı teması olmadığında direnç fazla olduğu için çıkış gerilimi yüksek ve sıvı temasında direnç az olması nedeniyle çıkış gerilimi düşüktür. Seviye algılayıcı, ürettiği analog ölçüm gerilimi mikrodenetleyiciye aktarmaktadır. Böylece denetleyici referans seviyeye ulaşıp, ulaşılmadığını öğrenmektedir.
- Motor Sürücü: Numune kabına su aktaran peristaltik pompanın kontrolünü gerçekleştirmektedir. Motor sürücü motor yönünü ve hızını denetlemekte ve ayrıca fırçalı doğru akım motorunun oluşturduğu gürültünün mikrodenetleyici kartını etkilemesini önlemektedir.
- Peristaltik Pompa: Numune kabına su aktarımı için kullanılmaktadır. 12 VDC gerilim ile 0,25 A akımda çalışmaktadır. Saniyede yaklaşık 2 ml su emmekte ve pompalamaktadır. Motor kutuplarının değiştirilmesi ile su akış yönünün ayarlanmasına ve motor hız kontrolünün yapılmasına imkân vermektedir.
- Kıyıcı: Isıtıcılara aktarılan gücün değerinin ayarlanmasında kullanılmaktadır. Kıyıcı girişine uygulanan darbe genişlik modülasyonlu (PWM, pulse width modulation) kontrol işareti ile çıkış gücü %0 ile %100 arasında 256 farklı kademe ayarlanabilmektedir.
- Isıtıcı ve Isı Aktarıcı: Numune kabını ısıtmak için kullanılmaktadır. 12 VDC gerilimle ve en fazla 160 W güçte çalışmaktadır. Isıtıcının çalışma sıcaklığı en fazla 380 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Gerçekleştirilen deneylerde numune kabının sıcaklığı PI denetimle 150 °C'de sınırlandırılmıştır.
- Sıcaklık Algılayıcı: Metal kılıfı olmayan düşük tepki süreli bir PT100 sıcaklık algılayıcısıdır. Çalışma sıcaklığı -40 °C ile 250 °C olup  $\pm 1$  °C doğruluğa sahiptir. Sıcaklık algılayıcı PI ısı denetiminde kullanılmaktadır.



### 2.7.3. Isıtıcı ve Isı Aktarıcının Üretimi

Numune kabı 12 VDC çalışma gerilimi ve 40 W gücündeki dört adet fişek rezistans ile ısıtılmaktadır. Fişek rezistanslar en fazla 380 °C sıcaklığa kadar bozulmadan çalışabilmektedir. Çalışma esnasında ısıtıcıların bu sıcaklık değerinin geçmemesi sağlanmalıdır. Hem ısı transferi ve hem de rezistansların aşırı ısınmasını engellemek için Şekil 2.18’de görülen ısı aktarıcı tasarlanmış ve üretilmiştir. Isıtıcılar öncelikle 10 mm x 10 mm x 80 mm iki adet alüminyum çubuk içerisine yerleştirilmiş ve birlikte 3 mm kalınlıklı biri kare ve diğeri daire şeklindeki alüminyum levhaya montajlanmıştır. Numune kabı ısı aktarıcının üst yüzündeki kare plakanın üzerine oturmakta ve daire plaka numune kabının tabanına içine girmektedir. Ayrıca en verimli ısı transferinin sağlanması için numune kabının tabanı termal silikonla kaplanmıştır.

Isıtıcı ve ısı aktarıcı doğrudan hassas terazinin kefesine üzerine yerleştirilmiştir. Çalışma esnasında terazinin hasar görmemesi için ısıtma sistemi 8 cm yukarı konumlandırılmış ve arasına 4 mm kalınlıklı PLA plaka yerleştirilmiştir.



Şekil 2.34. Isıtıcı ve ısı aktarıcının genel görünümü

#### 2.7.4. Veri Transferinin Gerçekleştirilmesi ve Cihazın Programlanması

Yerinde yoğunluk ölçer aldığı ölçüm verileri 2 sn. aralıklarla USB portu üzerinden 9600 bps hızında bilgisayara aktarmaktadır. Bilgisayardaki uygulama yazılımı verileri almakta, kaydetmekte ve görselleştirmektedir. Ayrıca yoğunluk ölçer cihazındaki mikrodenetleyici kartının yazılım yüklemesi de USB portu üzerinde gerçekleştirilmektedir. Alınan ölçüm verilerinin grafiklerinin oluşturulmasında MATLAB programı kullanılmıştır.

#### 2.8. Yerinde Yoğunluk Ölçer Cihazının Veri Transferinin İrdelenmesi

Yerinde yoğunluk ölçer cihazı bilgisayara iki saniyede bir ağırlık ve sıcaklık verisini göndermektedir. Numune ağırlığı 1.500 g en fazla ölçüm sınırı, 0.01 g çözünürlüklü ve 0.05 g doğruluğa sahip bir hassas terazi ile ölçülmektedir. Yoğunluk ölçer ortam gürültüleri nedeniyle oluşan hatayı azaltmak ve ölçüm doğruluğunu arttırmak için 0,1 ms aralıklarla 1200 sıcaklık ölçümü almakta ve bunların ortalamasını USB portu üzerinden bilgisayara göndermektedir. Benzer şekilde cihaz, hassas teraziden 25 ağırlık ölçümü almakta ve bunların ortalama değerini bilgisayara yollamaktadır. Tüm bu işlemler iki saniye sürmektedir. Dolayısı ile örnekleme periyodu  $T_{\delta} = 2$  sn. ve örnekleme frekansı  $f_{\delta} = 0,5$  Hz'dir. Tüm bu işlemler sayısal olarak gerçekleştirildiği için veri transferinde hata ve kayıp oluşmamaktadır. Tablo 2.33'de yerinde yoğunluk ölçerin veri transfer özellikleri sunulmuştur.

Tablo 2.33. Yerinde yoğunluk ölçerin veri transfer özellikleri

Parametre	Değeri
Haberleşme Arayüzü	USB
Veri Transfer Periyodu	2 sn.
Veri Transfer Frekansı	0,5 Hz
Veri İçeriği	Ağırlık ve Sıcaklık
Ağırlık Değeri	25 ayrı ölçümün ortalaması
Ağırlık Doğruluğu	0,05 g
Ağırlık Çözünürlüğü	0,01 g
Sıcaklık Değeri	1200 ayrı ölçümün ortalaması
Sıcaklık Doğruluğu	1 °C
Sıcaklık Çözünürlüğü	0,1 °C

## 2.9. Yerinde Yoğunluk Ölçer Cihazı ile Elde Edilen Verilerin Geleneksel Deney Yöntemleri ile Karşılaştırılması

Beş farklı yöntem ve yerinde yoğunluk ölçer cihazı ile elde edilen doygun yoğunluk değerleri Tablo 2.34’de verilmiştir.

Tablo 2.34. Farklı yöntemlerle elde edilmiş kayaç yoğunlukları

Yöntem	Numune				
	Kireçtaşı	Fosilli Kireçtaşı	Volkanik Breş	Andezit	Granit
<b>Silindirik Şekli</b>	2,66	2,25	2,66	2,57	2,63
<b>Arşimet Şekli</b>	2,74	2,25	2,66	2,58	2,65
<b>Arşimet Şekilsiz</b>	2,64	2,43	2,67	2,57	2,60
<b>Mezür Şekli</b>	2,65	2,33	2,64	2,57	2,66
<b>Mezür Şekilsiz</b>	2,67	2,20	2,67	2,55	2,58
<b>Beş Yöntemin Ortalaması</b>	2,67	2,29	2,66	2,57	2,62
<b>Yerinde Yoğunluk Ölçer</b>	2,99	2,66	2,75	2,76	2,71
<b>Fark (%)</b>	10,64	13,83	3,27	6,96	3,17

Tablo 2.34’de görüldüğü üzere 5 farklı yoğunluk deneyi sonuçları ile yerinde yoğunluk ölçer cihazında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Laboratuvar deneylerinde yaşanan araştırmacının bireysel hataları ve yerinde yoğunluk ölçer cihazı ölçümleri esnasında gözlemlenen doğal nemin anlık etkisi ağırlıktaki artıştan okunmaktadır. Ayrıca farklı türdeki kayaçların ısı absorpsiyonunun da farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Laboratuvar deneylerinde numunenin uzun süre boyunca havadan doğal nem alması ve hacim ölçümlerinin cihaz kadar hassas yapılamaması birer dezavantaj oluşturmuştur. Üretilen yoğunluk ölçer ile dezavantajlar ortadan kaldırılmıştır. Bunun yanı sıra cihaz farklı kayaç türlerinde, laboratuvar deneylerine nazaran hatalı sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi kayaç içerisindeki suyun yeterince uzaklaştırılmadığı düşünülmektedir. Bunun için ısıtıcı tasarımı değiştirilerek ve kayaç türüne göre optimum zaman-sıcaklık değerleri elde edilmelidir. Cihaz ile gerçekleştirilen deney sonuçlarına genel olarak bakıldığında kireçtaşı ve fosilli kireçtaşı numuneleri dışındaki ölçümler %5 hata payı altında olduğu gözlemlenmiştir.

### 3. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tezinde kayaçların yerinde yoğunluklarının ölçebilen ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi veren bir cihazın; tasarımı, üretimi, testi ve kontrolü yapılmıştır. Bu tez kapsamında elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen beş farklı yoğunluk deneyini otomasyon halinde getirilerek tek elden yaparak araştırmacıya sunun bir cihaz üretilmiştir.
- Cihaz USB port sayesinde elde ettiği tüm verileri bilgisayara aktarabilmektedir.
- Laboratuvar deneylerinde karşılaşılan zorluklar, numune kayıpları ve araştırmacı-deneysel düzeneği hatalarının sebep olduğu yanlış ölçümleri standartlaştıran bir cihaz üretilmiştir.
- Deneyler sonunda araştırmacının verileri işlemesi için farklı programlarda mesai harcaması yerine cihaz istenilen parametreler doğrultusunda verileri araştırmacıya sayısal ve grafiksel olarak sunmaktadır.
- Araştırmacı hatalarının minimize edildiği, deney numunelerinin ortam neminden etkilenmeden deney yapılabildiği görülmektedir. Ortam neminin kayaç ağırlığına etkisi doğrudan görülerek, kuru ve doymuş yoğunluğa etkisi ortaya konmuştur.
- Kayaç türü değiştikçe numunelerin aldıkları ortam nemi de değiştiği bu sayede gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, bu yüksek lisans çalışmasında farklı tür kayaçların yoğunluklarının doğadan alındıkları an ölçülmesine imkân sağlayan, araştırmacının isteği ve ihtiyacı doğrultusunda belirlediği fiziksel parametrelere uygun grafiklerin çizdiren (zaman-su içeriği, zaman-ağırlık gibi) bir cihazın üretimi başarı ile tamamlanmıştır. Cihazın sağlıklı çalışıp çalışmadığı beş farklı kayaçtan alınan üçer örnekle kalibre edilmiş, bu on beş örneğin beş farklı laboratuvar deneyi yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda görülen, cihazın araştırmacı hatalarına mahal vermeden deney sürecini 24 saatten 4-5 saate kadar düşürülmüştür. Bu sayede üniversitelerin laboratuvar çalışmalarının hızlandırarak ve kolaylaştırarak, sektör ihtiyacını karşılayabilecek portatif bir cihaz üretilmiştir. Bu cihazın çalışma prensipleri göz önüne alındığında kayaçların farklı nem absorpsiyonları ve farklı kayaç türlerine göre farklı soğuma grafikleri gözlenmiştir.

#### 4. ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezinde, karot numunelerinin kuru ağırlığı ( $W_{kuru}$ ), doğal ağırlığı ( $W_{doğal}$ ), doygun ağırlığı ( $W_{doygun}$ ), hacmi ( $V$ ), kuru yoğunluğu ( $d_{kuru}$ ), doğal yoğunluğu ( $d_{doğal}$ ) ve doygun yoğunluğu ( $d_{doygun}$ ) otomatik olarak bulan bir yerinde yoğunluk ölçer cihazının tasarımı, üretimi ve testi yapılmıştır. Bu alanda çalışan araştırmacılara yol göstermek ve elde edilen sonuçları daha da ileri taşımak amacıyla sıcaklık denetimine yönelik başlıca öneriler şunlardır:

- Bu tezde, yerinde yoğunluk ölçer cihazının üretimi tamamen temel el aletleri kullanılarak yapılmıştır. Bu durum cihazın mekanik parçalarının boyutlarında milimetrik farklılıklara yol açmıştır. Cihazın üretiminde bilgisayarlı numerik kontrol makinesi kullanımı ile mekanik parçaların en az hata ile üretimi gerçekleştirilebilir.
- Ölçüm cihazında su yüksekliği yalnızca referans değerinde iletkenlik ölçümü ile belirlenmektedir. İletkenlik ölçümü yapan probların zamanla oksitlenmesi alınan değerlerin değişmesine yol açmaktadır. Ayrıca tek bir noktada ölçüm alınması kayacın zamanla su emme eğrisinin çıkarılmasına imkân vermemektedir. Su seviyesinin bir prob ile ölçülmesi yerine 1 mm'nin altında doğruluğa ve çözünürlüğe sahip ultrasonik, kızılötesi veya lazer bir mesafe ölçer ile gerçekleştirilmesi durumunda kayacın numunelerin anlık su emme değerleri ve zaman bağlı su çekme eğrileri elde edilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Emir, E., Kaya Mekaniği Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 2014.
2. Esenli, V., Kırmataş Hammaddeleri ve Standartları, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Ekim 1996, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 1–18.
3. Yılmaz A, Saltan, M. ve Akıllı, M., Göller Yöresinde İşletilen Kireçtaşı Agregalarının Yol İnşaatı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18,3 (2012) 199–207.
4. Bohloli, B., Effect of the Geological Parameters on Rock Blasting using the Hopkinson Split Bar, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 34 (1997) 32–36.
5. Kekeç, B. ve Gökay, M. K., Farklı Kayaçlar Üzerinde Oluşturulan Yapay Titreşim Dalga Hareketlerinin İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (2010) 67–75.
6. Karaman, K., Erçikdi, B., Cihangir, F. ve Kesimal, A., Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Sertlik Tayini Seçerlendirme Yöntemlerinin İncelenmesi, 22. Dünya Madencilik Kongresi, Mart 2011, Ankara, Bildiriler Kitabı: 87–94.
7. Karaman, K. ve Kesimal, A., A Comparative Study of Schmidt Hammer Test Methods for Estimating the Uniaxial Compressive Strength of Rocks, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74 (2015) 507–520.
8. Deere, D. V. ve Miller, R. L., Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock, Department of Civil Engineering, (1996) 90–101.
9. Sanır, F., Coğrafya Terimler Sözlüğü, Gazi Kitabevi, Ankara, 2000.
10. Yiğitbaşıoğlu, H., Sür, A. ve Sür, M., Mineraller ve Kayaçlar, Bilim Yayınları, Ankara, 2009.
11. Çetin, C., Taş Malzeme Bilgisi ve Bozunmalar Ders Notları, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2019.
12. Öcal, A. D. ve Dal, M., Doğal Taşlardaki Bozunmalar, Kırıkkale Üniversitesi, Kırklareli, 2012.
13. Ocakoğlu, F., Genel Jeoloji Ders Notları, Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir, 2014.

14. Öztürk, C. A. ve Nasuf, E., Kayaç Dokusal Özelliklerinin Sınıflandırılması ve Kaya Mühendisliği Uygulamaları, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
15. A.S.T.M., Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens, Pennsylvania, 1984.
16. Ersoy, H. ve Kanik, D., Multicriteria Decision-making Analysis Based Methodology for Predicting Carbonate Rocks Uniaxial Compressive Strength, Earth Science Research Journal, 16,1 (2012) 65–74.
17. Babacan, A. E., Ersoy, H. ve Gelişli, K., Kayaçların Fiziksel Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi Üzerinde Örnek Bir Çalışma, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 36,1 (2012) 63–73.
18. Yılmaz, Ş. S., Mineroloji-Petrografi Magmatik Petrografi, Jeofizik Mühendisliği Ders Notları, İstanbul Üniversitesi, 2019.
19. Goodman, R. E., Introduction of Rock Mechanics, Second Edition, New York, Willey, 1989.
20. Büyüksağış, S. ve Gürçan, S., ASTM ve TSE Doğal Taş Standartlarının Karşılaştırılması, Madencilik, 44,1 (2015) 33–34.
21. Vanapoli, S. K., Garga, V. K. ve Brisson, P., A Modified Permeameter for Determination of Unsaturated Coefficient of Permeability, Geotechnical and Geological Engineering, 25,2 (2006) 191–202.
22. Ocak, İ., Tek Eksenli Basınç Dayanımı Kullanarak Kaya Malzemesinin Elastisite Modülünün Tahmini, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 21,2 (2008) 91–97.
23. Ziegler, J. G., ve Nichols, N. B., Process Lags in Automatic Control Circuits, Transactions of ASME, 65,5 (1943) 433-443.
24. Sutcliffe, H., The Principle of Reversed Lag Applied to On-Off Temperature Control, Electronic and Communication Engineering, 107, 32 (1960), 209-215.
25. Ding, Y., Ying, H., ve Shao, S. A Time-Varying Fuzzy On-Off Control System with Application to the Control of Tissue Temperature During Laser Heating, The Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Mayıs 2000, San Antonio, Bildiriler Kitabı I: 528-533.
26. Zhang, C., Yang, F., Yan, Y., ve Huang, Y., The Design of the Proportional/Proportional-Integral  $H_{\infty}$  Performance Observer for the Boiler Steam Temperature Control, The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation, Haziran 2006, Dalian, Bildiriler Kitabı II: 6621-6625.

27. Moon, U. C., ve Lee, K. Y., Hybrid Algorithm with Auzzy System and Conventional PI Control for the Temperature Control of TV Glass Furnace, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 11,4 (2003) 548-554.
28. Náhlovský, T. A, Comparison Study of Fuzzy and PI Control System for Temperature Control of Superheated Steam, 20th International Conference on Process Control, Haziran 2015, Strbske Pleso, Bildiriler Kitabı: 181-185.
29. Lu, S., Wang, X., Yu, H., ve Dong, H., Application of Fuzzy-PI Composite Control in Temperature Control of Decomposing Furnace, In World Automation Congress, Haziran 2012, Puerto Vallarta, Bildiriler Kitabı: 1-3.
30. Moon, U. C., ve Lee, K. Y., Temperature Control of Glass Melting Furnace with Fuzzy Logic and Conventional PI Control, In American Control Conference, Haziran 2000, Chicago, Bildiriler Kitabı IV: 2720-2724.
31. Tajjudin, M., Ishak, N., Rahiman, M. H. F., Arshad, M., ve Adnan, R., Evaluation of PI vs Fractional-Order PI Controller for Steam Temperature Control, In Control System Computing and Engineering, Kasım 2014, Batu Ferringhi, Bildiriler Kitabı: 512-517.
32. Yusuf, Z., Janin, Z., ve Taib, M. N., Application of Fuzzy PD Controller with Smith Predictor for Glycerin Bleaching Temperature Control, In Intelligent and Advanced Systems, Haziran 2010, Manila, Bildiriler Kitabı: 1-5.
33. Dong, Z., Output Feedback PD Power-Level Control for Modular High Temperature Gas-Cooled Reactors, In Control and Decision Conference, Mayıs 2014, Pekin, Bildiriler Kitabı: 4811-4816.
34. Muhammad, Z., Yusoff, Z. M., Nordin, M. N. N., Rahiman, M. H. F., ve Taib, M. N. Implementation of Real-Time Steam Temperature Control for High Efficient Induction-Based Extraction Essential oil using Hybrid Fuzzy-PD Plus PID Controller, In Control and System Graduate Research Colloquium, Temmuz 2012, Shah Alam, Bildiriler Kitabı: 282-287.
35. Threesinghawong, N., Sanposh, P., Chinthaned, N., ve Srinophakun, P., Temperature Control of Koji Process by Using Fuzzy PD Controller, In Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and International Conference on Information Technology, Mayıs 2008, Krabi, Bildiriler Kitabı II: 669-672
36. Grassi, E., ve Tsakalis, K., PID Controller Tuning by Frequency Loop-Shaping Application to Diffusion Furnace Temperature Control, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 8,5 (2000) 842-847.
37. Wang, H., ve Yu, Y., Dynamic Modeling of PID Temperature Controller in a Tunable Laser Module and Wavelength Transients of the Controlled Laser, IEEE Journal of Quantum Electronics, 48,11 (2012) 1424-1431.



38. Mimura, K. ve Shiotsuki, T., Temperature Control of Deionized Water Heater by Combination of PID Control and Modern Control Theory, 4th IEEE International Conference on Mechatronics, Mayıs 2007, Changchun, Bildiriler Kitabı: 1-5.
39. Hong, L., ve Jinhua, X., Research of Hybrid Fuzzy-PID Control Technology Based on the Temperature and Humidity Control, International Symposium on Computational Intelligence and Design, Ekim 2008, Wuhan, Bildiriler Kitabı: 190-193.
40. Chen, J. X., ve Li, W., Application of Fuzzy Control PID Algorithm in Temperature Controlling Systems. International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kasım 2003, Xian, Bildiriler Kitabı IV: 2601-2604



## ÖZGEÇMİŞ

12.07.1990 tarihinde Trabzon'da doğdu. Lise öğrenimini Yunus Emre Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2014 yılında bu bölümden Maden Mühendisi unvanıyla mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. "Metal Nanopartikül Katkılı Grafen Esaslı Biyouyumlu Aktuator Sentezi" alanında çalışmış, "Elektroforetik Kaplama" konulu Yüksek Lisans eğitimini yarıda bırakarak, 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Aynı yıl içerisinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi'nde, Üniversite Sanayi İşbirliği Uzmanı olarak çalışmaya başlamıştır. Devam etmekte olan yüksek lisans eğitimi süresince; polimer eyleyiciler, püskürtme polimer esaslı membran uygulamaları, maden makineleri ve tahkimat elemanları tasarımı üzerinde çalışmalar yapmıştır. Yüksek lisan eğitimi süresince, Uzman olarak çalıştığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisinden ayrılarak, TÜBİTAK 1512 Bireysel Genç Girişimci programında başarılı olmuş, 2018 yılında NOVATEK Savunma Sistemleri San. Tic. Ltd. Şti. isimli ilk şirketini kurmuştur. Akademik çalışmalarına ve girişimcilik hayatına devam etmekte olup, orta derecede İngilizce bilmektedir.

### **Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler**

1. Kafdelen, H., İtik, M., Çakır, A.O., Sancak, C., "Ag nanoparticle dope reduced graphene oxide-based electroactive biopolymer actuators", METECH2015, İstanbul, 2015.
2. Kömürlü, E., Çakır, A.O., Spraying Membrane Interlayer Effect on Load Bearing performance of Concrete Liners, EUROCK2016, Kapadokya, 2016.
3. Arslan, M., İmamoğlu, K., Alver, Ü., Çakır, A.O., "Effect of Polyurea Coating on Mechanical Properties Composite Materials", 5. International Ege Composite Materials Symposium, İzmir 2018.

4. akır, A. O., Karaman, K., Yılmaz, A. O., “Farklı Yöntemlerle Kayaç Yoğunluğunun Değerlendirilmesi”, 12. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Trabzon 2018.

