



T.C.

NİĞDE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

SICAKLIĞIN YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN KAYAÇLAR  
ÜZERİNE ETKİSİ

MEHMET ALTUĞ

AĞustos 2012



T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

SICAKLIĞIN YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN  
KAYAÇLAR ÜZERİNE ETKİSİ

MEHMET ALTUĞ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN

Ağustos 2012

**Mehmet ALTUĞ** tarafından **Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN** danışmanlığında hazırlanan “**Sıcaklığın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaçlar Üzerine Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN (Niğde Üniversitesi)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat ÇİFTLİKLİ (Niğde Üniversitesi)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail DİNÇER (Nevşehir Üniversitesi)

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../...../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Osman SİVRİKAYA**

**MÜDÜR**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

 (İmza)  
(Mehmet ALTUĞ)

## ÖZET

### SICAKLIĞIN YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN KAYAÇLAR ÜZERİNE ETKİSİ

ALTUĞ Mehmet

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN

Ağustos 2012, 73 sayfa

Günümüz teknolojisinde Türkiye’de ve tüm dünyada kayaçların en geniş kullanım alanını inşaat sektörü oluşturmaktadır. Sektörün ihtiyacını karşılayan farklı köken ve yapıda birçok kayaç bulunmaktadır. Ancak kullanılan kayaç türlerinin yapısal özellikleri dikkate alınmamaktadır. Oysaki kayaçların yapısal özelliklerinden biri olan sıcaklığa karşı dayanımları büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada Türkiye’nin farklı illerinden (Kayseri, Nevşehir, Konya, Kırşehir ve Erzurum) alınan ve yaygın olarak yapı taşı olarak kullanılan veya muhtemel olarak kullanılabilecek ignimbirit, granit ve traverten kaya türlerinden farklı renk ve dokuda örnekler alınmıştır. Bu çalışmada farklı orijinlere sahip doğal taş türlerinin yangın gibi yüksek sıcaklık ortamlarına maruz kaldıklarında, karakteristik yapılarındaki değişimler analiz edilmiştir. Sıcaklık etkisinde doğal taşların fiziko-mekanik değişimi, parametrik olarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında araziden alınan örnekler üzerinde kimyasal analizler, petrografik incelemeler ve bu örneklerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı sonucunda ignimbiritler 800 °C’ye kadar, travertenler 700 °C’ye kadar, Kırşehir graniti 800 °C’ye kadar ve Erzurum-İspir graniti ise 1000 °C’ye kadar dayanabildiği görülmüştür.

*Anahtar Sözcükler:* Yüksek sıcaklık, yangın, doğal taş

## SUMMARY

### EFFECT OF TEMPERATURE ON THE ROCKS USED AS CONSTRUCTION MATERIAL

ALTUĞ Mehmet

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor : Assistant Professor Dr. Osman GÜNAYDIN

August 2012, 73 pages

Construction sector constitutes the most extensive use of field of rocks in Turkey and all over the world at today's technology. There are many rocks with different origin and structure meeting the needs of the sector. However, the structural properties of the rocks used are not considered. Whereas, the resistance of rocks to temperature which is one of the structural properties of them is important. In this study, different rock types such as ignimbrite, granite and travertine with different color and textures which are used and probably can be used as construction material were sampled from different cities of Turkey (Kayseri, Nevsehir, Konya, Kırşehir and Erzurum). In this study, the variances in the characteristic structures of different originated rocks when they were exposed to high temperature were tried to be determined parametrically. Within the context of this study, chemical analysis petrographical investigations and experimental studies to determine their engineering properties were performed. According to the uniaxial compressive test results ignimbrites, travertines, Kırşehir granite and Erzurum-İspir granite can resist until 800, 700, 800 and 1000 °C, respectively.

*Keywords:* High temperature, fire, natural stone

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada yapı sektöründe doğal yapı taşı olarak kullanılan farklı özellikteki kayaların yüksek sıcaklıklardan nasıl etkilendikleri açıklanmaya çalışılmıştır. Doğal taşlar tarih öncesi çağlardan beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Doğal taşın sert hava koşullarına dayanıklı olması, taşıyıcı gücünün fazla olması ve doğada bol miktarda bulunması yüzyıllar boyunca mimarinin en soylu malzemesi olarak kullanılmasının sağlamıştır. Günümüzde de yapıların döşeme ve kaplamalarında genellikle granit, mermer, traverten, tüf, andezit, bazalt, gibi doğal taş ürünleri kullanılmaktadır. Doğal taşların bunların dışında kullanım alanları binaların iç ve dış mekânları, çevre düzenlemeleri, yaya yolu ve kaldırımlarıdır. Sektörün ihtiyacını karşılayan birçok farklı kökenli ve farklı yapıda kayalar bulunmaktadır. Ancak kullanılan kayaç türlerinin yapısal özellikleri dikkate alınmamaktadır. Oysaki kayaçların yapısal özelliklerinden biri olan sıcaklığa karşı dayanımları büyük önem arz etmektedir. Sıcaklık karşısında gösterdikleri yapısal bozulmalar, kullanım sırasında herhangi bir sıcaklığa maruz kaldığında veya yangın esnasında, nasıl davranacakları konusunda önceden bilgi vermektedir. Bu çalışma yangın sonucunda doğal yapı taşlarında meydana gelebilecek değişimlerin tahmini konusunda önem arz etmektedir.

Bu çalışmamın her aşamasında çalışmalarımı yönlendiren, değerli bilgi ve önerilerinden yararlandığım sayın hocam Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN' a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarına katkılarından dolayı Arş. Gör. Ali BOZDAĞ, Arş. Gör. İsmail İNCE' ye ve tüm hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği veren sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xiv
BÖLÜM I. GİRİŞ .....	1
1.1Yapı Malzemesi Olarak Doğal Taşların Kullanılması.....	2
1.2 Doğal Taşların Üretim Durumu.....	3
1.3 Dekorasyon Amaçlı Doğal Taşların Kullanım Alanları ve Çeşitleri.....	4
1.4 Yapılarda Kullanılan Taşların Bozulma Nedenleri .....	5
1.5 Malzemelerde Yüksek Sıcaklık Etkisi .....	6
1.6 Farklı Kaya Türleri İçin Puanlamaya Dayalı Bozunma Sınıflamaları.....	8
BÖLÜM II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	15
2.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	16
BÖLÜM III. MATERYAL ve METOT .....	17
3.1 Arazi Çalışmaları .....	17
3.1.1 Schmidt çekici ile sertlik belirleme .....	18
3.1.2 Petrografik örnekleme .....	19
3.2 Laboratuvar Çalışmaları.....	19
3.2.1 Numune hazırlama .....	20
3.2.1.1 Jeomekanik deneyler için numune hazırlama .....	20
3.2.1.2 Kimyasal analiz için numune hazırlama .....	22
3.2.2 Numune hazırlama .....	22
3.2.2.1 Temel fiziksel özellikler .....	22

3.2.2.1.1 Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneyleri.....	23
3.2.2.1.2 Kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık deneyleri .....	24
3.2.2.1.3 Görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini.....	25
3.2.2.1.4 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri.....	26
3.2.2.1.5 Su içeriği tayini.....	26
3.2.2.1.6 Sonik hız deneyi ile dinamik elastisite modülünün belirlenmesi .....	27
3.2.2.2 Dayanım özellikleri.....	29
3.2.2.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı.....	29
3.2.3 Yangının olayının laboratuarda simülasyonu.....	31
3.3 Büro Çalışmaları .....	32
BÖLÜM IV. BULGULAR ve TARTIŞMALAR.....	33
4.1 Örneklerin Tanımı ve Özellikleri.....	33
4.2 İncelenen Örneklerin Kimyasal Özellikleri .....	34
4.3 İncelenen Örneklerin Jeomekanik Özellikleri .....	34
4.3.1 Kuru birim ağırlık.....	35
4.3.2 Doygun birim ağırlık .....	36
4.3.3 Su emme.....	37
4.3.4 Porozite .....	38
4.3.5 P- Dalga hızı.....	39
4.3.6 Schmidt çekici sertlik indeksi.....	40
4.3.7 Tek eksenli basınç dayanımı .....	42
4.4 İncelenen Örneklerin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları.....	43
4.4.1 Örneklerin ultrasonik hız değişimleri .....	43
4.4.2 Örneklerin dayanım özelliklerindeki değişimler .....	51
4.4.3 Örneklerin renk değişimleri .....	58
4.5 İncelenen Örneklerin Bozunma Derecelerinin Belirlenmesi .....	61

BÖLÜM V. SONUÇLAR.....	65
KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	71
ÖZ GEÇMİŞ .....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Malzemelerin yanabilirlik sınıflamaları.....	8
Çizelge 1.2 Bozunma indeksine göre sınıflama sistemi.....	9
Çizelge 1.3.a Tüm kaya malzemesi türleri için önerilen puanlama sistemi.....	10
Çizelge 1.3.b Magmatik kayalardaki süreksizlikler ile diğer kayalardaki artık (kalıntı) süreksizlikler için önerilen puanlama sistemi.....	10
Çizelge 1.3.c Sedimanter (kireçtaşları dahil) ve metamorfik kayaların eklem yüzeyleri için önerilmiş puanlama sistemi.....	11
Çizelge 1.4 Birleştirilmiş alterasyon indeksini (UAI) esas alan alterasyon sınıflaması sistemi.....	12
Çizelge 1.5 Bozunma katsayısına ( $W_c$ ) göre eklem yüzeyleri için önerilmiş bozunma sınıflaması.....	13
Çizelge 1.6 Asidik volkanik kaya malzemeleri için önerilmiş puanlamaya dayalı bozunma sınıflaması sistemi.....	14
Çizelge 3.1 Tek eksenli sıkışma deneyi kabul edilebilir örnek boyutları.....	30
Çizelge 4.1 İncelenen örneklerin lokasyon tanımı ve kayaç özellikleri.....	33
Çizelge 4.2 İncelenen örneklerin kimyasal analiz sonuçları.....	34
Çizelge 4.3 İncelenen örneklere ait kuru birim ağırlık değerleri.....	35
Çizelge 4.4 İncelenen örneklere ait doygun birim ağırlık değerleri.....	36
Çizelge 4.5 İncelenen örneklere ait ağırlıkça su emme değerleri.....	38
Çizelge 4.6 İncelenen örneklere ait efektif porozite değerleri.....	39
Çizelge 4.7 İncelenen örneklere ait P-dalga hızı değerler.....	40
Çizelge 4.8 İncelenen örneklere ait Schmidt çekici sertliği değerleri.....	41
Çizelge 4.9 İncelenen örneklere ait tek eksenli basınç dayanımı değerleri.....	42
Çizelge 4.10 Havada soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama ultrasonik hız değerleri.....	45
Çizelge 4.11 Suda soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama ultrasonik hız değerleri.....	46
Çizelge 4.12 Havada soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama ultrasonik hız değerlerindeki yüzde değişimler.....	47
Çizelge 4.13 Suda soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama ultrasonik hız değerlerindeki yüzde değişimler.....	48

Çizelge 4.14 Havada soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası tek eksenli basınç dayanım değerleri.....	52
Çizelge 4.15 Suda soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası tek eksenli basınç dayanım değerleri.....	53
Çizelge 4.16 Havada soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama tek eksenli basınç dayanım değerlerindeki yüzde değişimler.....	54
Çizelge 4.17 Suda soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama tek eksenli basınç dayanım değerlerindeki yüzde değişimler.....	55
Çizelge 4.18 Havada soğuyan örneklerin birleştirilmiş alterasyon indeksi bozunma sınıfları.....	63
Çizelge 4.19 Suda soğuyan örneklerin birleştirilmiş alterasyon indeksi bozunma sınıfları.....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Numune alınan yerleri gösterir harita.....	17
Şekil 3.2 a) Schmidt çekicinin kesit görünümü, b) Schmidt çekicinin genel görünümü c) Schmidt çekici ile sertlik belirleme deneyi yapılışı.....	18
Şekil 3.3 Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki.....	19
Şekil 3.4.a Karot alma makinesi.....	21
Şekil 3.4.b Araziden alınan blok örnek.....	21
Şekil 3.4.c Blok örneğin karot alındıktan sonraki görüntüsü.....	21
Şekil 3.4.d Alınan değişik karot örnekleri.....	21
Şekil 3.4.e Karot kesme makinasının görüntüsü ve karot kesme işleminden bir görünüm.....	21
Şekil 3.4.f Karot düzeltme işleminden bir görünüm.....	21
Şekil 3.4.g Alt ve üst yüzeyleri kesilmiş ve düzeltilmiş deney numuneleri.....	21
Şekil 3.4.h Deneye hazır hale gelen numunelerin numaralandırılmış görüntüsü.....	21
Şekil 3.5 Kimyasal analiz için hazırlanan numunelerin görüntüsü.....	22
Şekil 3.6 a) Karot örneğin boyunu (L) ve çapının (D) ölçümü, b) Numunelerin kütlesinin 0.01 gr hassasiyetli teraziyle tartımı, c) Numunelerin etüvde kurutulması .....	23
Şekil 3.7 a) Sonik hız cihazının aparatları, b) Sonik hız cihazının kalibre edilmesi, c) Sonik hız deneyinin yapılışı.....	29
Şekil 3.8 Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin yapılışı.....	30
Şekil 3.9 a) Kül fırınının görüntüsü, b) Isıtılan örneklerin kül fırında soğutulması, c) Isıtılan örneklerin suda soğutulması.....	32
Şekil 4.1 Havada soğuyan örneklerin sıcaklık artışına bağlı ultrasonik dalga hızlarındaki değişim yüzdeleri .....	49
Şekil 4.2 Suda soğuyan örneklerin sıcaklık artışına bağlı ultrasonik dalga hızlarındaki değişim yüzdeleri.....	49
Şekil 4.3 Havada soğuyan örneklerin sıcaklık artışına bağlı numunelerin tek eksenli basınç dayanımlarındaki değişim yüzdeleri. ....	56
Şekil 4.4 Suda soğuyan örneklerin sıcaklık artışına bağlı numunelerin tek eksenli basınç dayanımlarındaki değişim yüzdeleri.....	56
Şekil 4.5 Farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış örneklerin durumu.....	57

Şekil 4.6 Sıcaklık artışına bağlı renk değişimi.....	59
Şekil 4.7 Sıcaklık artışına bağlı renk değişimi.....	60

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$W_c$	Bozunma indeksi
$\sigma_c$	Taze (bozunmamış) kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı
$K_c$	Birleştirilmiş alterasyon indeksi
$K_v$	P-dalgası hızına göre alterasyon derecesi
$K_{\sigma c}$	Tek eksenli sıkışma dayanımı değerine göre alterasyon derecesi
$K_a$	Ağırlıkça suya göre alterasyon derecesi
$K_c$	Modifiye edilmiş birleştirilmiş alterasyon indeksi
$C_{pa}$	Altere olmuş kayaca ait P-dalgası hızı
$C_{pi}$	Taze (bozunmamış) kayaca ait P-dalgası hızı
$\sigma_{ca}$	Altere olmuş kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı
$\sigma_{ci}$	Taze kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı
$R_f$	Bozunmamış yüzeyin schmidt çekici geri sıçrama değeri
$R_w$	Süreksizlik yüzeyinin schmidt çekici geri sıçrama değeri
MPa	Megapaskal
$\sigma_t$	Çekilme dayanımı
BPI	Disk makaslama dayanım indeksi
n	Porozite
$M_k$	Numunenin kuru kütlesi
$\rho_k$	Kuru yoğunluk
$\gamma_d$	Kuru birim hacim ağırlık
$V_v$	Boşlukların hacmi
V	Numune hacmi
$\rho_w$	Suyun yoğunluğu
$M_s$	Numunenin doygun kütlesi
e	Boşluk oranı
$A_w$	Ağırlıkça su emme
$H_w$	Hacimce su emme
W	Su muhtevası
D	Karot çapı

L	Karot uzunluğu
F	Örnek üzerine uygulanan yük
A	Silindirik örneğin kesit alanı
$V_p$	P dalgası yayılma hızı
$E_d$	Elastisite modülü
$T_p$	P dalgasının ölçülen yayılma zamanı
°C	Derece
$n_e$	Efektif porozite
IAU	Birleştirilmiş alterasyon indeksi
JCS	Süreksizlik yüzeyinin dayanımı
RMR	Kaya kütlesi puanı

#### **Kısaltmalar**

ISRM

ASTM

TSE

NBG

#### **Açıklama**

Uluslararası kaya mekaniği derneği

Amerikan test ve materyal kurumu

Türk standartları

Norveç kaya mekaniği grubu

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Doğal taşlar, insanlar tarafından bilinen ve kullanılan en eski inşaat malzemelerinden birisidir. İnsanlar kil ve ahşaptan yapılmış yerlerde ikamet ederlerken bile, çeşitli anıtsal yapılarında doğal taşları kullanmışlardır. 20. yüzyıla kadar Avrupa'da önemli ve büyük binalarda tuğla yerine kesme taşlar kullanılmaktaydı. Anadolu topraklarında da özellikle Eski Yunan, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde doğal taştan yapılmış sayısız eser bulunmaktadır.

Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde kireçtaşı ve tüfler büyük bir ustalıkla işlenerek cami, medrese ve han gibi binaların dış ve iç mekânlarını süslemiştir. Cumhuriyet döneminde de Ankara ve İstanbul gibi büyük şehirlerde büyük binaların doğal taşlar ile yapılmasıyla taş işçiliğinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Daha sonraki yıllarda ise teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni yapı malzemelerinin kullanılmaya başlanması sonucunda taş işçiliği uzun yıllar ikinci planda kalmış ve zamanla kaybolmaya yüz tutmuştur. Özellikle betonun ön plana geçmesi ve ucuz yapılara öncelik verilmesi doğal taş kullanımını azaltmıştır. Doğal taş işçiliğinde eski günlere dönmek çok zor olsa da son yıllarda, homojenlikten bıkan, zevk ve desene önem veren insanların, eskiye olan özlemleri ve antik görünüm istekleri, taş işçiliğini yeniden canlandırmaya başlamış ve doğal taşların kullanım alanları giderek genişlemiştir.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak doğal taşları kesen ve işleyen makinelerin üretilmesi ile her türlü doğal taş kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle binaların dış yüzeyleri ve çevre düzenlemelerinde ebatlı ve şekilsiz taşların yanı sıra yaya yolu ve kaldırımlarda da doğal taşlar başarı ile kullanılmaktadır. Ayrıca, doğal yapı taşları eski evlerin yenilenmesi amacıyla cami, katedral, kale gibi tarihi yapılara yeniden hayat kazandırmak yanında büyük kent merkezlerinin halka açık umumi yerlerinin düzenlenmesinde de kullanılmaktadır.

## 1.1 Yapı Malzemesi Olarak Doğal Taşların Kullanılması

Ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan ya da yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri (malzeme özellikleri) kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) ticari dilde "mermer" olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da mermer olarak isimlendirilmektedir. Ticari tanımlamada mermer sözcüğü taş türünü belirtmediği için bu eksikliği gidermek amacıyla taş adının sonuna "mermer" takısı eklenerek litolojik farklılık vurgulanmaya çalışılmaktadır (Çelik, 2003).

Yapılarda genellikle yüzeyleri düzelterek parlatılmış doğal taş ürünleri kullanılmaktadır (örneğin mermer, granit gibi). Özel işlemlerle yüzeyi pürüzlü hale getirilmiş ve parlatılmadan kullanılan cephe kaplaması ve döşeme uygulamaları da son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Yapıların düşey yüzeylerinde (iç ve dış), taban döşemesinde, merdiven basamaklarında ve dekoratif amaçlı gerçekleştirilen her türlü kaplamalarda kullanılan taşlar ticari alanda "mermer" adıyla anılmaktadır (Çelik, 2003).

Yol ve kaldırım döşemesi, bordur taşı, duvar ve dayanma yapısı malzemesi, çatı örtüsü, kıyı tahkimatı, dalgakıran ve baraj inşaatı, agrega üretimi gibi geniş bir alanda kullanılan doğal taşlar için de "yapı taşı" terimi kullanılmaktadır.

Doğal taş sektörü kapsamı içinde ise yalnızca peyzaj amaçlı kullanılanlar "yapı taşı" olarak kabul edilmektedir. Bunlar granit, siyenit gibi plutonitler, bazalt, andezit gibi volkanitler olabileceği gibi traverten, tüfit ve kumtaşları gibi sedimanter kayalar da olabilir. Bazı durumlarda ise doğal süreksizlikleri boyunca plaka şeklinde ayrılan gnayslar, şistleşmiş kumtaşları ve arduvazlar gibi metamorfikler de peyzaj amacıyla yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Ürün ebat ve özellikleri kullanım alanlarına göre farklılıklar göstermektedir (Çelik, 2003; Çelik ve Kavuşan, 2001).

Peyzaj amacıyla kullanılan "yapı taşları" üretildiği yerlerde basit aletlerle süreksizlik yüzeyleri boyunca ayrılmaktadır. Serbest hale gelenlerin uygun ebatlı olanları seçilmektedir. Seçme işleminde plaka şeklinde olanlar ve şekilsiz olanlar ayrı ayrı istiflenmektedir. Bu taşlar ebat ve şekillerine göre, yapıların temel ve duvarlarında,

bahçe ve istinat yapılarında, bordur taşı üretiminde, yol, kaldırım ve duvar kaplamasında, çatı örtüsünde ve kent mobilyaları üretiminde kullanılmaktadır.

## 1.2 Doğal Taşların Üretim Durumu

Mermer ve doğal taş ocağı işletmeciliği bir tür madencilik faaliyeti olup çoğunlukla açık ocak olarak işletilmektedir. Ancak diğer maden işletme yöntemlerine göre bazı farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle mermer ve doğal taş ocağı işletmeleri "özel koşulları olan açık işletmeler" sınıfı içerisinde değerlendirilmektedir (Saltoğlu, 1992).

Taş ocaklarından değişik amaçlarla taşlar çıkarılmakta ve farklı endüstrilerde kullanılmaktadır. Kullanım amacına göre doğal taş ocaklarının işletilmesi için değişik ve işin amacına uygun çok sayıda işletme metodu geliştirilmiştir. Mermer ve doğal taş ocaklarının de kendi içerisinde üretim yöntemleri, üretim amacına göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklara göre açılan doğal taş ocakları 3 gruba ayrılabilir:

- a. Blok almak için açılan mermer ocakları,
- b. Kırma taş elde etmek için açılan taş ocakları,
- c. Yapı taşı elde etmek için açılan taş ocaklarıdır.

Türkiye'de bilinen belli başlı doğal taş üretim merkezleri şunlardır: (Çelik, 2003)

Bazalt	İzmir, Diyarbakır, Uşak, Gediz, Muş, Bitlis, İskenderun, Boyabat, Eskişehir, Van.
Andezit	Ankara, Çankırı, Afyon, Uşak, Dikili.
Granit	Gebze, Çanakkale, Güllük, Kırşehir.
Kumtaşı	Afyon, Bolu, Eskişehir, Ankara.
Kireçtaşı	Eskişehir.
Tüf	Nevşehir, Çanakkale, Gümüşhane.
Sleyt	Muğla.
Mermer	Afyon, Muğla, Uşak, Elazığ, Eskişehir, Kütahya, Balıkesir.

Bunların dışında kırsal kesimde inşaat işlerinde şekilsiz ve ebatlandırılmamış kireçtaşları ve tüfler hemen her bölgede lokal olarak üretilmekte temel, duvar gibi alanlarda kullanılmaktadır.

### **1.3 Dekorasyon Amaçlı Doğal Taşların Kullanım Alanları ve Çeşitleri**

Doğal taşları kullanım amacına göre kesin sınırlar ile birbirinden ayıran bir sınıflandırma yapmak çok zordur. Çünkü bu gruptaki birçok doğal taş, çok amaçlı olarak, farklı ve benzer alanlarda kullanılmaktadır. Dekoratif amaçlı kullanılan birçok doğal taş özel olarak bu amaç için üretilmezler. Mermer ve taş ocaklarında oluşan artık maddelerin (moloz) bazıları dekoratif yapı taşı olarak değerlendirilmektedir. Doğal taşların bir kısmı yapısal amaçlara hizmet ederken çok pahalı ve dayanımı az olan bazı doğal taşlar da dekorasyonda kullanılır (Barker and Austin, 1994).

Dekorasyon amaçlı kullanılan doğal taşlar, daha çok kesilmiş, ebatlanmış ve yüzeyleri işlenmiş mermer ve granit gibi taşlar olarak bilinir. Ancak derelerden toplanan çakıl taşları, doğal ebatlandırılan ve yarılmayla pürüzlü bir yüzeye sahip olan bazı doğal taşlar ile yapılarda kullanılan kesme taşlar ve molozlar da bu grup içerisinde değerlendirilir. Buna göre dekorasyon amacıyla, mermer ve yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar kullanım yerlerine, ebatlarına ve yüzey şekillerine göre 4 ana grupta incelenebilir.

1. Yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar (blok ve moloz taşlar, ocak taşı)
  - a. Geometrik şekilsiz bloklar
  - b. Geometrik şekilli bloklar
2. Çakıl taşları (toplama taş)
3. Kesilmiş ve işlenmiş doğal taşlar (mermer)
  - a. Yüzeyi düzgün doğal taşlar
  - b. Yüzeyi pürüzlü doğal taşlar
4. Doğal yarılmış, yüzeyi pürüzlü doğal taşlardır.

#### 1.4 Yapılarda Kullanılan Taşların Bozulma Nedenleri

Bozunma, belirli sıcaklık ve basınç altındaki kayaların veya minerallerin atmosferik koşullar altında yüzeyde ve sığ derinliklerde maruz kaldıkları fiziksel ve/veya kimyasal değişim olarak tanımlanır.

Taşların bozulma nedenlerinin başında jeolojik oluşumuna bağlı olarak gelişen yapısal sorunları gelmektedir. Kullanılacak yere ve amaca uygun doku ve özelliklere taşların seçilmemiş olması ya da aynı taş ocağında olmasına rağmen farklı ve kötü özellikler gösteren katmanlardan taş seçilmesi ileride karşılaşılabilecek pek çok bozulmaya neden oluşturmaktadır. Ocaktan taşın hatalı çıkarılması (dinamitle taş çıkartmak gibi), uygulama sırasında hatalı işçilikten kaynaklanan kusurlar veya dıştan gelen diğer olumsuz etkiler yapısal bozulmalara neden olan faktörlere eklenmektedir (Küçükaya, 2004).

Atmosfer hareketleri ve nem, korumada olumsuz faktörlerdir. Rüzgar taşıdığı partiküllerle, yumuşak taşlarda aşınma ile büyük tahribatlar yaratırken, ısı farklılıkları ve don nemli ortamlarda dahili gerilmeler yaratarak taşlarda parçalanma ve kopmalara yol açar. Kirli atmosfer, su organizmalarının (likenler, mantar, bakteri ve yosunlar) etkisiyle kayalarda kimyasal erime şeklinde bozulmalara neden olurken, çoğu zaman kayacı kaplayan ince toz tabakası kalınlaşarak yapının bütününe etkileyen kirli bir tabaka oluşturmaktadır (Küçükaya, 2004).

Bozuşma türü ve miktarı bir iklim bölgesinden diğerine değişir. Ilıman bölgelerde kimyasal ve kemo-biyolojik süreçler genellikle mekanik dağılmadan daha önemlidir. Ilıman bölgelerdeki bozuşma derecesi ve miktarı başlangıçta sıcaklığa ve atmosferdeki nem miktarına bağlıdır. Sıcaklığın yüksek olması halinde bozuşma aktiftir. Sıcaklıkta 10 °C'lik bir artış kimyasal reaksiyonların hızını iki katın üzerine çıkarır. Kuru havada kayaların çürümesi çok daha yavaştır. Nemin varlığı bozuşmayı hızlandırır. Bunun birinci nedeni, suyun kendisinin bozuşmada etkin bir faktör olmasıdır. Diğer de, su içinde kayadaki minerallerle reaksiyona giren kimyasal çözeltiler bulunmasıdır. Örneğin kireçtaşı için karbon dioksit özellikle önemlidir (Bell, 2006).

Yapılarda kullanılan taşların bozulma nedenlerinden birisi de yangın etkisidir. Aşırı ısı yangınlarla olur. Alevle yanan taşların dış yüzü süratle bir hacim genişlemesine geçer. Fakat ısının iç yüzüne aynı süratle nüfus etmez ve taşların içi soğuk kalır. Bu arada malzemenin direncini aşan iç gerilmeler oluşur. Kabarma ile plak ve parça halinde kopmalar birbirini takip eder (Kieslinger, 1968).

### **1.5 Malzemelerde Yüksek Sıcaklık Etkisi**

Kayaçalarda dayanıklılık problemine yol açan başlıca fiziksel etkilerden biri de yüksek sıcaklıktır. Bu etki kayaçlar üzerinde kalıcı hasarlar oluşturmakta ve kayaçların bozunmasına neden olmaktadır. Kayaçlar, yüksek sıcaklık etkisine, yangınlar sebebiyle maruz kalmaktadırlar.

Kayaçlar, yangın etkilerine iki şekilde maruz kalmaktadırlar. Bunlardan, birincisi doğal çevredeki yangınlar ikincisi ise binalardaki yangınlardır. Doğal çevrede yangın, jeomorfolojik ve biyolojik değişimde etkili olan yaygın bir vasıta olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıcaklıklar 1000 °C'yi geçebilmektedir. Çoğunlukla, dik bir termal gradyanla ortam koşullarında hızlı bir artış meydana getirerek kayaçların dağılmasını kolaylaştırmaktadır. Yangın kayaç bozunması üzerindeki etkilerini ölçmek için, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen simülasyon deneylerden faydalanıldığı görülmektedir (Allison, 1988; Allison 1999; Goudie et al., 1992).

Diğer çalışma alanı ise yapı malzemelerinin yangın etkisine karşı dayanımları ile ilgilidir. Tarihi çağlar boyunca çok sayıda taş bina, yangın hasarları sonucu yıkılmıştır. Hajpal ve Török (1998) tarafından yapılan çalışmada, yangınların binalar üzerindeki potansiyel etkisinin binaların yapılması aşamasında hesaplanabileceği, yangının etkilediği binalardan elde edilen verilerin, yeni taş binalar yapılırken kullanılabileceği ve ayrıca bu tip taş binaların ne kadar risk altında olduğunun hesaplanmasının mümkün olabileceği ifade edilmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda, yangın etkisiyle kayaçların petrolojik ve petrofiziksel yapısında oluşan değişimin, binanın taşıma kapasitesini düşürdüğü ifade edilmiştir (Hajpal and Török 1998).

Yanma, malzemenin hidrojen kurtulması ve oksijenin absorpsiyonunu oluşturan sıcaklık ve akkor hale gelmesi olayıdır. Sıcaklık etkisi ile malzeme erimekte veya kimyasal ayrışmaya uğramaktadır. Bunun için gerekli ısı miktarı malzemenin cinsine göre değişim göstermektedir (Eriç, 1994).

Malzeme yapısı üzerinde yangının etkisi fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Fiziksel değişim ısısal deformasyonlar ve erimedir. Isısal deformasyonlar, düşük sıcaklık etkilerinde malzeme bünyesinde meydana gelen fiziksel bir büyüklük olup, genellikle ısısal genleşme veya büzülme şeklinde görülebilmektedir. Erime ise, sıcaklığın artışı sonucu, malzeme içyapısında molekül bağlarının uzaması, elastik şekil değiştirme değerinin artması ve sonuç olarak içyapının kristal sisteminin dağılarak malzemenin katı halden akıcı hale geçmesi olayıdır (Kocataşkın, 1988).

Yangın etkisiyle malzemenin kimyasal yapısında meydana gelen değişimler ise molekül yapısının bozulması ve karbonlaşma olayıdır. İnorganik grupta yer alan kayaç yapısındaki malzemelerin bünyesinde bulunan  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  ve organik bileşiklerde yer alan C, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, S<sub>2</sub> gibi elementler ve bileşikler, yangın anında kimyasal bir değişime uğrayarak, malzemenin molekül yapısının bozulmasına yol açar (Eriç, 1994). Bu olguya, fosil içeren bazı mermer yapılarında rastlanılabilmektedir. Malzemenin bu molekül yapısının bozulması sürecinde, birtakım CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> gibi zararlı gazlar meydana gelebilmekte ve bu gazlar malzeme bünyesini terk ederek, kimyasal bir deformasyonu oluşturmaktadır. Bu değişim, mermer kayacını oluşturan mineral bileşenlerine göre farklılık görülmektedir.

Malzemedeki molekül yapısının değişimi genelde kristal suyunun kaybolmasıdır. Kuvarlı kayaçlar 600 °C, kalker 900 °C ve tuğla 1000 °C'de önemli hacim değişikliklerine uğrar ve içyapısında oluşan CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'nun ısınması suretiyle kayacı patlattığı görülür. Malzemenin kimyasal yapısında meydana gelen ikinci bir olay da karbonlaşmadır. Daha çok organik malzemelerde karşılaşılan bu olayda oksijen, malzemenin kimyasal yapısındaki karbonu yakmakta ve bir yanma sıcaklığı meydana getirmektedir (Eriç, 1994).

Yangın genel olarak her tür malzeme üzerinde etkilidir. Ancak, yanma süresi ve yanma sıcaklığı malzemenin niteliğine göre değişiklik gösterecektir. Bir yapıda yangın

güvenliği önlemler alırken, o yapıda kullanılacak olan yapı elemanları ve malzemelerinin yangın karşısındaki davranışlarını ve dayanımlarını bilmek çok önemlidir (Özdeniz vd., 1997). Malzemeler ateş etkisi ve yanmalarına göre yanabilirlik sınıflarına ayrılmış olup, kabul edilen sınıflama Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Malzemelerin yanabilirlik sınıfları (TS EN 13501).

Sınıf	Yanabilirlik	Yanma Türü	Yapı Malzemesi
A1	Yanmaz	Yanmayan Malzeme	Organik madde içeriği %1 in altında olan kayaç yapıda malzemeler
A2	Yanmaz	Yanmayan Malzeme	
B1	Zor Yanar	Yanabilen Malzeme	Organik malzeme içeren materyaller
B2	Normal Yanar	Yanabilen Malzeme	Organik malzeme içeren materyaller
B3	Kolay Yanar	Yanabilen Malzeme	Organik malzeme içeren materyaller

A1 sınıfı yapı malzemeleri hiç yanmaz olarak değerlendirilir. Yangında gözlenen davranışları alevlenmeme, yanmama, ışıdamama ve kömürleşmeme şeklindedir. Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan mermer türleri, genel balgamda bu A1 sınıfı yapı malzemeleri kategorisinde değerlendirilen malzemelerdir.

### 1.6 Farklı Kaya Türleri İçin Puanlamaya Dayalı Bozunma Sınıflamaları

Hodger and Hetherington (1991) Yeni Zelanda’daki kumtaşlarının petrografik özelliklerini esas alan bir bozunma sınıflama sistemi önermişlerdir. Araştırmacılar bozunma derecelerini belirlerken, ayırtman özellik olarak kayacın renginde, süreksizliklerde, damarlarda ve kayanın dayanımındaki değişimleri esas almışlardır. Bu çalışmada; minerallerin, matriksin, ikincil minerallerin, kayaç parçalarının ve çatlakların petrografik tanımlamaları yapılmış ve gözlemsel verilere dayalı bozunma zonları önerilmiştir.

Singh and Gahrooe (1989) süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecelerini belirlemek amacıyla Schmidt çekicini kullanmışlar ve bozunma derecesini bir indeksle (katsayıyla) ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bozunma indeksini ( $W_c$ ); taze (bozunmamış) kayacın tek eksenli sıkışma dayanımının ( $\sigma_c$ ), süreksizlik yüzeyinin dayanımına (JCS) oranı olarak belirlenmesini ve bu amaçla, Çizelge 1,2'deki bozunma sınıflamasını önermişlerdir.

$$W_c = \sigma_c / JCS \quad (1.1)$$

Çizelde 1.2 Bozunma indeksine göre sınıflama sistemi (Singh and Gahrooe, 1989).

---

Taze – orta derecede bozunmuş	$\sigma_c / JCS < 1.2$
Orta derecede bozunmuş	$1.2 < \sigma_c / JCS < 2$
Bozunmuş	$\sigma_c / JCS > 2$

---

Price (1993), mevcut kaya kütlesi bozunma tanımlamalarındaki belirsizliklere dikkat çekerek, puanlamaya dayalı bir bozunma sınıflama sistemi önermiştir. Araştırmacı; tüm kaya malzemeleri (Çizelge 1.3a), magmatik kayalardaki eklemler (süreksizlikler) ve tüm kayadaki artık süreksizlikler (Çizelge 1.3b) ve ayrıca sedimanter ve metamorfik kayalar (Çizelge 1.3c) için ayrı ayrı puanlama yapmıştır. Değerlendirmeler sonucunda toplam puana göre hem kayaç malzemesi hem de süreksizlikleri içeren 3 ayrı bozunma sınıfı oluşturmuştur (A, B, C). Daha sonra çalışmaya kaya kütesinin artık toprak zemine dönüştüğünü gösteren iki bozunma sınıfı daha eklemiştir.

Çizelge 1.3a Tüm kaya malzemesi türleri için önerilen puanlama sistemi (Price, 1993).

İncelenen parametrelerin tüm kaya kütlesine oranı	Taze	Renk değişimi (dayanımda bir miktar azalma)	Kırılgan (dayanımda önemli ölçüde azalma, toprak zemin) $\sigma_c < 1.25$ MPa)
Tamamı	40	0	0
$\pm 3/4$	30	5	5
$\pm 1/2$	20	10	10
$\pm 1/4$	10	15	15
Yok	0	20	20

Çizelge 1.3b Mağmatik kayalardaki süreksizlikler ile diğer kayalardaki artık (kalıntı) süreksizlikler için önerilen puanlama sistemi (Price, 1993).

Magmatik kayalarda süreksizlik yüzeyleri (sadece eklemler)				Tüm kaya türlerindeki süreksizlik yüzeyleri
İncelenen parametrelerin tüm kaya kütlesine oranı	Taze	Yüzey boyaması	Kaya malzemesinin bozunma derinliği > süreksizlik yüzeyinin dalgalılığı	Jeoteknik anlamda toprak zemindeki kalıntı süreksizliklerin oranı
Tamamı	20	0	0	-20
$\pm 3/4$	15	5	5	-15
$\pm 1/2$	0	10	10	-10
$\pm 1/4$	5	15	15	-5
Yok	0	20	20	0

Çizelge 1.3c Sedimanter (kireçtaşları dahil) ve metamorfik kayaların eklem yüzeyleri için önerilmiş puanlama sistemi (Price, 1993).

Eklemler				Tabaka veya foliasyon		
İncelenen parametrenin tüm kaya kütlelerine oranı	Bozunmamış	Süreksizlik yüzeylerinin boyanması ve çözeltilerden etkilenmesi	Kaya kütlelerinin bozunma derinliği > dalgalılık veya çözünmeyle oluşan açıklık	Bozunmamış	Süreksizlik yüzeylerinin boyanması ve çözeltilerden etkilenmesi	Kaya kütlelerinin bozunma derinliği > dalgalılık veya çözünmeyle oluşan açıklık
Tamamı	10	0	0	10	0	0
$\pm 3/4$	7	3	3	7	3	3
$\pm 1/2$	5	5	5	5	5	5
$\pm 1/4$	3	7	7	3	7	7
Yok	0	10	10	0	10	10

Kılıç (1995), Çankırı'daki ofiyolitlerde gözlenen alterasyonu incelemiş ve birleştirilmiş alterasyon indeksi olarak adlandırdığı indeksi aşağıdaki eşitlikle belirlemiştir:

$$K_c = K_v \times K_{\sigma c} \times K_a \quad (1.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

$K_c$ : Birleştirilmiş alterasyon indeksi

$K_v$ : P-dalgası hızına göre alterasyon derecesi

$K_{\sigma c}$ : Tek eksenli sıkışma dayanımı değerine göre alterasyon derecesi

$K_a$ : Ağırlıkça suya göre alterasyon derecesi

Kılıç (1999), yaptığı çalışma kapsamında Ankara civarındaki diyabaz gibi koyu renkli kaya türleri üzerinde çalışarak, daha önce çalışmasında kullandığı birleştirilmiş alterasyon indeksini modifiye ederek, aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$Kc = \sqrt{\left( \left[ 1 - \frac{Cpa}{Cpi} \right] \left[ 1 - \frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ci}} \right] \right)} \quad (1.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte:

Kc: Modifiye edilmiş birleştirilmiş alterasyon indeksi

Cpa: Altere olmuş kayaca ait P-dalgası hızı

Cpi: Taze (bozunmamış) kayaca ait P-dalgası hızı

$\sigma_{ca}$ : Altere olmuş kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı

$\sigma_{ci}$ : Taze kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı

Araştırmacı, önerdiği eşitliğe bağlı olarak, tek eksenli sıkışma dayanımına ( $\sigma_c$ ) ve P-Dalgası hızını ( $C_p$ ) esas alan bir alterasyon sınıflama sistemi önermiştir (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.4 Birleştirilmiş alterasyon indeksini (UAI) esas alan alterasyon sınıflaması sistemi (Kılıç, 1999).

Sınıf	Alterasyon derecesi	UAI	$C_p$ (m/s)	$\sigma_c$ (MPa)	Alterasyon yüzdesi
I	Altere olmamış	< 0.10	> 6750	> 160	4
II	Az altere olmuş	0.10-0.30	6750-5500	160-80	27
III	Orta derecede altere olmuş	0.30-0.50	5500-4250	80-40	42
IV	Oldukça altere olmuş	0.50-0.70	4250-3000	40-20	14
V	Çok altere olmuş	0.70 <	3000 >	20 >	13

Cragg and Ingman (1995), kaya bozunmasının tanımlamasında karşılaşılan güçlüklerle değinmişlerdir. Bu güçlükleri araştırırken Anon (1981) 'un önerdiği kaya bozunması tanımlamalarını ele almışlar ve bu tanımlamaların sınırlarını ve kullanımını tartışmışlardır. Araştırmacılar, kaya malzemesi açısından bozunma tanımlamalarının eksik bir şekilde verildiğini, bozunma tanımlanırken ölçülebilen ayrıntıların verilmesi ve tanımlamaların uygun deneyler yapıldıktan sonra düzeltilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Gökçeoğlu (1997), M-RMR Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemine ait parametrelerin belirlenmesindeki güçlüklerin giderilmesine yönelik çalışmasında, Singh and Gahrooe (1989)'nun önerdiği bozunma sistemini modifiye etmiş, taze ve bozunmaya uğramış süreksizlik yüzeylerinin Schmidt geri sıçrama değerlerinin karşılaştırıldığı bir bozunma indeksi haline getirerek bozunma katsayısının ( $W_c$ ) aşağıdaki eşitlikten belirlenmesini önermiştir.

$$W_c = R_f / R_c \quad (1.4)$$

Bu eşitlikte;  $R_f$  taze (bozunmamış),  $R_w$  ise süreksizlik yüzeyinin Schmidt geri sıçrama sertlik değeridir. Araştırmacı, ISRM (1981) tarafından tanımlanan bozunma sınıflarından ilk dördünü esas alarak,  $W_c$  değerlerine göre Çizelge 1.5'deki bozunma sınıflamasını önermiştir. Ancak bu indeks, sadece taneli kayalar için geçerlidir.

Çizelge 1.5 Bozunma katsayısına ( $W_c$ ) göre eklem yüzeyleri için önerilmiş bozunma sınıflaması (Gökçeoğlu, 1997).

$W_c$	Bozunma sınıfı	Tanım (ISRM, (1981))
< 1,1	1	Bozunmamış ( taze)
1,1 – 1,5	2	Az bozunmuş
1,5 – 2,0	3	Orta derecede bozunmuş
> 2,0	4	İleri derecede bozunmuş

Arıkan (2002), yaptığı tez çalışması kapsamında, asidik volkanik kayalar üzerinde yaptığı tez çalışmasında, bozunmadan etkilenen basit indeks parametreler ve petrografik özelliklerden yararlanarak puanlamaya dayalı mühendislik amaçlı bir bozunma sınıflaması önermiştir.

Araştırmacı; incelediği asidik volkanik kayaların bozunmanın yanı sıra, hidrotermal alterasyondan da etkilendiğini belirlemiş olup, yaptığı deneylere ait verileri esas alarak kaya malzemesi için 6 ayrı bozunma derecesini içeren bir bozunma sınıflaması (izelge 1.6) ile görsel tanımlamaya dayalı kaya kütlesi bozunma sınıflaması sistemlerini önermiştir.

Çizelge 1.6 Asidik volkanik kaya malzemeleri için önerilmiş puanlamaya dayalı bozunma sınıflaması sistemi (Arıkan, 2002).

Parametre	Sınıf I	Sınıf II	Sınıf III	Sınıf IV
Çekilme dayanımı, $\sigma_t$ (MPa)	$> 5,9$	$5,9 \geq \sigma_t > 3,6$	$3,6 \geq \sigma_t > 2,6$	$\leq 2,6$
PUAN	50	37	25	12
Disk makaslama dayanım indeksi BPI (MPa)	$> 19$	$19 \geq BPI > 11,7$	$11,7 \geq BPI > 8,6$	$\leq 8,6$
PUAN	34	25	17	8
P- dalgası hızı $V_p$ (m/s)	$> 3862$	$3862 \geq V_p > 3242$	$3242 \geq V_p > 2623$	$\leq 2623$
PUAN	11	8	5	3
Porozite, n (%)	$< 9,7$	$9,7 \leq n < 13,4$	$13,4 \leq n < 16,6$	$\geq 16,6$
PUAN	5	4	2	1
Bozunma Puanı, $R_w$	100-75	74-50	49-25	$< 25$
RMR kaya kütlesi sınıflama sistemi için bozunma puanı	6	5	3	1

## BÖLÜM II

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sıcaklığın dayanıma etkisi üzerine ilk çalışmalar inşaat sektöründe, beton deneylerinde yapılmıştır. Yüzer vd., (2007)'nin yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimini araştırdığı çalışma kapsamında, silis ve kalker esaslı agregalar ve silis dumanı, uçucu kül, cüruf gibi farklı mineral katkıları kullanılarak üretilen beton numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış, fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi için kontrol deneyleri yapılmıştır.

Sıcaklığın kayaçların dayanımı üzerine etkisini ise birçok araştırmacı (Koca vd., 2001; Liang et al., 2005; Yavuz et al., 2009; Ünal vd., 2007), değinmiştir. Koca (2001), 1881 yılında inşa edilmiş İzmir-Mithatpaşa Endüstri Meslek Lisesi'nde 31 Mart 1997 tarihinde meydana gelen yangında, binanın zemin katında taşıyıcı eleman olarak kullanılan gri Afyon mermer sütunlarında yangın ısısının mermerlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiş ve mermerlerin özelliklerinde meydana gelen değişikliklerden yararlanarak maksimum ısı 300 °C olarak tespit etmiştir. Ayrıca, laboratuvar koşullarında 100°C, 200°C, 300°C, ... ve 800°C'lik ısı kademelerinde ısıtılmış mermer numunelerinin porozite değerleri belirlenerek ısı ile porozite ilişkisi grafik olarak elde edilmiştir. Yangından farklı derecede (oldukça ve yangından hiç etkilenmemiş) mermerlerin porozite değerleri, laboratuvar koşullarında elde edilen porozite değerleriyle karşılaştırılarak yangın sırasında oluşan maksimum ısı değeri tahmin edilmiştir. Yangının mermerlerin porozitesinde meydana getirdiği değişiklik yanında, mermerlerin makroskobik, kimyasal ve petrografik özelliklerinde meydana getirdiği değişimler belirlenmiştir.

Yavuz vd., (2009) yüksek sıcaklıkların karbonatlı kayaçlar üzerindeki etkilerini incelemiş ve kayaçların artan sıcaklığa bağlı olarak ultrasonik hız değişimlerini incelemiştir.

Ünal vd., (2007) farklı orijinli kayaçlarında yüksek sıcaklığın kayaçların dayanımı üzerindeki etkilerini ultrasonik hız ölçümleri ile kestirmeye çalışmıştır. Bu çalışmada ultrasonik ölçümler ve laboratuvar gözlemleri, yapı taşlarının yapı ve mineral içeriğinin sıcaklık değişimine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir.

Bazı araştırmacılar (Koca vd., 2001; Yavuz vd., 2009; Koca vd., 2006) yüksek sıcaklığın kayaçların petrografik özellikleri üzerine etkisini çalışmışlardır.

## 2.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

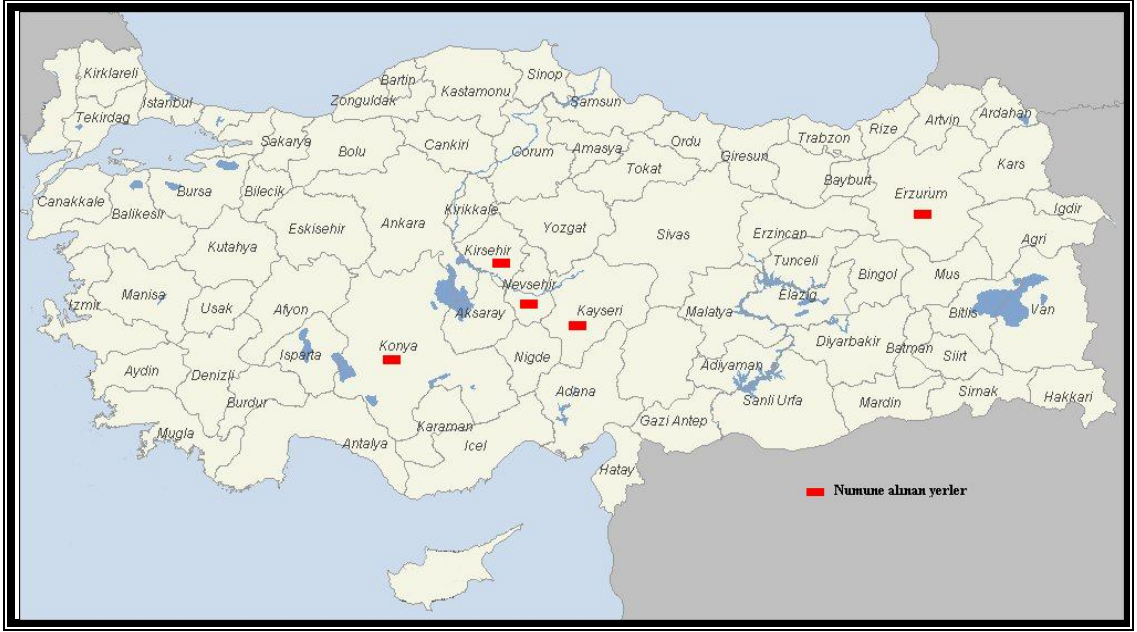
Yapılması planlanan bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak yapı sektöründe kullanılan farklı kökenli kayaçların yüksek ısı karşısındaki mühendislik özellikleri araştırılacaktır. Bu amaçla Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan kayaçlar laboratuara getirilerek standartlara uygun karot alınarak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu örnekler farklı sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan bu numunelerden bir grup havada kendiliğinden soğuyarak bir grup da suda soğutulduktan sonra bu numuneler üzerinde tekrar kaya mekaniği deneyleri (tek eksenli, ultrasonik hız deneyi vs.) yapılarak değişimler incelenmiştir. Planlanan laboratuvar çalışmasının neticesinde bu kayaçlarda sıcaklığın kayaçların mühendislik özelliklerine etkisi ve kayaçların sıcaklık altındaki davranışları açıklanmaya çalışılmıştır.

Taş yapılar, bu yapıların korunması ve tarihi taş yapıların restorasyonu gibi konular günümüzde ilgi alanlarının odağında bulunmaktadır. Yangın gibi doğal felaketler bu yapılara çok zarar verebilmekte ya da yıkılmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada yapı taşı olarak kullanılan veya kullanılacak kaya birimlerinin yüksek ısı sonrası petrografik ve jeomekanik özelliklerinin nasıl etkilendiklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Mevcut çalışma yangına maruz kalmış yapı taşlarının ultrasonik hızlarının değişimi ve basınç dayanımı değişimine odaklanmıştır. Bu çalışma ile yangın sonucunda taş yapılarda meydana gelebilecek hasarların tahmini konusunda önem arz etmektedir. Ayrıca sıcaklığın farklı kökenli ve farklı dokuya sahip kayaçlarda olumsuz etkisinin yanı sıra olumlu etkilerin olup olmadığı da test edilmiştir.

## BÖLÜM III

### MATERYAL ve METOT

Çalışma alanı; İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Konya, Nevşehir, Kayseri ve Kırşehir illeri ile Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzurum çevresinde yüzeyleyen ve yapı taşı olarak kullanılan veya muhtemel olarak kullanılacak kaya birimlerinin mostra verdiği yerler olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 1 Numune alınan yerleri gösterir harita

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip 8 adet kaya örneği alınmıştır. Numuneler mümkün olduğu kadar işletmeye açık taş ocaklarından alınmıştır. Çalışmanın güvenilirliği açısından numunelerin homojen olmasına ve atmosferik koşullardan etkilenmemiş olmasına dikkat edilmiştir. 2009-2012 yılları arasında sürdürülen bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışması olarak 3 aşamada yürütülmüştür.

### 3.1 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları; Schmidt çekici ile sertlik belirleme, jeomekanik özelliklerin belirlenmesi için blok örnek derleme ve petrografik örnek alımı şeklinde üç farklı aşamada yürütülmüştür.

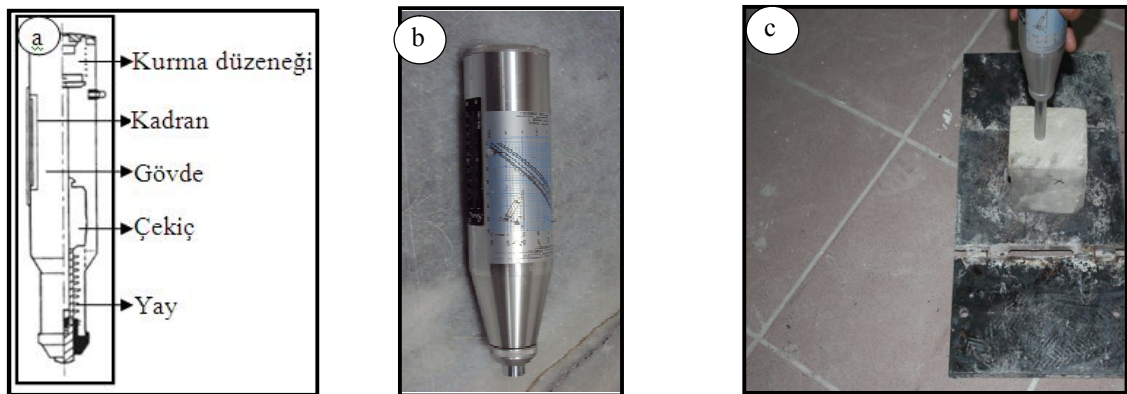
### 3.1.1 Schmidt çekici ile sertlik belirleme

Bu deney, Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini ve dolaylı olarak kayaların tek eksenli basınç dayanımını belirlemek amacıyla yapılır (Ulusay, 2001). Bu deney, ISRM (1981) tarafından önerilen esaslar dikkat edilerek yapılmıştır.

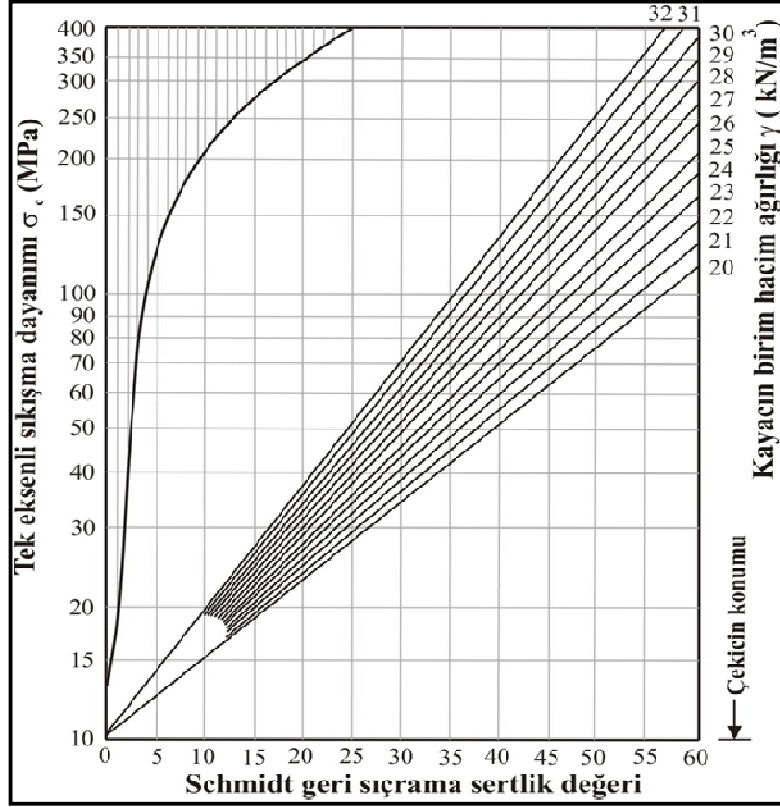
Schmidt çekici; silindirik kaplı bir gövde içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır (Şekil 3.2.a, b). Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik ucu kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır. Zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur ve Schmidt geri sıçrama sertlik değeri olarak tanımlanır.

Deneye başlamadan önce örs yardımıyla Schmidt çekicinin kalibrasyonu yapılır. Deney, arazide uygulandığında, çekiç yüzeye dik konuma getirilir ve aynı yüzeyin 20 farklı noktasından elde edilen geri sıçrama değerleri kaydedilir (Şekil 3.2.c). Arazide elde edilen geri sıçrama değerleri en büyükten en küçük değere doğru sıralanır ve en küçük 10 değer iptal edilerek, diğer değerlerin aritmetik ortalaması alınır.

Deere ve Miller (1966) schmidt geri sıçrama sertlik değeri ve kayacın birim hacim ağırlığı yardımıyla kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımlarını dolaylı olarak belirleyen pratik bir yöntem önermişlerdir (Şekil 3.3). Schmidt sertlik deneyi yapıldıktan sonra elde edilen veriler doğrultusunda kaya birimleri hakkında genel bir bilgi edinilmiştir. Bu bilgi doğrultusunda kaya birimlerinin çalışmada kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmiştir.



**Şekil 3.2** a) Schmidt çekicinin kesit görünümü b)Schmidt çekicinin genel görünümü c) Schmidt çekici ile sertlik belirleme deneyi yapılışı.



Şekil 3.3 Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere ve Miller, 1966).

### 3.1.2 Petrografik örnekleme

Yüzey araştırması ve Schmidt çekici ile sertlik belirleme işleminden sonra yapılacak çalışmanın amacına uygun olabileceği düşünülen kaya birimlerinin petrografik, kimyasal, fiziksel ve jeomekanik özelliklerini ortaya koyabilmek için 8 farklı lokasyondan 8 temsili numune için 20'e yakın blok örnek derlemesi yapılmıştır.

### 3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Belirlenen kaya birimlerinde yapılan ön çalışmalar sonucu, yapı taşı olarak kullanılan veya kullanılabilir kaya birimlerinin yüksek ısı sonrası petrografik ve jeomekanik özelliklerini nasıl etkilendiklerinin belirlenmesi amacıyla iki farklı laboratuvar çalışılmıştır. Jeomekanik özelliklerin belirlenmesi için Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin-Kaya Mekaniği Laboratuvarı ile Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarlarından yararlanılmıştır.

### **3.2.1 Numune hazırlama**

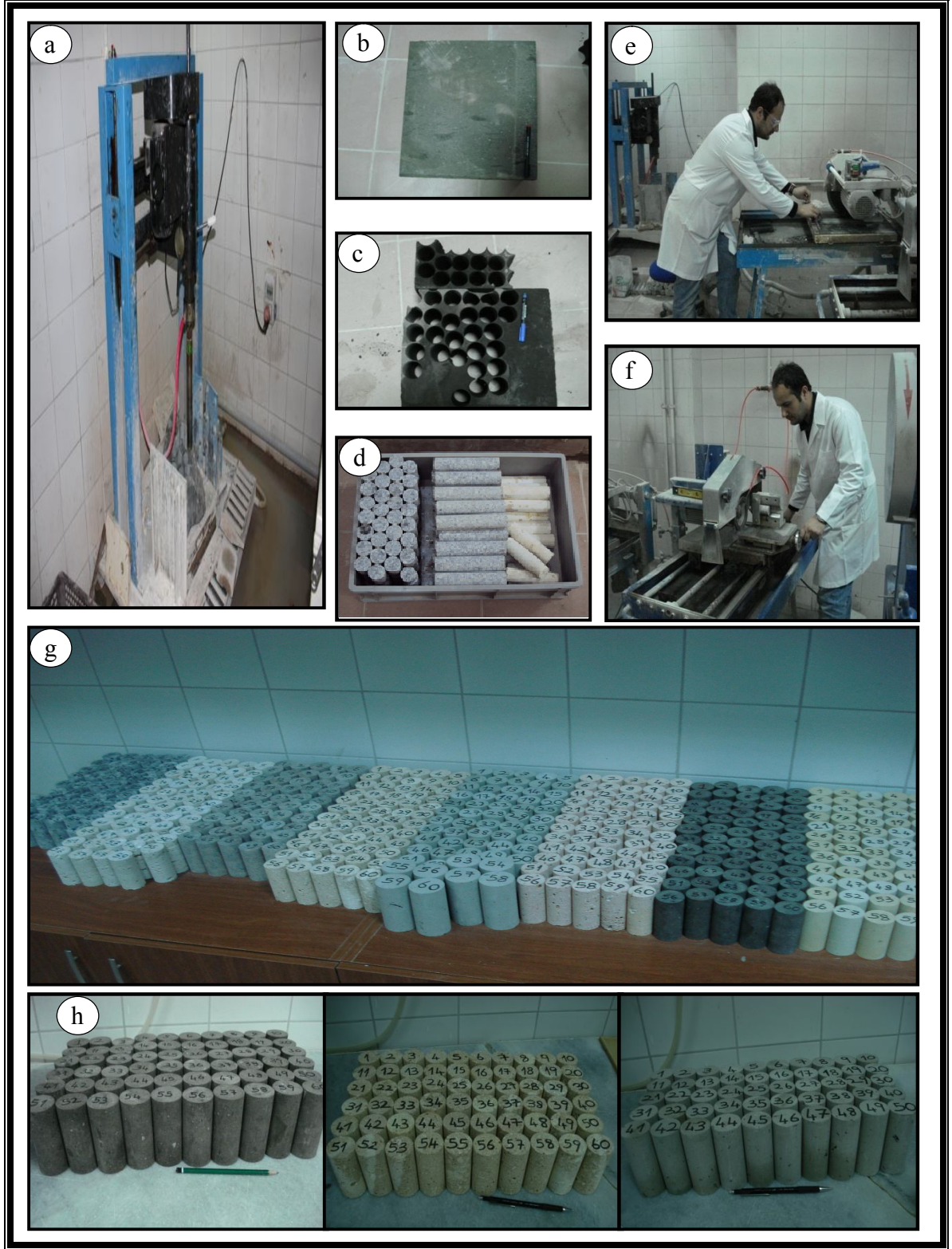
Bu çalışmada ignimbirit ve traverten örneklerinin üzerinde yapılacak olan deneyler için bir doğal ve yedi yüksek sıcaklık etkisi olmak üzere toplamda 8 grup numune hazırlanmıştır. Granit örneklerinin her biri üzerinde yapılacak deneyler için ise bir doğal ve beş yüksek sıcaklık etkisi olmak üzere toplam 6 grup numune hazırlanmıştır. Numune hazırlama yöntemleri detaylı olarak jeomekanik deneyler ile kimyasal analizler için olmak üzere iki ana başlık altında aşağıda sunulmuştur.

#### **3.2.1.1 Jeomekanik deneyler için numune hazırlama**

Değişik kaya mekaniği deneylerinden sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla standartlara uygun boyutta ve nitelikte örnek hazırlaması, deneylerden öncelikle ilk ve en önemli aşamadır (Ulusay vd., 2005). Laboratuarda silindirik karot örneklerinin alınması, bunların kesilmesi ve belirli standartlara göre yüzeylerinin düzeltilmesi amacıyla, delici, kesici, düzleyici ve parlatici gereçler kullanılarak yapılan işlemlerin tümü, örnek hazırlama işlemi olarak tanımlanır. Örneklerin deneye hazır hale getirilmesi işleminde ISRM (1981) ve ASTM (1994) belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Karot alma işlemi; araziden derlenen çeşitli büyüklüklerde blok ve moloz numunelerinin karot alma makinesinin sabitleyicileri tarafından sıkıştırıldıktan sonra BX tipi (42,0 mm) karotiyer kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4.a, b, c, d ve e).

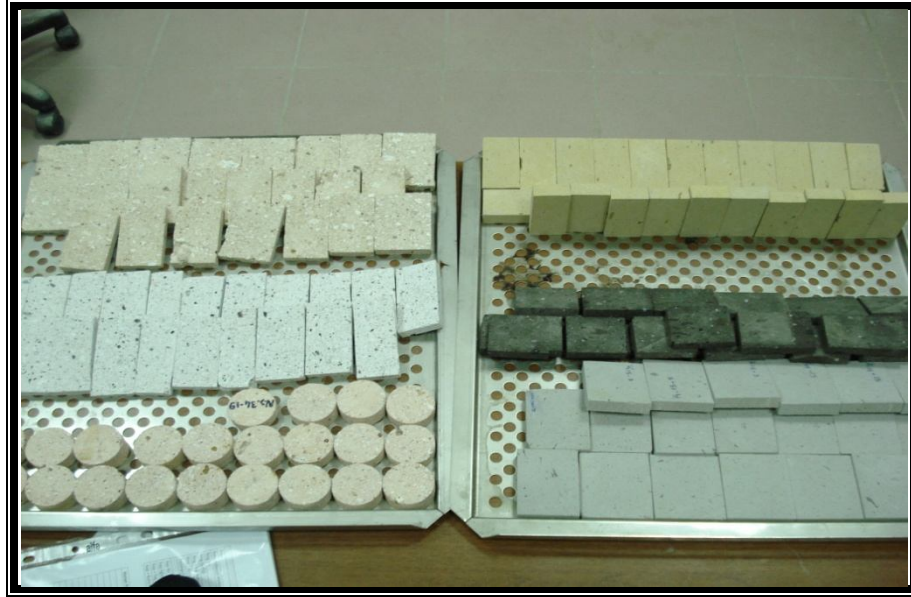
Alınan karotlar üzerinde yapılan deneylerin doğru sonuç verebilmesi için karotlar kontrol edilmiş, üzerinde herhangi bir süreksizlik bulunduranlar ayrılmıştır. Daha sonra uygun nitelikteki karotların iki ucu taş kesme makinesi ile kesilerek düzeltilmiş, karot düzeltme makinesi yardımıyla alt ve üst yüzeylerindeki pürüzlüğü alınmıştır (Şekil 3.4.f ve g). Bu işlemler tamamlandıktan sonra karotlar numaralandırılarak, deneylere hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.4.h ve i).



**Şekil3.4** a) Karot alma makinesi, b) Araziden alınan blok örnek, c) Blok örneğin karot alındıktan sonraki görüntüsü, d) Alınan değişik karot örnekleri, e) Karot kesme makinesinin görüntüsü ve karot kesme işleminden bir görünüm, f) Karot düzeltme işleminden bir görünüm, g) Alt ve üst yüzeyleri kesilmiş ve düzeltilmiş deney numuneleri, h) Deneye hazır hale gelen numunelerin numaralandırılmış görüntüsü.

### 3.2.1.2 Kimyasal analiz için numune hazırlama

Çalışmada materyal olarak kullanılacak kaya birimlerinin kimyasal içeriğinin belirlenmesi için numuneler hazırlanarak kimyasal analiz laboratuvarına gönderilmiştir. Kimyasal analiz için numune hazırlarken blok numuneden alınan kısımların, kayacın tümünün temsil edildiği noktalardan alınmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.5 Kimyasal analiz için hazırlanan numunelerin görüntüsü

### 3.2.2 Laboratuvar deneyleri

Laboratuvar deneyleri, kullanılan malzemelerin temel fiziksel özellikleri ve dayanım özellikleri olmak üzere 2 ana başlık altında incelenmiştir.

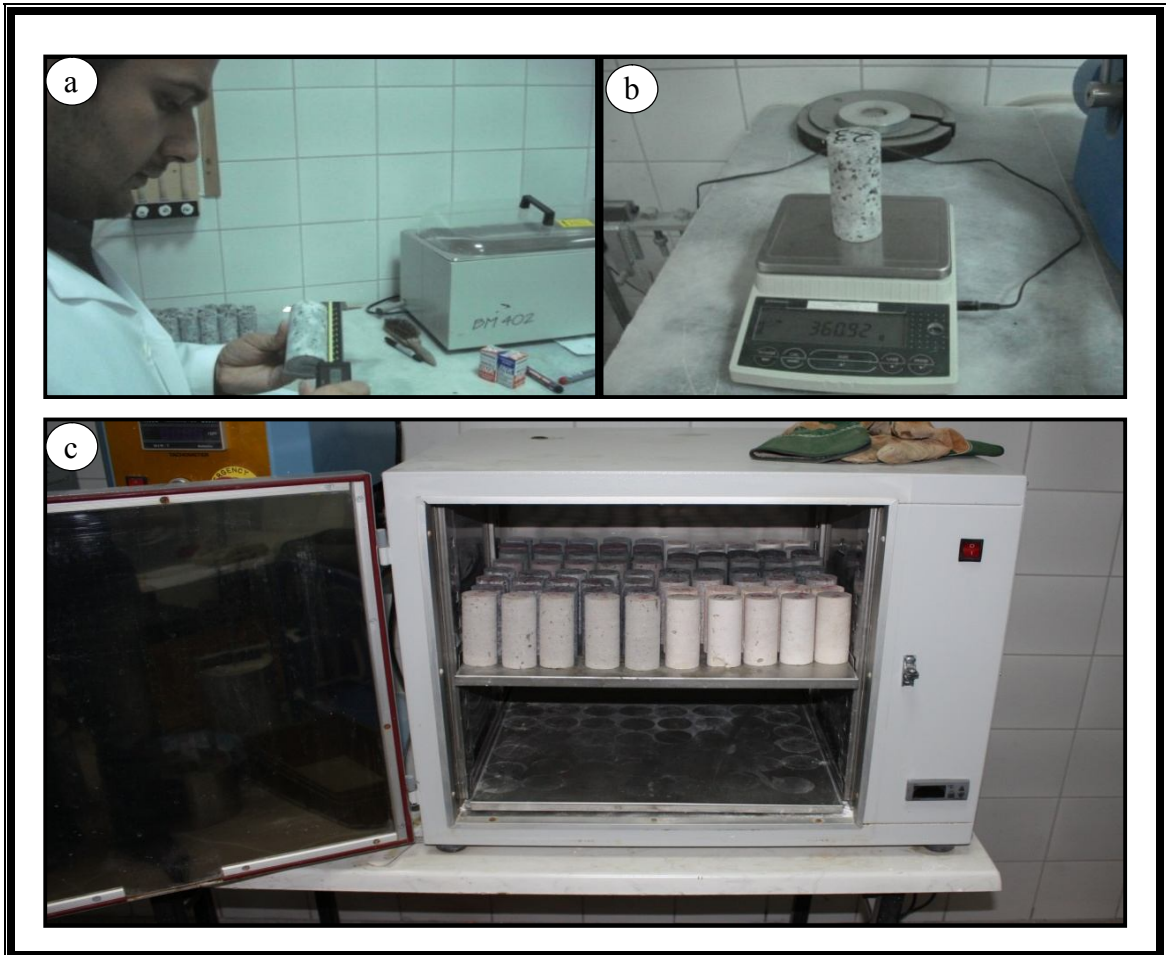
#### 3.2.2.1 Temel fiziksel özellikler

Numunelerin temel fiziksel özellikleri ISRM (1981) de belirtilen standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesi her örnek için 2 aşamada yapılmıştır. I. aşama numunelerin doğal haldeki temel fiziksel özellikleridir. I. aşamada numunelerin; yoğunluğu, kuru yoğunluğu, birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, görünür porozitesi, boşluk oranı, su muhtevası, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı, sismik hızı gibi özellikler belirlenmiştir. II. aşama ise numunelerin yüksek ısıya

maruz bırakıldıktan sonraki temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesidir. II. Aşamada numunelerin; tek eksenli basınç dayanımları, sismik hızı ve renk değişimi gibi özellikleri belirlenmiştir.

### 3.2.2.1.1 Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneyleri

Düzgün bir geometriye sahip biçimde hazırlanan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülür ve bunların ortalaması alınır (Şekil 3.6.a). Silindirik örneğin boy ve çap değerlerinden faydalanılarak örneklerin hacmi hesaplanır. Numunenin kütlesi 0,01 gr hassaslıktaki terazide tartılır (Şekil 3.6.b). Bu deney için ISRM (1981)'de önerilen yöntemler dikkate alınmıştır.



Şekil 3.6 a) Karot örneğin boyunun (L) ve çapının (D) ölçümü, b) Numunelerin kütlesinin 0.01 gr hassasiyetli teraziyle tartımı, c) Numunelerin etüvde kurutulması.

Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin yoğunluğu ( $\rho$ ) ve birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.1)$$

$$\gamma = 9,81 \rho \quad (3.2)$$

$$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi L \quad (3.3)$$

$\rho$  : Yoğunluk  $gr/cm^3$

$\gamma$  : Birim hacim ağırlık  $kN/m^3$

V : Numunenin Hacmi  $cm^3$

D : Karot çapı  $mm$

L : Karot boyu  $mm$

M : Kütle  $gr$

### 3.2.2.1.2 Kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık deneyleri

Bu deney düzenli bir geometriye sahip örneklerin kuru yoğunluğu ve kuru birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla yapılır. Bu deney için ISRM (1981)'de önerilen yöntemler dikkate alınmıştır. Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv ve desikatör kullanılmıştır. Düzgün bir geometriye sahip biçimde hazırlanan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülür ve bunların ortalaması alınır (Şekil 3.6.a). Silindirik örneğin boy ve çap değerlerinden faydalanılarak örneklerin hacmi hesaplanır. Örnekler 105 °C' ye ayarlanmış fırında en az 24 saat kurutulduktan sonra (Şekil 3.6.c) soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletilir. Daha sonra numunenin kuru kütlesi ( $M_k$ ) 0,01 gr hassaslıktaki terazide tartılır (Şekil 3.6.c). Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin kuru yoğunluğu ( $\rho_k$ ) ve kuru birim hacim ağırlığı ( $\gamma_k$ ) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\rho_k = \frac{M_k}{V} \quad (3.4)$$

$$\gamma_k = 9,81 \rho \quad kN/m^3 \quad (3.5)$$

V : Numunenin hacmi  $cm^3$

$M_k$  : Numunenin kuru kütlesi  $gr$

$\rho_k$  : Kuru yoğunluk  $gr/cm^3$

$\gamma_k$  : Kuru birim hacim ağırlık  $kN/m^3$

### 3.2.2.1.3 Görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini

Bu deney, düzgün bir geometriye sahip örneklerin gözenekliliğinin belirlenmesi amacıyla ISRM (1981)' nin önerdiği hususlara dikkat edilerek yapılmıştır. Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv, desikatör, beher ve kâğıt havlu kullanılmıştır.

İncelenen kayaç örneğini temsil edebilecek en az üç karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden ölçülerek hacimleri (V) belirlenir. Örnekler, 105°C' ye ayarlanmış etüvde en az 12 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra 0,01 gr hassaslığa sahip terazi ile tartılarak kuru kütlesi belirlenir ( $M_k$ ).

Örnekler, su dolu bir kaptan 48 saat bekletilerek suya doymun hale getirildikten sonra yüzeyleri kâğıt havlu ile yüzeyi kurulanıp hassas terazide tartılarak doymun kütlesi ( $M_s$ ) kaydedilir. Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin görünür porozitesi ve boşluk oranı aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$V_v = \frac{M_s - M_k}{\rho_w} \quad (3.6)$$

$$n = \frac{V_v}{V} 100 \quad (3.7)$$

$$e = \frac{n}{1-n} 100 \quad (3.8)$$

$V_v$  : Boşlukların hacmi  $cm^3$

$n$  : Porozite %

$e$  : Boşluk oranı %

$M_k$  : Numunenin kuru kütlesi  $gr$

$M_s$  : Numunenin doymun kütlesi  $gr$

$\rho_w$  : Suyun yoğunluğu  $gr/cm^3$

$V$  : Numunenin hacmi  $cm^3$

### 3.2.2.1.4 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri

Düzgün bir geometriye sahip örneklerin ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının belirlenmesi amacıyla ISRM (1981)' de önerilen hususlar dikkate alınarak yapılmıştır. Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv, desikatör, beher ve kâğıt havlu kullanılmıştır.

İncelenen kayaç örneklerinden alınan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden ölçülerek hacimleri (V) belirlenir. Örnekler saf su doldurulmuş beherde en az 12 saat bekletildikten sonra çıkartılarak yüzeyleri kağıt havlu ile kurulanıp hassas terazide tartılarak kütlesi kaydedilir ( $M_s$ ). Örnekler, 105°C' ye ayarlanmış etüvde en az 24 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra 0,01 gr hassaslığa sahip terazi ile tartılarak kuru kütlesi belirlenir ( $M_k$ ). Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$A_w = \frac{M_s - M_k}{M_k} 100 \quad \% \quad (3.9)$$

$$H_w = \frac{M_s - M_k}{V} 100 \quad \% \quad (3.10)$$

$A_w$	: Ağırlıkça su emme oranı	%
$H_w$	: Hacimce su emme oranı	%
V	: Numunenin hacmi	$cm^3$
$M_k$	: Numunenin kuru kütlesi	gr
$M_s$	: Numunenin doygun kütlesi	gr

### 3.2.2.1.5 Su içeriği tayini

Kayaçların su içerikleri (w), yüzde cinsinden kayaç malzemesindeki boşlukların ne oranda su ile dolu olduğunu belirten bir parametredir. Bu deney ISRM (1981)'nin önerdiği hususlara dikkat edilerek yapılmıştır. Bu deney için; hassas terazi, etüv ve desikatör kullanılmıştır.

Kayaçların sahip oldukları doğal nemin tayini için, numune önce doğal nemi ile birlikte 0,01 gr duyarlılıkta tartılır ( $M$ ), daha sonra ise 24 saat 105 °C' ye ayarlı etüvde kurutulduktan sonra tekrar tartılarak malzemenin kuru ağırlığı ( $M_k$ ) belirlenir. Daha sonra kayaçların su içerikleri aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanır.

$$w = \frac{M - M_k}{M_k} 100 \quad \% \quad (3.11)$$

$w$  : Su muhtevası %

$M$  : Numunenin doğal kütlesi gr

$M_k$  : Numunenin kuru kütlesi gr

### 3.2.2.1.6 Sonik hız deneyi ile dinamik elastisite modülünün belirlenmesi

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

Numunelerin yüksek sıcaklığa bağlı bozunum dereceleri, Şekil 3.7'de görülen ultrasonik ölçüm (Pundit Plus) aleti kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçümlerde 54 kHz'lik transdüserler kullanılmıştır. Sinyal puls süreleri ise 0,1 µs olarak seçilmiştir.

Kayaç örnekleri içerisinden geçirilen birincil dalganın (P) yayılma hızından faydalanılarak kayacın dinamik elastisite tayini amacıyla yapılmıştır. Kuru örnekler üzerinde dinamik elastisite modülü, elastik boyuna ses dalgalarının karot örnekleri kat etme zamanı ölçülerek hesaplanmıştır.

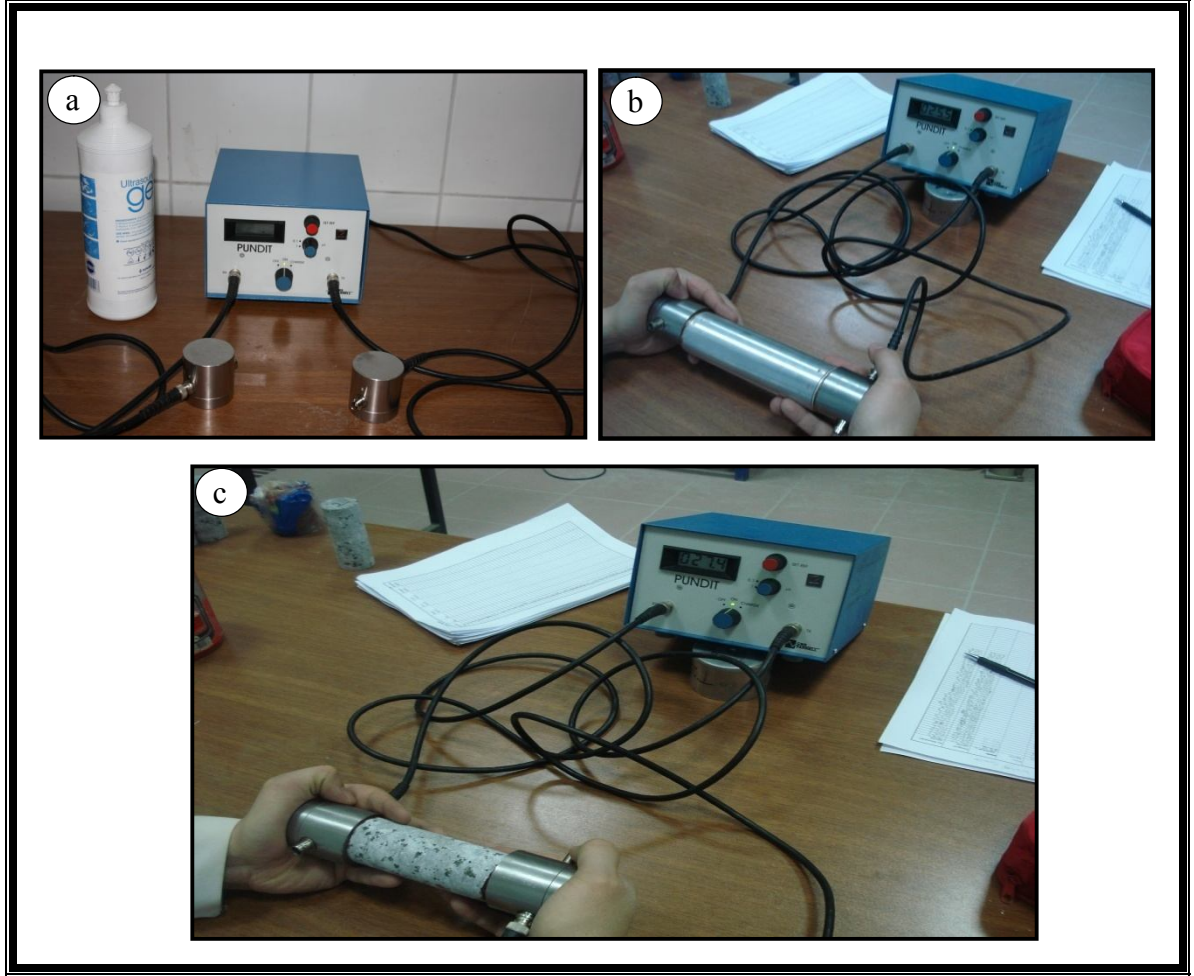
Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç gereç; Sinyal üretici ve elektronik sinyalleri mekanik sinyallere dönüştüren gönderici ile mekanik sinyalleri elektrik sinyallerine dönüştürücü alıcı ve dijital göstergeden oluşan deney aleti, gres yağı/jel, kumpas, etüv, desikatör ve hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3,7.a). Bu deney ASTM (1994)'ün önerdiği hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Deney sonuçlarının sağlıklı olması açısından numune alt ve üst tabanları pürüzsüz ve düzgün hale getirilen karot örneklerin çapı ( $D$ ) ve boyu ( $L$ ), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassasiyette ölçülür. Daha sonra örnekler, 105°C' ye ayarlanmış etüvde en az 12 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra 0,01 gr hassaslığa sahip terazi ile tartılarak kuru kütlesi belirlenir ( $M_k$ ). Deney kendine ait kalibre aparatı yardımıyla kalibre edilir (Şekil 3.7.b). Numunenin alt ve üst yüzeyleri ile aletin gönderici ve alıcıları arasındaki temasın artırılarak tam teması sağlamak için numunelerinin tabanlarına ince bir şekilde jel sürülmüştür. Sonra cihazın dijital göstergesinden  $P$  - Dalgasının örnekten geçiş süresi mikro saniye ( $T_p$ ) olarak ölçülmüştür (Şekil 3.7.c). Ölçülen bu değerler aşağıda verilen eşitliklerde yerine konarak numunelerin  $P$  dalga hızı ( $V_p$ ) değeri hesaplanmıştır. Dinamik elastisite modülü ise eşitlik 3.13' den faydalanılarak hesaplanmıştır.

$$V_p = \frac{L}{T_p} \quad (3.12)$$

$$E_d = 1,29 \frac{L}{D^2} \frac{M_k}{T_p} 10^{-6} \quad (3.13)$$

$V_p$	: P dalgasının yayılma hızı	$m/s$
$E_d$	: Dinamik elastisite modülü	$MPa$
$T_p$	: P dalgasının ölçülen yayılma zamanı	$\mu s$
$L$	: Karot boyu	$mm$
$D$	: Karot çapı	$mm$
$M_k$	: Numunenin kuru kütlesi	$gr$



**Şekil 3.7** a) Sonik hız cihazının aparatları, b) Sonik hız cihazının kalibre edilmesi, c) Sonik hız deneyinin yapılışı

### 3.2.2.2 Dayanım özellikleri

#### 3.2.2.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında, ayrıca tasarımında yaygın biçimde kullanılan tek eksenli basınç dayanımının tayini amacıyla yapılır. Deney sırasında eksenel deformasyonda ölçülerek, kayaç malzemesinin deformasyon ve yenilme karakteristiği de değerlendirilebilir. Bu deney için ISRM (1981) tarafından öngörülen yöntem ana hatlarıyla esas alınmıştır. Deney sırasında örneğe sabit bir hızla ve sürekli olarak eksenel yükleme yapabilecek yeterli kapasitede hidrolik pres kullanılır. Yenilmenin 5 ile 10 dakika arasında gerçekleşebilmesi için yükleme presinin kapasitesinin kayacın dayanımına uygun olarak seçilmesi gerekir.

Deneyde boy / çap (L/D) oranı 2,5-3 arasında olacak şekilde hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel karot örnekleri kullanılır. Deney için kabul edilebilir örnek boyutları Çizelge'2 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Tek eksenli sıkıştırma deneyi kabul edilebilir örnek boyutları (Ulusay vd., 2005).

Karot tipi (çapı, mm)	En kısa boy (mm)	En uzun boy (mm)
AX (30,0)	75,0	90,0
BQ (36,5)	91,3	109,5
BX (42,0)	105,0	126,0
NQ (47,6)	119,0	142,8
NX (54,7)	136,8	164,1

Örnek çapı ve boyu kompasla birbirine dik yönlerde ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınır ve yüklemenin yapılacağı kesit alanı hesaplanır. Örnek, presin ortasındaki yükleme plakasının üzerine yerleştirilerek ve örneğin üzerindeki silindirler ile presin üst bloğu arasında boşluk kalmayana değin yükseltilir. Örnekte boşluk kalmadığı elle kontrol edildikten sonra yüklemeye başlanılır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin yapılışı

Örnek 5 ile 10 dakika arasında yenilecek şekilde veya alternatif olarak 0,5-1 MPa'lık sabit bir gerilim hızıyla ayarlanılarak yükleme işlemine başlanılır. Örnek yenildiği anda yenilme yükü %1 duyarlılıkta göstergeden okunur. Deneyde kullanılacak örnek sayısı, pratik gereksinimlere bağlı kalmakla birlikte, ISRM (1981) tarafından her kayaç türünden en az beş örneğin deneye tabi tutulması önerilmektedir. Örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_c$ ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\sigma_c = F / A \quad (3.14)$$

Burada,

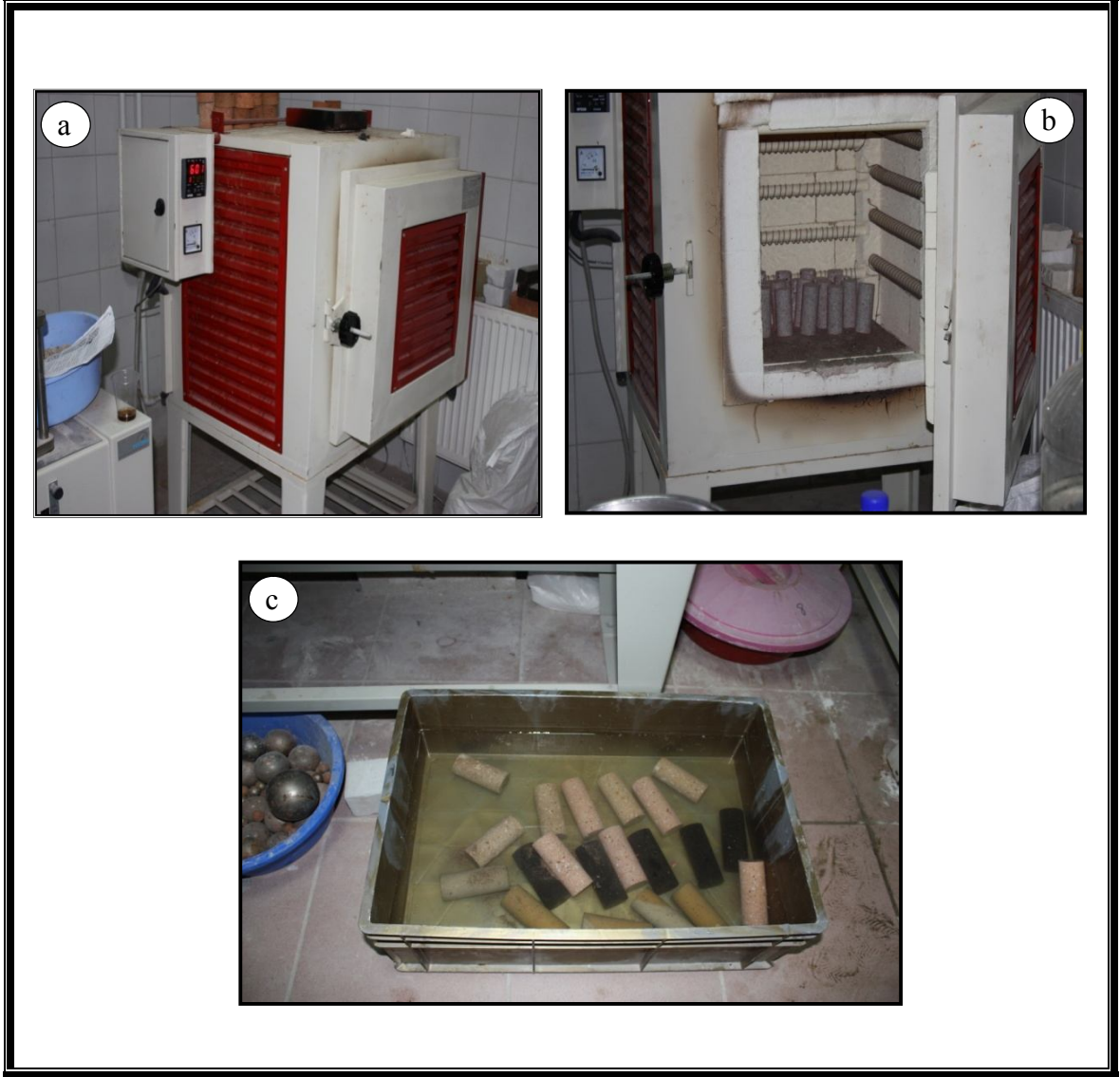
F: Yenilme anında kaydedilen yük *MPa*

A: Silindirik örneğin kesit alanı ( $= \pi(D/2)^2$ ) *mm*

### 3.2.3 Yangın olayının laboratuvarında simülasyonu

Yangın simülasyonunda, yangın ortamını oluşturabilmek için ısı kaynağı olarak kül fırını kullanılmıştır (Şekil 3.9.a). Yangın ortamında sıcaklığın ortama göre değiştiği, 1200 °C' ye kadar yükseldiği ve yangın süresinin ortama bağlı olarak 5 saate kadar ulaştığı bilinmektedir.

Bu çalışmada ise yangın süresinin ortalama iki saat sürdüğü ve 1000 °C' ye kadar yükseldiği varsayılmıştır. Yapı taşı örneklerinin sıcaklık artışına bağlı değişimlerini gözlemlemek için deneyler, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 ve 1000 °C sıcaklıklarda ikişer saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Numunelerden bir grup fırın içerisinde soğutulmuş laboratuvar ortamına alınmıştır (Şekil 3.9.b), diğer bir grup ise suda soğutulmuş laboratuvar ortamına alınmıştır (Şekil 3.9.c).



**Şekil 3.9** a) Kül fırının görüntüsü, b) Isıtılan örneklerin kül fırında soğutulması, c) Isıtılan örneklerin suda soğutulması.

### 3.3 Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları, belirlenen kaya birimlerinde yapılan deneyler sonucu, elde edilen verilerin derlenip düzenlenmesi ve elde edilen bulguların bazı istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek sonuç ve grafikler yardımıyla değerlendirilmesidir. Bu analiz ve değerlendirmeler bulgular ve tartışmalar bölümünde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

## BÖLÜM IV

### BULGULAR ve TARTIŞMALAR

#### 4.1 Örneklerin Tanımı ve Özellikleri

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

Çizelge 4.1 İncelenen örneklerin lokasyon tanımı ve kayaç özellikleri.

Örnek No	Formasyon	Kaya Adı	Açıklamalar
1	Valibaba ignimbiriti	İgnimbirit	Açık sarı renkli, ince taneli, makro boşluk oranı düşük, hafif, çatlaksız.
2	Ürgüp	İgnimbirit	Açık pembe renkli, orta-iri taneli, yer yer boşluklu, yuvarlak ve köşeli tanelerden oluşmuştur, kolay işlenebilir özellikte, çatlaksız.
3	Valibaba ignimbiriti	İgnimbirit	Gri renkli, ince tanelerden oluşmuş, yer yer boşlukludur.
4	Ürgüp	İgnimbirit	Açık sarı açık pembe renkli, iri taneli, yuvarlak ve köşeli tanelerden oluşmuş olup, yer yer makro boşlukludur. Pomza çakıllı.
5	Valibaba ignimbiriti	İgnimbirit	Siyah renkli, ince taneli, boşluk oranı düşük, 2 ve 4 nolu örneklerden daha hafif.
6	Çağlayan	Granit	Pembe renkli, ince tanelidir.
7	Ulumusine	Traverten	Beyaz renkli, makro boşluk oranı oldukça fazla, boşluklarında kristalleşmeler mevcuttur.
8	Tamdağ	Granit	Gri renkli, 6 nolu örnekten daha iri tanelidir.

## 4.2 İncelenen Örneklerin Kimyasal Özellikleri

Yapı taşı olarak kullanılan kayaların, yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışlarında kimyasal bileşimlerinin nasıl bir etkisi olduğunu inceleyebilmek için kimyasal analiz yapılmıştır. Kimyasal analiz sonucunda elde edilen bilgiler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 İncelenen örneklerin kimyasal analiz sonuçları.

Örnekler	SiO <sub>2</sub> (%0.01)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%0.01)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% 0.04)	MgO (%0.01)	CaCO <sub>3</sub> (%0.01)	Na <sub>2</sub> O (%0.01)	K <sub>2</sub> O (%0.01)	TiO <sub>2</sub> (%0.01)
1	73,05	13,6	1,63	0,27	0,93	4,55	4,18	0,33
2	72,99	14,95	3,18	0,05	0,08	0,08	0,18	0,23
3	71,41	14,17	1,95	0,33	1,21	4,75	3,84	0,38
4	73,47	14,63	2,18	0,05	0,08	0,07	0,20	0,22
5	62,51	15,00	4,13	1,18	2,92	3,9	2,97	0,79
6	62,51	16,81	3,71	0,87	2,07	4,65	6,32	0,61
7	0,18	0,03	0,05	0,19	56,34	< 0,01	< 0,01	< 0,01
8	54,58	20,66	2,47	0,23	2,34	5,68	9,25	0,35

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi magmatik kökenli kayaların bileşiminde SiO<sub>2</sub> oranı oldukça fazladır. Bunun yanında sedimanter kökenli travertende CaCO<sub>3</sub> oranı fazladır.

## 4.3 İncelenen Örneklerin Jeomekanik Özellikleri

Kayaçların jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi, gerek mekanik özelliklerini kontrol etmesi, gerekse de yapı malzemesi olarak kullanım niteliğini değiştirmesinden dolayı uygulamada oldukça önemlidir. Bu kapsamda yukarıda belirtilen farklı örneklerle ait; kuru ve doygun birim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, efektif porozite, P-Dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. ISRM (1981) tarafından

önerilen yöntemler esas alınarak yapılan deneyler için araziden blok örnekler derlenmiş, daha sonra bu numunelerden laboratuarda karot ve parça numune hazırlanmıştır. Deneylerden elde edilen jeomekanik özelliklere ait veriler, aşağıda başlıklar halinde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

#### 4.3.1 Kuru birim ağırlık

İncelenen örnekler kuru birim hacim ağırlık deneyleri, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınarak beş karot numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4,3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 İncelenen örnekler kuru birim ağırlık değerleri.

<b>Kuru Birim Ağırlığı, <math>\gamma_d</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>					
<b>Örnek No</b>	<b>Deney Sayısı</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Ortalama</b>	<b>S.Sapma</b>
1	5	14,18	14,39	14,34	0,09
2	5	14,91	15,59	15,10	0,28
3	5	14,99	15,48	15,11	0,21
4	5	15,11	15,56	15,38	0,17
5	5	14,08	14,30	14,17	0,10
6	5	25,77	25,95	25,85	0,07
7	5	20,92	21,15	21,01	0,12
8	5	24,73	24,80	24,76	0,02

Kuru birim ağırlık değeri kayaların bileşim ve dokusu ile yakından ilgilidir. Kayaçların birim ağırlık değerlerindeki değişim; kayanın kimyasal bileşimine, boşluk yapısına, boşluk miktarına ve ayrışmasına bağlıdır. Pratikte birim hacim ağırlıkları yüksek olan kayalar genellikle düşük poroziteli, düşük su emme ve yüksek özgül ağırlık değerlerine sahiptir (TS 2513, 1977).

NBG (1985) 'e göre yapılan değerlendirmeler sonucunda, araştırılan ignimbirit ve traverten örneklerinin birim ağırlık değerlerinin “çok düşük yoğunluklu kaya” sınıfında yer almaktadır. Granit ise “düşük yoğunlukta kaya” sınıfında yer almaktadır.

#### 4.3.2 Doymun birim ağırlık

Suya doymun kayaların, birim ağırlıklarında gözlenen değişim kayada bulunan efektif gözenekleri sayesinde. Kayaçların birim ağırlık değerini önemli ölçüde denetleyen unsurların başından kimyasal bileşimi ve boşluk yapısı gelmektedir. Ayrıca kayanın özgül ağırlığının değişken olması da doymun birim ağırlığını etkilemektedir (NBG, 1985).

Doymun birim ağırlık deneyleri, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınarak, beş karot numunesi üzerinde gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4 İncelenen örneklere ait doymun birim ağırlık değerleri.

<b>Doymun Birim Ağırlığı, <math>\gamma_s</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>					
<b>Örnek No</b>	<b>Deney Sayısı</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Ortalama</b>	<b>S.Sapma</b>
1	5	16,77	17,06	16,93	0,11
2	5	17,36	17,83	17,52	0,18
3	5	17,67	18,07	17,78	0,16
4	5	18,31	18,63	18,43	0,12
5	5	17,10	17,40	17,19	0,12
6	5	25,95	26,11	26,01	0,07
7	5	21,46	21,81	21,65	0,17
8	5	24,95	25,01	24,97	0,03

Doygun birim ağırlık değeri, kayanın birim ağırlık değerlerinden biri olup, kayanın bünyesinde bulunan suyun etkisiyle kuru birim ağırlık değerinden fazladır. Dolayısıyla sınıflama açısından düşünüldüğünde, farklı özelliklerdeki incelenen örneklerin birim ağırlık değerleri açısından NBG, (1985)'e göre ignimbirit örnekleri ile traverten “çok düşük yoğunlukta kaya” sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir. Kırşehir graniti (8) “düşük yoğunlukta kaya” sınıfında yer almakla birlikte Erzurum-İspir graniti (6) ise “orta yoğunlukta kaya” sınıfında bulunmaktadır.

#### **4.3.3 Su emme**

Kayacın su emme değeri, atmosferik etkilerden etkilenme açısından belirlenmesi gereken ve düşük olması istenen bir parametredir. Yapı malzemesi olarak kullanılan kayaçların bu değerlerinin özellikle don etkilerinin belirlenmesinde etkin bir değerlendirme ölçütü olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Kayalarda su emme değerinin değişiminin belirlenmesi ile dona ve termik genişlemeye karşı dolaylı bilgi sağlanmaktadır.

İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme deneyleri, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınarak, beş karot numunesi üzerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Kayaçların su emme değerlerindeki değişkenliğin sebebinin boşluk oranlarındaki değişimlerle beraber, kayaçların petrografik ve dokusal özelliklerinin birbirinden farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.5 İncelenen örneklere ait ağırlıkça su emme değerleri.

Ağırlıkça Su Emme, $A_w$ (%)					
Örnek No	Deney Sayısı	Min.	Max.	Ortalama	S.Sapma
1	5	17,59	18,32	18,09	0,46
2	5	15,38	16,47	16,17	0,45
3	5	16,77	18,15	17,73	0,54
4	5	19,75	21,41	20,59	0,64
5	5	20,37	22,02	21,29	0,63
6	5	0,60	0,74	0,65	0,06
7	5	2,57	3,39	3,01	0,32
8	5	0,79	0,89	0,82	0,09

#### 4.3.4 Porozite

Kayacın oluşumları esnasında veya ikincil olarak oluşan boşluklar, kayanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişmesinde önemli rol oynamaktadır. Yapılan araştırmalar; porozitenin artması sonucu, kayanın mukavemetinin azalmasına ve kaya içinde gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Porozitenin artmasıyla atmosfer etkilerine karşı direncin düştüğü bilinmektedir. Ayrıca porozitenin artması kayanın düşük yoğunluk kazanmasını sağlamakta, kayanın ısı ve ses iletkenlikleri üzerinde etkili olmaktadır (Tahran, 1996).

İncelenen örneklerin porozite değerleri için suda doyurma yöntemi esas alınarak efektif porozite değerleri cinsinden belirlenmiş olup, deneyler için ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınarak her bir deney beş numune üzerinde tekrarlanmıştır. Elde edilen efektif porozite değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 İncelenen örneklere ait efektif porozite değerleri.

Efektif Porozite, $n_e$ (%)					
Örnek No	Deney Sayısı	Min.	Max.	Ortalama	S.Sapma
1	5	24,31	25,46	24,94	0,41
2	5	24,22	25,25	24,85	0,39
3	5	26,46	27,77	27,29	0,50
4	5	31,31	32,99	32,27	0,67
5	5	30,32	31,62	30,90	0,66
6	5	1,57	1,95	1,72	0,17
7	5	5,48	7,29	6,46	0,69
8	5	2,00	2,25	2,10	0,10

Yapı taşı olarak kullanılan kayaların porozite değerlerine ilişkin TSE standartlarında, değerlendirme için belirli bir hüküm yer almamaktadır. İncelenen örnekler toplam porozite değeri açısından, NBG (1985)'e göre sınıflandırıldığında ignimbirit örnekleri “çok yüksek poroziteli kaya” sınıfında yer almaktadır. Bunun yanında traverten örneği “yüksek poroziteli kaya” sınıfında bulunmaktadır. Granit örneklerinden Kırşehir graniti (8) “orta poroziteli kaya” sınıfında bulunmaktadır, Erzurum-İspir graniti (6) ise “düşük poroziteli kaya” sınıfında yer almaktadır.

#### 4.3.5 P- Dalga hızı

P-dalga hızı, kayanın dayanım özelliklerine yaklaşım sağlaması açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, kayanın ayrışma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da yaygın olarak kullanılmaktadır. Deney, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemin esas alınarak, beş karot numunesi üzerinde Pundit cihazı kullanılarak P-dalga hızı ölçülerek yapılmıştır. Deneylelerden elde edilen P-dalga hızları Çizelge 4.7’ de sunulmuştur.

Çizelge 4.7 İncelenen örneklere ait P-dalga hızı değerleri.

<b>P-Dalga Hızı Değeri, <math>V_p</math> (m/sn)</b>					
<b>Örnek No</b>	<b>Deney Sayısı</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Ortalama</b>	<b>S.Sapma</b>
1	5	1639,72	1762,98	1724,64	49,93
2	5	2438,19	2516,51	2483,91	30,10
3	5	1704,41	1786,24	1755,09	30,74
4	5	2432,39	2434,75	2459,40	17,64
5	5	2977,18	3150,44	3044,52	69,37
6	5	4787,20	4821,67	4807,83	12,71
7	5	3705,08	3916,34	3848,47	88,47
8	5	3990,88	4038,15	4019,38	17,89

Örneklerden elde edilen P-dalgası hız ortalama değerlerinden en düşük değer örnek no 1 deki ignimbirit örneğine ait olup (1724,64 m/sn), en yüksek değer ise Erzurum-İspir granit (6) örneğine aittir (4807,83 m/sn).

Yapılan P-dalga hızı deneylerinin değerlendirilmesi sonucunda incelenen farklı özelliklerdeki örneklerin yüksek standart yapma değeri sunmalarında, kaya içerisindeki boşlukların değişken, homojenliğinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İncelenen örneklerden 1, 2, 3 ve 4 numaralı ignimbiritler NBG (1985)'e göre “ çok düşük sismik hızı sahip kaya” grubunda yer alırken, 5 numaralı ignimbirit örneği “düşük sismik hızı sahip kaya” grubunda yer almaktadır. Traverten ile granit örnekleri “orta sismik hızı sahip kaya” sınıfında bulunmaktadır.

#### **4.3.6 Schmidt çekici sertlik indeksi**

Başlangıçta betonun dayanımını tahmin etmek amacıyla geliştirilen Schmidt sertlik çekici, kayaların dayanımlarının özellikle arazide kısa süre içerisinde dolaylı yoldan

tahmin edilmesi için uzunca bir süreden beri kullanılmaktadır. Deney, arazide kayanın gözlemlendiği aynalarda, ayırık bloklarda ve karotlar üzerinde kolaylıkla uygulanabilmektedir (Kahraman vd., 2002). İncelenen yapılarda yerinde yapılan sertlik ölçümleri Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Bilindiği gibi kayaçların sertliği; litoloji türüne, kayaların içerdiği mineral tür ve miktarına, kristalleşme ya da çimentolanma tür ve derecesine göre, ayrışma derecesine bağlı olarak değişmektedir (Kahraman vd., 2002).

Çizelge 4.8 İncelenen örneklerle ait Schmidt çekici sertliği değerleri.

<b>Schmidt Çekici Sertlik İndeksi, SHV (L-tipi)</b>					
<b>Örnek No</b>	<b>Deney Sayısı</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Ortalama</b>	<b>S.Sapma</b>
1	10	22	26	24,3	1,49
2	10	21	27	24,2	1,81
3	10	25	32	27,5	2,55
4	10	20	26	23,2	2,36
5	10	28	33	30,3	1,70
6	10	47	51	49,6	1,57
7	10	28	37	32,4	2,67
8	10	43	48	45,3	1,64

Yapılan ölçümler sonucunda yapıda kullanılmış ignimbirit ve granit bloklarının sertlik indeks değerlerinde kayaçlar ayrı ayrı düşünüldüğünde genel anlamda yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Günümüzde yapılan araştırmalarda, Schmidt çekici sertlik indeksleri sınıflama parametresi olarak yaygın kullanıma sahiptir. İgnimbirit örnekleri üzerinde yerinde yapılan ölçümlerinde elde edilen Schmidt çekici sertlik indeksi değerleri ISRM (1981)’e göre sınıflandığında, “yumuşak kaya” sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir. Örnek no 5 ve traverten örneği sertlik değeri açısından sınıflandığında ise “sert kaya” sınıfında yer

aldığı gözlenmiştir. Granit örnekleri ise sertlik değeri açısından sınıflandığında ise “çok sert kaya” sınıfında yer aldığı gözlenmiştir.

#### 4.3.7 Tek eksenli basınç dayanımı

İncelenen örneklerin tek eksenli basınç dayanımını belirlemek amacıyla, 5 karot örneği üzerinde gerçekleştirilen deneyler için, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınarak, boy çap oranı 2,5-3 cm olan karot örnekler kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.9 'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 İncelenen örneklere ait tek eksenli basınç dayanımı değerleri.

Tek Eksenli Basınç Dayanımı, $\sigma_c$ (MPa)					
Örnek No	Deney Sayısı	Min.	Max.	Ortalama	S.Sapma
1	5	9,31	17,11	11,77	3,17
2	5	9,55	14,21	11,75	1,91
3	5	9,74	16,17	13,20	2,74
4	5	9,66	13,43	11,73	1,61
5	5	16,97	33,46	22,70	6,34
6	5	110,72	125,62	120,29	6,07
7	5	15,17	26,50	20,26	4,30
8	5	67,18	76,65	70,80	4,03

İncelenen örneklerden elde edilen tek eksenli basınç dayanım değerleri, ortalama 11 - 120 MPa arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanım değerini örnek no 6 granit örneğinden edilmiştir. En düşük basınç dayanımı değeri ise örnek no 4 ignimbirit örneğinden elde edilmiştir. Örneklerin bileşim ve dokuları ile birlikte, deney şartları (yükleme hızı, numunenin standartlara uygun hazırlanması vb.) tek eksenli basınç dayanımlarını önemli oranda kontrol etmektedir (Goodman, 1989).

İncelenen ignimbirit örneklerinden örnek no 1, 2, 3, ve 4' ün, tek eksenli basınç dayanımları açısından ISRM (1981) tarafından yapılan değerlendirmelere göre, “düşük dayanımlı kaya” , örnek no 5 ignimbirit ve traverten örneği“ düşük - orta dayanımlı kaya”, örnek no 8 granit örneği “ yüksek dayanımlı kaya” ve örnek no 6 granit örneği “ çok yüksek dayanımlı kaya” sınıfında yer almaktadır.

#### **4.4 İncelenen Örneklerin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları**

##### **4.4.1 Örneklerin ultrasonik hız değişimleri**

İncelenen örnekler farklı sıcaklıklara maruz bırakılmadan önce ve sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra ultrasonik dalga hızları ölçülmüş ve elde edilen verilerin ortalama değerleri Çizelge 4.10 ve 4.11 de ve yüzde değişim değerleri ise Çizelge 4.12 ve 4.13'te verilmiştir. Ayrıca yüzde değişim değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.1, 4.2).

Çizelge 4.10 - 4.11 ve Şekil 4.1 - 4.2 de görüleceği üzere traverten örnekleri 800 °C ve üzeri sıcaklıklara dayanamadıkları için deneyler devam ettirilmemiştir. Bu nedenle 600-700 °C aralığı belirlenmiştir. Bunun yanında ignimbirit örnekleri 800 °C' ye kadarki sıcaklıklara dayanmaktadır. Granit örnekleri ise 700-1000 °C arasındaki sıcaklıklara kadar bozunmadığı görülmektedir.

Farklı özelliklere sahip kayaçların sıcaklığa karşı dirençlerindeki değişim oranlarını görebilmek ve karşılaştırabilmek için değişim oranları grafik üzerinde gösterilmiştir. Önceden de belirtildiği gibi kayaçlardaki değişim bozunma yönünde ise ultrasonik hız azalmaktadır. Şekil 4.1'de verilen grafikte görüldüğü gibi sıcaklıktaki artışa bağlı olarak ultrasonik hız azalmaktadır. Ultrasonik hızdaki azalma farklı şekillerde olabilmektedir. Bu durum, kayaçların sıcaklığa farklı şekillerde tepki verdiğini ve sıcaklıkla birlikte bozunmanın arttığını göstermektedir.

Deney çalışmaları sırasında yapılan gözlem ve ölçümler, bozunmanın 200 °C civarında başladığını göstermektedir. Yapılan bu ölçümlerle sadece sıcaklığa bağlı numunelerdeki

bozunma yüzde değişimlerini tanımlamaktadır. Sıcaklıktan en çok etkilenen 8. örnekteki granit örneği olduğu görölmüştür. En az etkilenen örnek ise 5. örnekteki ignimbirit olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.10 Havada soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama ultrasonik hız değerleri.

		UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)															
		200 °C		300 °C		400 °C		500 °C		600 °C		700 °C		800 °C		1000 °C	
Numune Adı		Ortalama Ultrasonik Hız (m/sn)															
		Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası
1	(İgnimbirit)	1741,98	1742,39	1571,47	1426,48	1532,43	1400,30	1665,98	1446,47	1550,87	1236,37	1191,21	1604,86	1101,43	*	**	
2	(İgnimbirit)	2386,06	2407,77	2404,77	2300,91	2388,68	2270,92	2361,31	2204,35	2353,87	2061,49	1741,31	1756,11	1154,43	*	**	
3	(İgnimbirit)	1744,39	1619,23	1765,27	1567,10	1733,51	1311,09	1723,51	1413,60	1749,95	1369,53	1248,23	1752,67	1105,52	*	**	
4	(İgnimbirit)	2331,01	2430,39	2389,23	2365,04	2322,37	2326,03	2361,51	2255,26	2410,83	2058,21	1666,37	2661,12	1466,35	*	**	
5	(İgnimbirit)	3025,52	3046,14	2982,80	3003,48	2860,91	3026,46	3035,07	3020,30	2858,49	2951,05	2948,57	3037,15	2891,04	*	**	
6	(Granit)	4816,78	4455,73	**	**	4892,46	3277,84	**	**	4943,28	1770,73	**	4947,74	1276,89	4860,62	962,68	
7	(Traverten)	4506,94	2992,02	4476,15	2666,19	4444,01	2434,59	4310,84	1618,19	4485,94	1119,88	4627,67	*	*	**	**	
8	(Granit)	3972,13	3011,19	**	**	4283,80	1891,70	**	**	4181,39	890,66	**	*	*	**	**	

Çizelge 4.11 Suda soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama ultrasonik hız değerleri.

		UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)															
		200 °C		300 °C		400 °C		500 °C		600 °C		700 °C		800 °C		1000 °C	
Numune Adı	Ortalama Ultrasonik Hız (m/sn)	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası
		1 (İgnimbirit)		1669,71	1602,76	1505,00	1484,87	1545,32	1312,90	1554,11	1218,23	1674,28	1203,96	1544,60	1093,78	1548,72	1041,13
2 (İgnimbirit)		2409,45	2397,59	2364,37	2013,66	2372,78	1652,34	2374,20	1448,90	2375,00	1031,34	*	*	**	**	**	**
3 (İgnimbirit)		1748,99	1634,07	1735,68	1512,29	1739,78	1445,62	1758,15	1399,52	1728,42	1339,01	1737,25	1195,77	1752,52	1069,56	*	**
4 (İgnimbirit)		2401,47	2411,26	2447,13	2160,39	2472,29	1695,11	2399,50	1484,37	2397,16	1122,46	*	*	**	**	**	**
5 (İgnimbirit)		3044,52	3004,96	2982,44	2961,03	3029,08	3007,40	3047,34	2972,16	3059,35	2974,46	3044,82	2948,57	3031,27	2356,28	*	*
6 (Granit)		4852,42	4400,30	**	**	4896,33	3001,15	**	**	4891,28	1651,19	**	**	4888,48	1206,27	4871,16	922,13
7 (Traverten)		4627,68	2770,88	4501,59	2022,44	4388,86	1591,45	4496,82	1240,91	4412,15	888,60	*	*	**	**	**	**
8 (Granit)		4075,16	2994,16	**	**	4394,64	1742,64	**	**	4306,50	888,23	**	**	*	*	**	**

Çizelge 4.12 Havada soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama ultrasonik hız değerlerindeki yüzde değişimler.

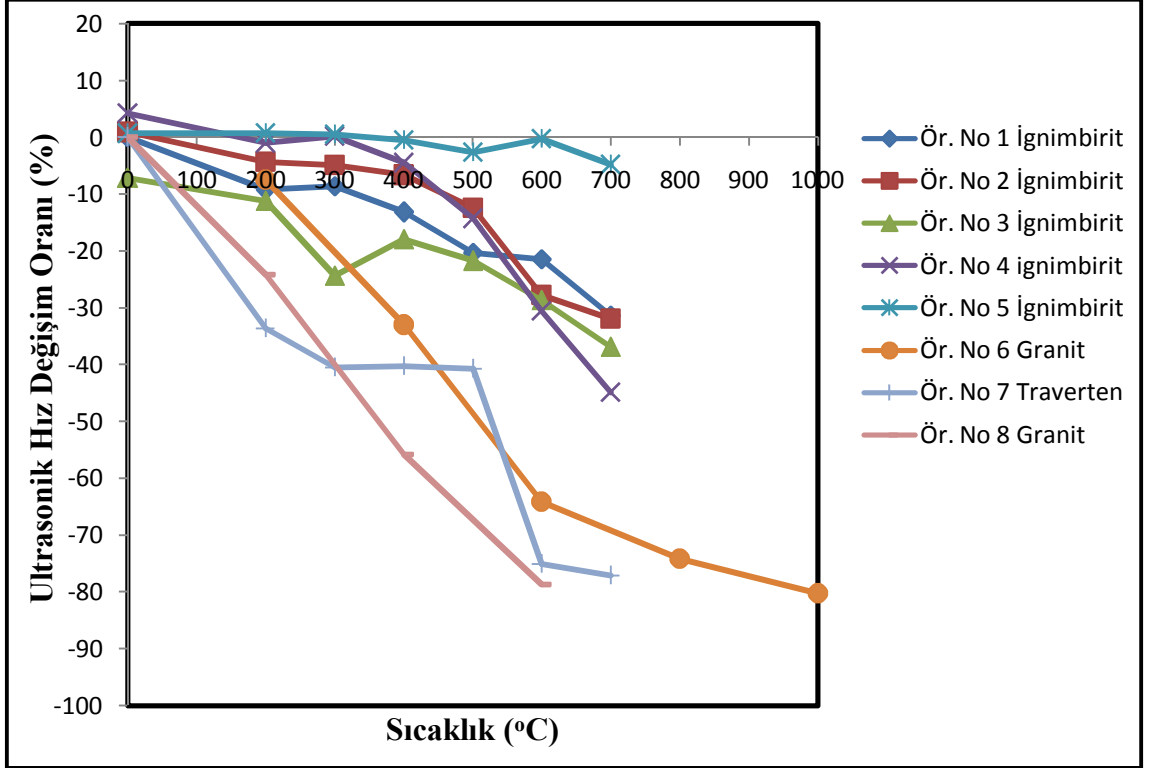
Numune Adı	UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)							
	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	1000°C
	Ortalama Ultrasonik Hız Değişim Oranı (%)							
1 (İgnimbirit)	0,019	-9,226	-8,622	-13,176	-20,279	-21,452	-31,369	*
2 (İgnimbirit)	0,902	-4,318	-4,930	-6,647	-12,421	-27,730	-31,882	*
3 (İgnimbirit)	-7,175	-11,226	-24,368	-17,981	-21,739	-28,631	-36,92	*
4 (İgnimbirit)	4,263	-1,012	0,158	-4,499	-14,306	-30,610	-44,90	*
5 (İgnimbirit)	0,682	0,693	0,477	-0,487	-2,663	-0,270	-4,810	*
6 (Granit)	-7,496	**	-33,002	**	-64,179	**	-74,192	-80,194
7 (Traverten)	-33,613	-40,436	-40,265	-40,716	-75,036	-77,077	*	**
8 (Granit)	-24,192	**	-55,840	**	-78,699	**	*	**

\* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır, \*\* Deney yapılmamıştır.

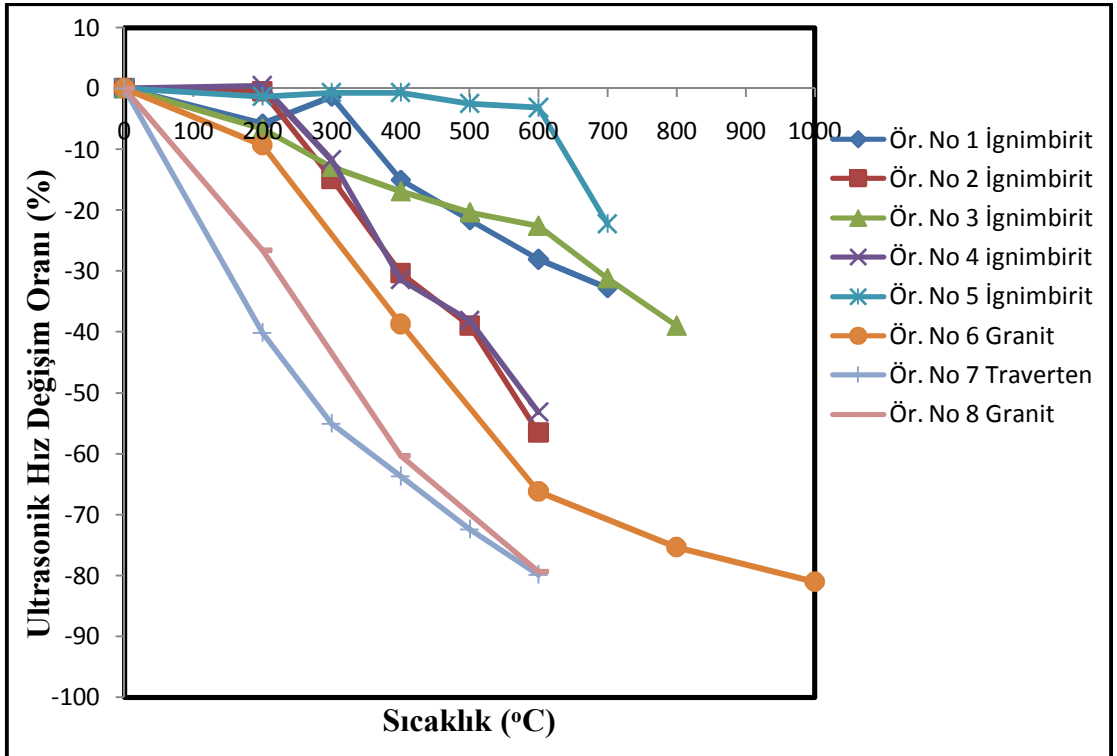
Çizelge 4.13 Suda soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama ultrasonik hız değerlerindeki yüzde değişimler

Numune Adı	UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)							
	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	1000°C
	Ortalama Ultrasonik Hız Değişim Oranı (%)							
1 (İğnimbirit)	-5,704	-1,338	-15,040	-21,612	-28,091	-29,187	-32,775	*
2 (İğnimbirit)	-0,492	-14,833	-30,363	-38,973	-56,575	*	**	**
3 (İğnimbirit)	-6,571	-12,870	-16,908	-20,398	-22,530	-31,169	-38,970	*
4 (İğnimbirit)	0,408	-11,717	-31,436	-38,138	-53,175	*	**	**
5 (İğnimbirit)	-1,299	-0,718	-0,716	-2,467	-2,775	-3,161	-22,268	*
6 (Granit)	-9,317	**	-38,706	**	-66,242	**	-75,324	-81,070
7 (Traverten)	-40,124	-55,073	-63,739	-72,405	-79,860	*	**	**
8 (Granit)	-26,527	**	-60,346	**	-79,375	**	*	**

\* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır, \*\* Deney yapılmamıştır.



Şekil 4.1 Havada soğuyan örneklerin sıcaklık artışına bağlı ultrasonik dalga hızlarındaki değişim yüzdeleri.



Şekil 4.2 Suda soğuyan örneklerin sıcaklık artışına bağlı ultrasonik dalga hızlarındaki değişim yüzdeleri.

Sıcaklıktan en çok etkilenen örneklerden travertenin gözenekliliğinin yüksek olduğu görülmüştür. Traverten 800 °C'de parçalara ayrılacak derecede bozunmuştur ve en fazla 700 °C'ye kadar dayanabilmiştir. Ayrıca bu kayalar yüksek oranda CaCO<sub>3</sub> içerdikleri için soğuma sırasında nem aldıkça bozunma devam ederek artmıştır (Ünal vd., 2007).

İgnimbirit örneklerinin sıcaklık değişimine bağlı ultrasonik dalga hızındaki değişimleri Şekil 4.1 ve 4.2 de görüldüğü gibi sıcaklığa farklı şekillerde tepki vermişlerdir. İgnimbirit örnekleri 800 °C'ye kadar ki sıcaklıklara dayanabilmektedirler. 800 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uflanma, dökülme ve çatlak oluşumu gözlenmektedir. 5 nolu ignimbirit örneği sıcaklıktan en az etkilenen örnek olmuştur, örnek no 4 ignimbirit örneği ise bu grupta sıcaklıktan en çok etkilenen örnek olmuştur. İgnimbirit örneklerinin 200 °C'ye kadar ki sıcaklıklarda ultrasonik hızlarında bir artış meydana gelmiştir, daha sonra artan sıcaklıkla ultrasonik hız azalmıştır. 5 nolu ignimbirit örneği 400 °C'ye kadar ultrasonik hızında artış meydana gelmiştir. 400 °C den sonra kayada meydana gelen bozunmalarla birlikte ultrasonik hız azalmıştır.

Magmatik kayalardan granit örneklerinin sıcaklıktan etkilenmeleri farklı olmuştur. 6 nolu granit örneği 1000 °C'ye kadar dayanabilirken, daha iri kristalli olan 8 nolu granit örneğinin 800 °C'ye dayanabildiği görülmüştür. 800 °C den sonra bu granit örneğinde ufalanmalar, dökülmeler ve mikro çatlakların oluştuğu görülmüştür. Magmatik kayaların sıcaklığa karşı farklı tepki vermeleri kimyasal bileşim, ve doku özelliklerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İncelenen örneklerinin P-dalga hızlarının bozunma derecesine bağlı değişimini belirlemek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda Şekil 4.1 ve 4.2 de verilen grafik elde edilmiştir. Şekil 4.1'deki grafiğe göre, incelenen örneklerin bozunma derecesinin artmasıyla P-dalgası hızlarında bir azalma olduğu görülmüş ve bu durum bozunma sonucunda oluşan boşlukların artması nedeniyle örneklere ait P-dalgası hızlarının azalmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Şekil 4.2 de görüldüğü gibi incelenen örneklerden suda soğutulan örneklerin P-dalgası hızlarındaki azalmanın daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum ısınan

örneklerin aniden soğumasına bağlı olarak kayalarda meydana gelen bozunmadan kaynaklandığı düşünülmüştür.

#### 4.4.2 Örneklerin dayanım özelliklerindeki değişimler

İncelenen örnekler farklı sıcaklıklara maruz bırakılmadan önce şahit kayalar üzerinde tek eksenli basınç deneyi yapılmış ve farklı sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonrada numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanım deneyi yapılmıştır. Elde edilen verilerin ortalama değerleri Çizelge 4.14 ve 4.15’de ve yüzde değişim değerleri ise Çizelge 4.16 ve 4.17 de verilmiştir. Ayrıca yüzde değişim değerleri grafikler halinde de gösterilmiştir (Şekil 4.3, 4.4).

Traverten örneği 700 °C sıcaklığa kadar dayanabilmektedir, ancak bu sıcaklıkta dayanımının yaklaşık %70 ini yitirmektedir. Travertenlerin 600 °C ve üzeri sıcaklıklara maruz kalması dayanım açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. İçeriğinde yüksek oranda CaCO<sub>3</sub> bulunduran travertenin soğuma esnasında bünyesine nem almasından dolayı su ile soğutulan örneklerde bozunma daha hızlı olmuştur.

İgnimbiritlerin sıcaklığa karşı dayanımları farklı olmuştur. Bu durum örneklerin fiziksel, mekanik ve petrografik özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. İgnimbirit örnekleri 800 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda dayanımlarını önemli ölçüde kaybetmektedir.

Magmatik kökenli granit örneklerinin petrografik, fiziksel ve mekanik gibi özellikleri farklılık gösterdiğinden yüksek sıcaklıklara karşı farklı dayanım göstermektedirler. İri taneli (no.8) Kırşehir granit örneğinin 800 °C de dayanımının büyük bir kısmını yitirdiği görülmektedir. Bu sıcaklıkta ufalanmalar ve çatlak oluşumu gözlenmiştir. İnce taneli (no.6) Erzurum-İspir granit örneğinde ise 1000 °C de makro çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar meydana gelmektedir.

Çizelge 4.14 Havada soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama tek eksenli basınç dayanım değerleri.

		UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)															
		200 °C		300 °C		400 °C		500 °C		600 °C		700 °C		800 °C		1000 °C	
Numune Adı		Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)															
		Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası
1	(İgnimbirit)	11,77	11,38	11,77	9,64	11,77	8,32	11,77	10,51	11,77	9,67	11,77	9,37	11,77	8,17	*	*
2	(İgnimbirit)	11,75	11,59	11,75	9,09	11,75	11,38	11,75	11,46	11,75	11,75	11,75	11,32	11,75	9,54	*	*
3	(İgnimbirit)	13,20	13,60	13,20	13,84	13,20	14,84	13,20	14,31	13,20	13,36	13,20	13,19	13,20	11,53	*	*
4	(İgnimbirit)	11,73	11,33	11,73	10,05	11,73	12,01	11,73	12,18	11,73	9,72	11,73	8,23	11,73	6,21	*	*
5	(İgnimbirit)	22,70	20,9	22,70	17,80	22,70	19,14	22,70	18,48	22,70	17,83	22,70	17,01	22,70	14,78	*	*
6	(Granit)	120,29	107,37	**	**	120,29	99,58	**	**	120,29	66,69	**	**	120,29	44,95	23,17	23,17
7	(Traverten)	20,26	15,26	20,26	11,79	20,26	12,41	20,26	11,61	20,26	9,7	20,26	6,08	*	*	**	**
8	(Granit)	70,80	63,60	**	**	70,80	43,11	**	**	70,80	10,34	**	**	70,80	7,71	*	*

Cizelge 4.15 Suda soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama tek eksenli basınç dayanım değerleri.

		UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)																
		200 °C		300 °C		400 °C		500 °C		600 °C		700 °C		800 °C		1000 °C		
Numune Adı		Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)																
		Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Deney Öncesi	Deney Sonrası	
1	(İgnimbirit)	11,77	10,43	11,77	9,08	11,77	8,06	11,77	7,54	11,77	9,57	11,77	7,61	11,77	7,52	11,77	7,52	*
2	(İgnimbirit)	11,75	10,78	11,75	8,47	11,75	7,32	11,75	8,96	11,75	10,81	11,75	6,06	11,75	*	*	*	**
3	(İgnimbirit)	13,20	13,43	13,20	13,55	13,20	14,01	13,20	12,28	13,20	11,84	13,20	9,87	13,20	9,016	13,20	9,016	*
4	(İgnimbirit)	11,73	10,58	11,73	9,04	11,73	8,91	11,73	8,49	11,73	7,95	11,73	6,14	11,73	*	*	*	**
5	(İgnimbirit)	22,70	20,15	22,70	16,95	22,70	17,86	22,70	17,84	22,70	16,49	22,70	16,06	22,70	13,17	22,70	13,17	*
6	(Granit)	120,29	95,51	**	**	120,29	76,15	**	**	**	56,79	120,29	**	**	45,05	120,29	45,05	20,72
7	(Traverten)	20,26	18,25	20,26	17,22	20,26	12,10	20,26	11,55	20,26	6,24	20,26	4,76	20,26	*	*	*	**
8	(Granit)	70,80	54,67	**	**	70,80	44,48	**	**	**	15,06	70,80	**	**	6,43	70,80	6,43	*

Çizelge 4.16 Havada soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama tek eksenli basınç dayanım değerlerindeki yüzde değişimler.

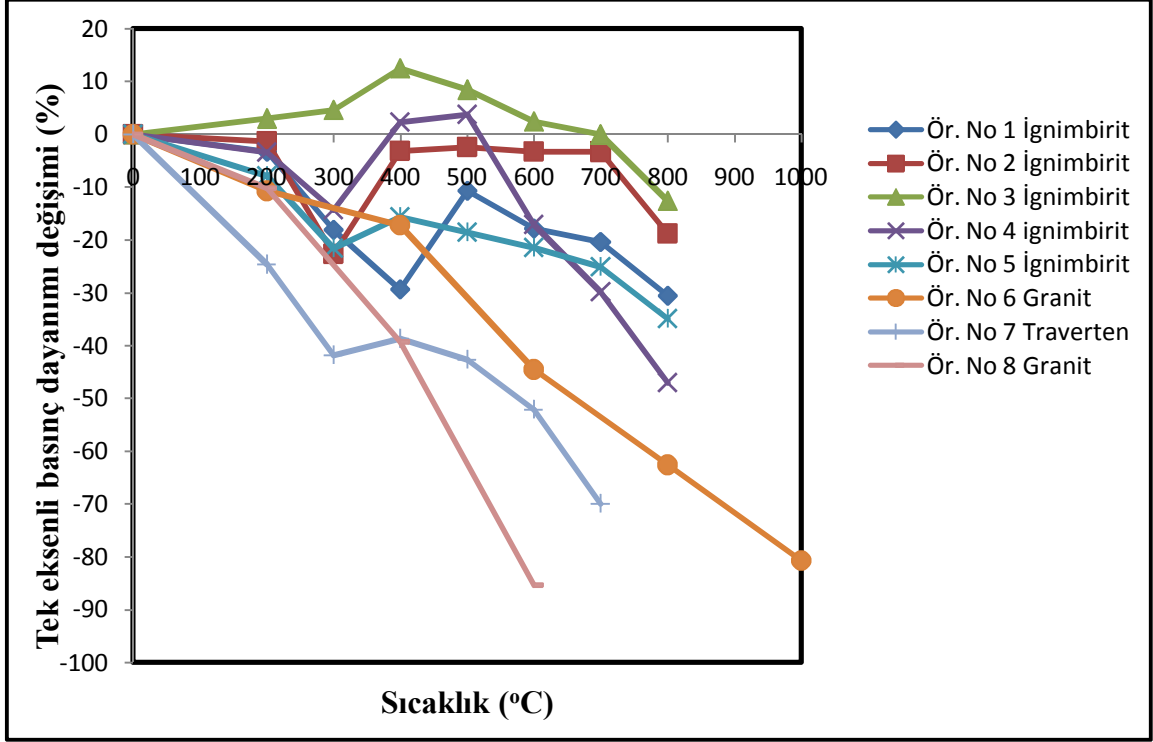
Numune Adı	UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)							
	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	1000°C
	Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişim Oranı (%)							
1 (İgnimbirit)	-3,314	-18,097	-29,312	-10,705	-17,842	-20,391	-30,586	*
2 (İgnimbirit)	-1,362	-22,639	-3,149	-2,468	-3,319	-3,659	-18,809	*
3 (İgnimbirit)	2,941	4,624	12,424	8,409	2,439	-0,076	-12,652	*
4 (İgnimbirit)	-3,410	-14,322	2,331	3,695	-17,136	-29,838	-47,059	*
5 (İgnimbirit)	-7,930	-21,586	-15,683	-18,590	-21,454	-25,066	-34,890	*
6 (Granit)	-10,741	**	-17,217	**	-44,559	**	-62,632	-80,740
7 (Traverten)	-24,679	-41,807	-38,746	-42,695	-52,122	-69,990	*	**
8 (Granit)	-10,169	**	-39,310	**	-85,395	**	-89,110	*

\* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır, \*\* Deney yapılmamıştır.

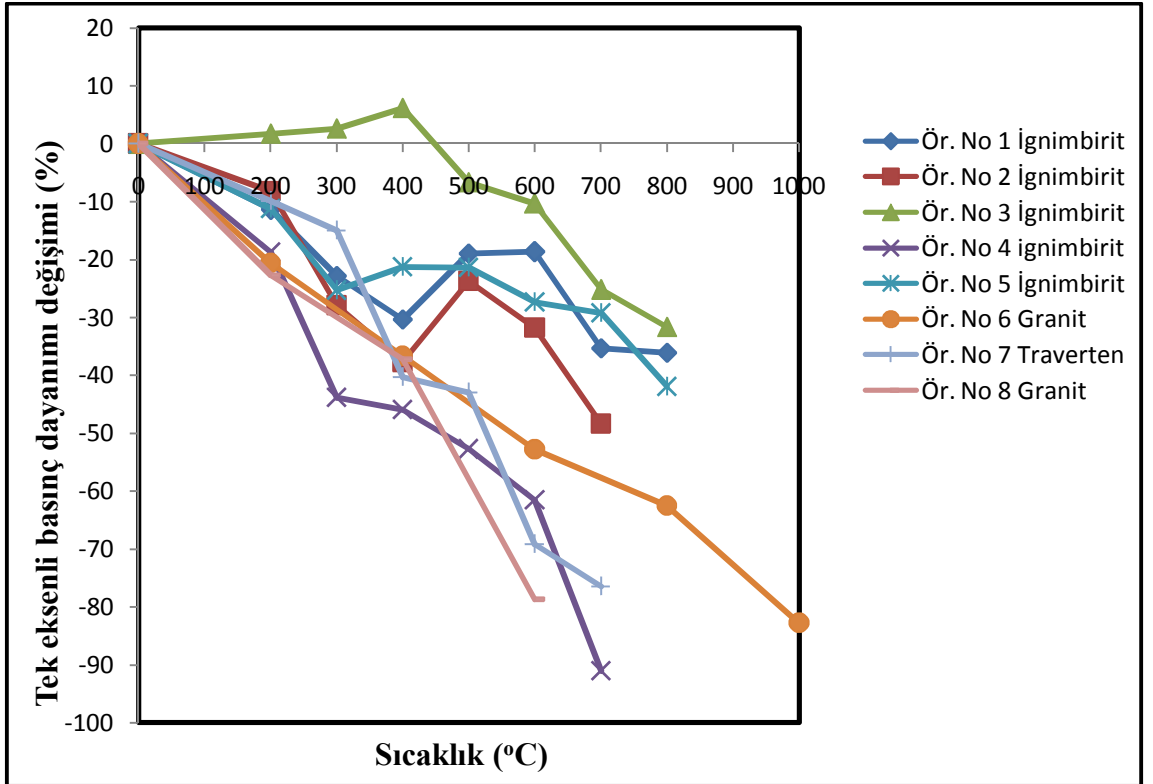
Çizelge 4.17 Suda soğuyan örneklerin deney öncesi ve sonrası ortalama tek eksenli basınç dayanım değerlerindeki yüzde değişimler.

Numune Adı	UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)							
	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	1000°C
	Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişim Oranı (%)							
1 (İgnimbirit)	-11,255	-22,855	-30,331	-18,946	-18,692	-35,378	-36,109	*
2 (İgnimbirit)	-8,255	-27,915	-37,715	-23,745	-31,83	-48,426	*	**
3 (İgnimbirit)	1,742	2,576	6,136	-6,690	-10,310	-25,220	-31,705	*
4 (İgnimbirit)	-18,730	-43,811	-45,938	-52,769	-61,564	-91,042	*	**
5 (İgnimbirit)	-11,233	-25,330	-21,322	-21,410	-27,357	-29,251	-41,982	*
6 (Granit)	-20,601	**	-36,692	**	-52,790	**	-62,554	-82,775
7 (Traverten)	-9,920	-15,001	-40,282	-42,991	-69,203	-76,511	*	**
8 (Granit)	-22,782	**	-37,181	**	-78,728	**	-90,921	*

\* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır, \*\* Deney yapılmamıştır.



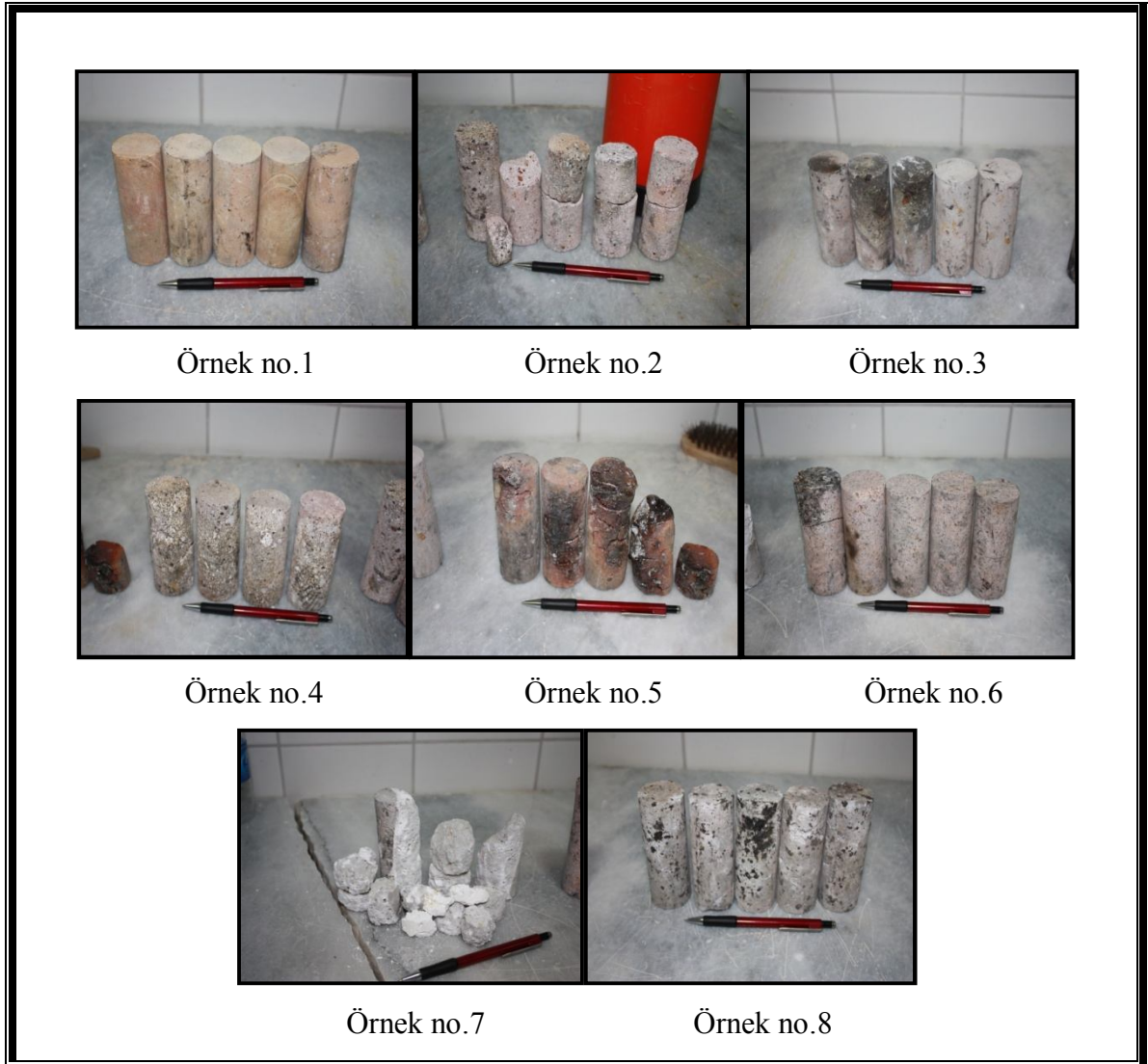
Şekil 4.3 Havada soğuyan örneklerin sıcaklık artışına bağlı numunelerin tek eksenli basınç dayanımlarındaki değişim yüzdeleri.



Şekil 4.4 Suda soğuyan örneklerin sıcaklık artışına bağlı numunelerin tek eksenli basınç dayanımlarındaki değişim yüzdeleri.

Farklı özelliklere sahip kayaçların sıcaklığa karşı dirençlerindeki değişim oranlarını karşılaştırabilmek için 600 °C'ye kadar olan değişim oranlarına dikkat edilmelidir. En az değişim örnek no 3 ignimbirit örneğinde görülmektedir, en fazla değişim ise örnek no 8 granit örneğinde görülmektedir.

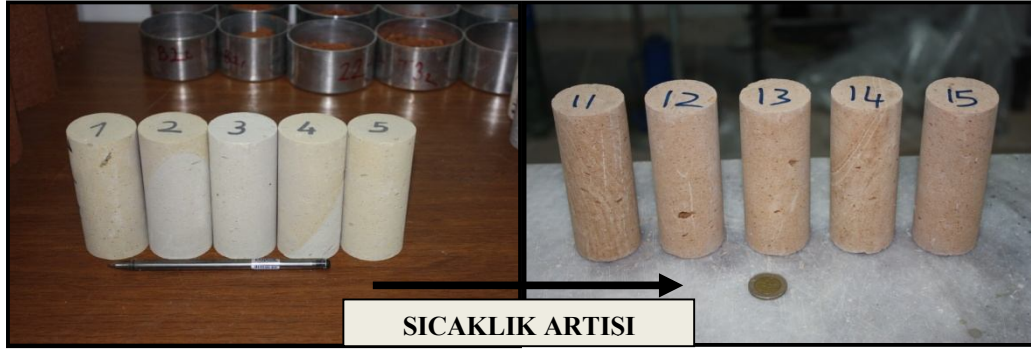
Kayaçların mineral içeriklerinin ve yapılarının bozunma derecesi ve şekli ile doğrudan ilgili olduğu görülmektedir. Örneğin; kimyasal bileşimleri farklı olan ignimbirit örneklerinde 3 ve 5 nolu ignimbirit örneklerinde erime ile birlikte çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar meydana gelirken, 2 ve 4 nolu ignimbirit örneklerinde ufalanma, dökülme ile birlikte çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar meydana gelmektedir (Şekil 4.5).



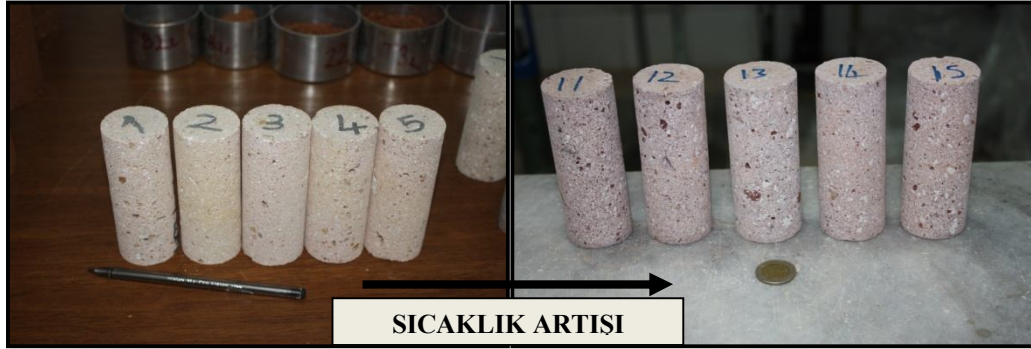
Şekil 4.5 Farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış örneklerin durumu.

#### 4.4.3 Örneklerin renk değişimleri

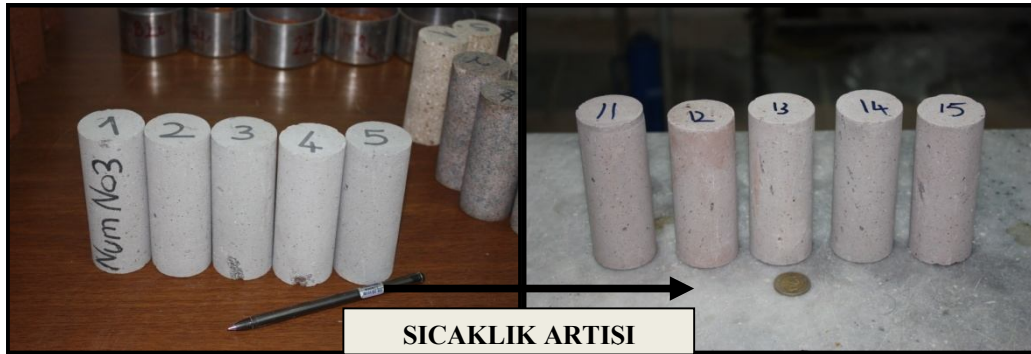
Tüm örneklerde 400 °C de renkler koyulaşırken artan sıcaklıkla beraber renklerde açılma görülmüştür. En fazla renk değişimi 5 nolu ignimbirit örneğinde görülmüştür. Siyah ignimbirit 700 °C de kahverengimsi bir renk almıştır. Renk değişiminin ignimbiritin bileşimdeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Renk değişiminin çok fazla görüldüğü diğer bir kayaç da travertendir. Traverten 600 °C den sonra tebeşire benzer beyaz renk almıştır. Renk değişiminin en az olduğu örnekler granit örnekleridir. Granit örnekleri 800 °C'den sonra açık pembe renklerini aldıkları görülmektedir (Şekil 4.6, 4.7).



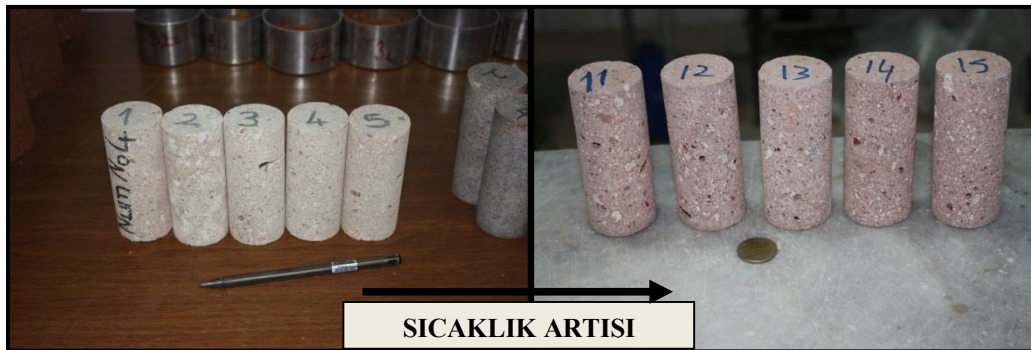
(Örnek no.1)



(Örnek no.2)



(Örnek no.3)



(Örnek no.4)

Şekil 4.6 Sıcaklık artışına bağlı renk değişimi.



(Örnek no.5)



(Örnek no.6)



(Örnek no.7)



(Örnek no.8)

Şekil 4.7 Sıcaklık artışına bağlı renk değişimi.

#### 4.5 İncelenen Örneklerin Bozunma Derecelerinin Belirlenmesi

İncelenen örneklerin bozunma derecesini, fiziksel ve mekanik parametreler ile bozunma derecesi arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla puanlamaya dayalı alterasyon sınıflamalarından yararlanılmıştır. Bu amaçla Kılıç (1999)'un birleştirilmiş alterasyon indeksinden yararlanılmıştır. İncelenen tüm örneklerin farklı sıcaklıklarda birleştirilmiş alterasyon indeksi değerleri hesaplanmıştır (EK-A, EK-B). Ayrıca örneklerin farklı sıcaklıklardaki bozunma sınıfları Çizelge 4.18 ve 4.19'da verilmiştir.

Traverten örneklerinde bozunmanın 200 °C de başladığı ve artan sıcaklıklarla birlikte bozunmanın arttığı görülmektedir. Travertenler 700 °C sıcaklığa kadar dayanabilmektedir, ancak bu sıcaklıklarda dayanımının önemli bir bölümünü yitirmektedir. Travertenler 500-600 °C aralığında oldukça altere ve çok altere olmuş (IV-V) kaya sınıfında bulunmaktadır. Travertenlerin 600 °C ve üzeri sıcaklıklara maruz kalması dayanım açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Ayrıca bu kayaların içeriğinde yüksek oranda CaCO<sub>3</sub> bulunduğu suda soğutulan örneklerde bünyesine nem almasından dolayı bozunma daha hızlı gerçekleşmiştir.

Granit örneklerinde bozunma 200 °C de başlamaktadır. Granit örneklerinin yüksek sıcaklık karşısındaki bozunma dereceleri farklı olmaktadır. Bu durum granit örneklerinin petrografik, fiziksel ve mekanik gibi özelliklerinin farklılık göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İnce kristalli Erzurum-İspir granit örneği (Ör.6) 1000 °C'de çok altere olurken, daha iri kristalli olan Kırşehir granit örneği (Ör.8) 600 °C'de çok altere olmaktadır. İri taneler ile ince taneler arasında genleşme değerlerindeki farklılıkların bozunmada etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca suda soğutulan örneklerde kendiliğinden soğuyan örneklere göre alterasyon beklendiği gibi daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir.

İgnimbirit örneklerinde alterasyonun başlama sıcaklığı 300 °C dir. İgnimbirit örneklerinin yüksek sıcaklığa karşı bozunma dereceleri farklı olmuştur. Bu örneklerin kimyasal bileşimleri, doku, mineral içerikleri gibi özelliklerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcaklıktan en az etkilenen ignimbirit örneği Kayseri-siyah (Örnek-5) ignimbirit örneği olduğu görülmektedir. Kayseri-siyah ignibirit

örneğin 700 °C ye kadar altere olmadığı görülmektedir. Ancak 800 °C ve üzeri sıcaklıklarda alterasyonun hızla arttığı görülmektedir.

İgnimbirit örnekleri kendi arasında gruplandırılırsa su ile soğutulan örnekler, kendiliğinden soğumaya bırakılan örneklere göre bozunmanın daha düşük sıcaklıklarda başladığı görülmektedir. Bu durum ısınan örneklerin ani soğumasıyla kayacı oluşturan farklı büyüklükteki minerallerin genişleme ve soğumaya bağlı büzülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Nevşehir formasyonuna ait ignimbirit örnekleri (Örnek-2 ve Örnek-4) su ile soğutulduklarında alterasyon dereceleri diğer ignimbirit örneklerine göre daha yüksek olmaktadır. Su ile soğutulan bu örneklerin 500-600 °C arasındaki sıcaklıklarda dayanım açısından önemli risk oluşturmaktadır.

Çizelge 4.18 Havada soğuyan örneklerin birleştirilmiş alterasyon indeksi bozunma sınıfları.

Numune Adı	UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)							
	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	1000°C
	Birleştirilmiş Alterasyon İndeksi (UAI) Bozunma Sınıfları							
1 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	*
2 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	*
3 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	*
4 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	*
5 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	*
6 (Granit)	II Az altere olmuş	**	II Az altere olmuş	**	IV Oldukça altere olmuş	**	IV Oldukça altere olmuş	V Çok altere olmuş
7 (Traverten)	II Az altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	IV Oldukça altere olmuş	IV Oldukça altere olmuş	V Çok altere olmuş	*	**
8 (Granit)	II Az altere olmuş	**	III Orta derece altere olmuş	**	V Çok altere olmuş	**	*	**

\* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır, \*\* Deney yapılmamıştır.

Çizelge 4.19 Suda soğuyan örneklerin birleştirilmiş alterasyon indeksi bozunma sınıfları.

Numune Adı	UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)							
	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	1000°C
	Birleştirilmiş Alterasyon İndeksi Sınıfları							
1 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	*
2 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	IV Oldukça altere olmuş	*	**	**
3 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	*
4 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	III Orta derece altere olmuş	*	**	**
5 (İgnimbirit)	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	I Altere olmamış	III Orta derece altere olmuş	*
6 (Granit)	II Az altere olmuş	**	III Orta derece altere olmuş	**	IV Oldukça altere olmuş	**	IV Oldukça altere olmuş	V Çok altere olmuş
7 (Traverten)	II Az altere olmuş	II Az altere olmuş	IV Oldukça altere olmuş	IV Oldukça altere olmuş	V Çok altere olmuş	*	**	**
8 (Granit)	II Az altere olmuş	**	III Orta derece altere olmuş	**	V Çok altere olmuş	**	*	**

\* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır, \*\* Deney yapılmamıştır.

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Yangınla hasara uğramış yapı taşı özelliklerindeki değişimler hakkında sağlıklı bir karar verebilmek için dikkatli gözlem ve ayrıntılı çalışmalar yapmak gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilen verilerde göstermektedir ki kayaçların artan sıcaklığa bağlı olarak dayanımları ve ultrasonik hızlarındaki değişimler farklılık göstermektedir. Deney çalışmaları sonucunda elde edilen bilgi, gözlem ve tespitler aşağıda sıralanmıştır.

Yangın hasarına uğramış yapı taşları özelliklerinin tayininde tahribatsız ultrasonik ölçüm yönteminin uygulanması yararlı olabileceği düşünülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak bozunumun arttığı, bunun da ultrasonik dalga hızı ölçümleri ile belirlenebileceği görülmüştür.

Bu çalışmada yapılan deney bulguları genel bağlamda irdelendiğinde, farklı türdeki yapı taşlarının (traverten, granit ve ignimbirit) yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldığında yanmaz, parlamaz, alev almaz birer malzeme olduğu belirlenmiştir.

Yangında yapı taşlarının hangi sıcaklığa kadar direnç göstereceği belirlenmiştir. Yani ignimbirit 800 °C'ye kadar, traverten 700 °C'ye kadar, Kırşehir graniti 800 °C'ye kadar ve Erzurum-İspir graniti ise 1000 °C'ye kadar dayanabildiği görülmüştür.

Çalışmada yapı taşlarında şekilsel bozunum olup olmadığı hangi sıcaklıklarda bu olayların gözlemlendiği de tespit edilmiştir. Traverten örneğinde bozunma 700 °C'de tamamen dağılma şeklinde olduğu görülmüştür. Kırşehir granit (Örnek-8) örneğinde 800 °C'de çatlak oluşumu ve ufalanma şeklinde olmuştur. Erzurum-İspir granit örneğinde (Örnek-6) 1000 °C'de çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar olduğu görülmüştür. İgnimbirit örneklerinde 800 °C'de çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar oluşmuştur. Kayseri-gri (Örnek-3) ve Kayseri-siyah (Örnek-5) örneklerinde 800 °C'de erime ve çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar görülmektedir. Kayseri-sarı ignimbirit örneğinde (Örnek-1) 800 °C'ye kadar herhangi bir bozunma görülmemiştir, ancak 1000 °C ve üzeri sıcaklıklarda çatlama şeklinde bozunmalar olduğu görülmektedir. Ayrıca su ile soğutulan örneklerde ani soğumayla birlikte bozunmanın daha erken sıcaklıklarda başladığı ve bozunma derecesinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Traverten ve granit örneklerinin dayanımları artan sıcaklığa bağlı olarak azalmaktadır. İgnimbirit örneklerinin dayanımları düşük sıcaklıklarda bir miktar artmaktadır. 400 °C ve üzeri sıcaklıklarda ise önemli bir azalma görülmektedir.

Traverten, ignimbirit ve granit örneklerinin ultrasonik hızları artan sıcaklığa bağlı olarak azalmaktadır. Bu davranışın kayaç bünyesindeki boşluk oranının artması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca suda soğutulan örneklerde bozunmanın fazla olması nedeniyle havada soğuyan örneklere göre ultrasonik hızlarındaki değişim daha hızlı gerçekleşmiştir.

Kayseri-sarı ignimbirit örneği çok yüksek sıcaklıklara kadar dayanabilmektedir ve ancak 1000 °C 'de çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar meydana gelmektedir. Bu özelliğinden dolayı yapı sektöründe yangına dayanıklı yapı taşı olarak kullanılabilmesi önerilmektedir.

Yapı taşının hangi sıcaklıkta hangi rengi aldığı belirlenmiştir. Genel olarak bütün numuneler 400 °C' de renkler koyulaşırken, sıcaklığın artışıyla numunelerin renklerinde açılma görülmüştür. Renk değişimi en fazla sırasıyla Kayseri-siyah ignimbirit örneğinde ve travertende görülmüştür. En az renk değişimi ise granit örneklerinde olmuştur.

Kayaçların mineral içeriklerinin ve yapılarının bozunma derecesi ve şekli ile doğrudan ilgili olduğu görülmektedir. Örneğin; kimyasal bileşimleri farklı olan ignimbirit örneklerinde örnek no. 3 ve 5 ignimbirit örneklerinde erime ile birlikte çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar meydana gelirken, örnek no.1 ignimbirit örneğinde ufalanma, dökülme ile birlikte çatlak oluşumu şeklinde bozunmalar meydana gelmektedir.

## KAYNAKLAR

- Allison, R. J., A non-destructive method of determining rock strength, *Earth Surface Processes and Landforms*, 13, 729- 736, 1988.
- Allison, R. J. ve Bristow, G. E., The effects of fire on rock weathering: some further considerations of laboratory experimental simulation, *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 8 , 707 – 713, 1999.
- ANON, The description and classification of weathered rocks for engineering purposes, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, 207-242, 1995.
- Arıkan, F., Asidik volkanik kayalar için mühendislik amaçlı bozunma sınıflaması, Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2002.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), Annual Book Of ASTM Standards Construction: Soil and Rock, *ASTM Publication*, 1994.
- Barker, J. M and Austin, G.S., Construction uses stone, decorative, *Industrials Minerals and Rocks*, Colorado, USA, 1994.
- Bell, F. G., Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat, Çeviren: Kamik Kayabalı, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 2006.
- Cragg, D. J., and Ingman, J., Rock weathering descriptions: current difficulties, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, 277-286, 1995.
- Çelik, M, Y. ve Kavuşan, G., Doğal taş ve mermerlere uygulanan yüzey şekillendirme teknikleri, *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 77-86, 2001.
- Çelik, M, Y., Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri, *Madencilik Dergisi*, 1, 3-15, 2003.
- Deere, D.V. and Miller R.L., Engineering classification and index properties of intact rock, Department of Civil Engineering, *University of Illinois*, Urbana, 90-101,1966.
- Devecioğlu, A., Biçer, Y. ve Kavak, E., *Diyarbakır Karacadağ taşının bazı fiziksel özellikleri*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, II. GAP ve Sanayi Kongresi 29-30 Eylül 2001, Şanlıurfa, 2001.

Eriç, M., Yapı Fiziği ve Malzemesi, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 1994.

Goodman, R. E., Introduction to Rock Mechanics, *John Wiley & Sons*, New York, 1989.

Goudie, A. S., Allison, R. J. and McLaren, S. J., The relations between modulus of elasticity and temperature in the context of the experimental simulation of rock weathering by fire, *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 605-615, 1992.

Gökçeoğlu, C., Killi, Yoğun süreksizlik içeren ve zayıf kaya kütlelerinin mühendislik sınıflamalarında karşılaşılan güçlüklerin giderilmesine yönelik yaklaşımlar, Doktora tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1997.

Hajpal, M ve Török A., *Petrophysical and mineralogical studies of burnt sandstones*, 2nd International Ph.D. Symposium in Civil Engineering, 1998.

Hodger, A. P. W., and Hetherington, J.R., A quantitative study of the weathering of greywacke, *Engineering Geology*, 31, 353-368, 1991.

ISRM (International Society for Rock Mechanics), Rock characterization, testing and monitoring: *ISRM Suggested methods*, Pergamon Pres, Oxford, E.T. Brown (ed.), 1981.

Kahraman, S., Fener, M., and Günaydın, O., Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values, *Int. J. Rock mech. and Mining Sci.* 39, 395-399, 2002.

Kieslinger, A., *Principle factors in weathering of natural building stones*, Conference On the Weathering of Stones, ICOMOS, Paris, 1968.

Kılıç, R., Geomechanical properties of the ophiolites (Çankırı/Turkey) and alteration degree of diabase, *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, 51, 63-69, 1995.

Kılıç, R., A unified alteration index (UAI) for mafic rocks, *Environmental and Engineering Geoscience*, 4, 475-483, 1999.

Kocataşkın F., *Yapı malzemelerinin yangındaki davranışı*, Yapı Malzemesi Semineri, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 44, 1988.

Koca, M. Y., Yavuz, A. B., Kincal, C. ve Türk, N., *Yangın sonucu mermer sütunların bazı mühendislik özelliklerinde değişimler*, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001), Bildiriler s:197-207, Afyon, 2001.

Koca, M.Y., Ozden, G., Yavuz, A.B., Kincal, C., Onargan, T. and Kucuk, K., Changes in the engineering properties of marble in fire-exposed columns, *International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences*, 43 (2006), 520-530.

Küçükaya, G., Taşların Bozulma Nedenleri Koruma Yöntemleri, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 2004.

Liang, W. G., Xu, S. G. and Zhao, Y.S., Experimental study of temperature effects on physical and mechanical characteristics of salt rock, *Rock Mecanics and Rock Engineering*, (2006) 39 (5), 469-482, 2005.

Norwegian Group for Rock Mechanics (NBG), Engineering Geology and Rock Engineering, Handbook No 2, pp. 249, 1985.

Özdeniz M. B., Pehlevan A., Yasar Y., Yılmaz S. Kars F., *Yeni briket*, Yalıtım Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, s57-66, , 15-16 Mayıs, 1997.

Price, D. G., A suggested method for the classification of rock mass weathering by a rating system, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 26, 69-76, 1993.

Saltoğlu, S., Açık İşletmeler, *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası*, İstanbul, 1992.

Singh, R. N., and Gahroee, D.R., Application of rock mass weakening coefficient for stability assessment of slopes in heavily jointed rock masses, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 3, 207- 219,1989.

Tahran, F., Mühendislik Jeoloji Prensipleri, *KTÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayını*, No:41, Trabzon, 1996.

TS EN 13501, Yapı mamulleri ve yapı elemanları-yangın sınıflandırması – Bölüm 1: Yangın Karsısındaki Davranış Deneylelerinden Elde Edilen Veriler Kullanılarak Sınıflandırma, *TSE*, Ankara, 2003.

TS 2513, Doğal yapı taşları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1977.

Ulusay, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, *TMMOB Jeoloji Mühendisler Odası yayınları*: 38 Ankara, 385, 2001.

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, *JMO yayınları*, Ankara, 2005.

Ünal, M., Berber, E., Yatağan, İ.ve Akkurt, S., Yüksek sıcaklığın yapı taşlarının dayanımı üzerindeki etkisinin ultrasonik ölçümler ile kestirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi*,22, 1-2, 2007.

Yavuz, H., Demirdag, S. and Caran, S., Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47 (2010), 94-107, 2009.

## EKLER

EK-A Havada Soğuyan Örneklerin Birleştirilmiş Alterasyon İndeksi Değerleri.

Numune Adı	UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)							
	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	1000°C
	Birleştirilmiş Alterasyon İndeksi Değerleri (UAI)							
1 (İgnimbirit)	0	0,14	0,17	0,10	0,20	0,20	0,32	*
2 (İgnimbirit)	0	0,10	0,14	0,14	0,20	0,11	0,25	*
3 (İgnimbirit)	0	0	0	0	0	0	0,22	*
4 (İgnimbirit)	0	0,03	0	0	0,16	0,30	0,46	*
5 (İgnimbirit)	0	0	0	0	0	0,10	0,14	*
6 (Granit)	0,10	**	0,25	**	0,54	**	0,68	0,81
7 (Traverten)	0,28	0,41	0,42	0,52	0,62	0,73	*	**
8 (Granit)	0,14	**	0,47	**	0,82	**	*	**

\* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır, \*\* Deney yapılmamıştır.

EK-B Suda Soğuyan Örneklerin Birleştirilmiş Alterasyon İndeksi Değerleri.

Numune Adı	UYGULAMA SICAKLIĞI (°C)							
	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	1000°C
	Birleştirilmiş Alterasyon İndeksi Değerleri (UAI)							
1 (İgnimbirit)	0,07	0,05	0,22	0,28	0,22	0,32	0,35	*
2 (İgnimbirit)	0	0,20	0,33	0,30	0,52	*	**	**
3 (İgnimbirit)	0	0	0	0,10	0,14	0,28	0,35	*
4 (İgnimbirit)	0	0,17	0,28	0,33	0,41	*	**	**
5 (İgnimbirit)	0,03	0,04	0,04	0,07	0,09	0,09	0,30	*
6 (Granit)	0,14	**	0,37	**	0,59	**	0,69	0,82
7 (Traverten)	0,20	0,28	0,51	0,56	0,74	*	**	**
8 (Granit)	0,28	**	0,47	**	0,79	**	*	**

\* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır, \*\* Deney yapılmamıştır.

## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Altuğ 1987 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Şanlıurfa'da tamamladı. 2005 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu. 2009 yılında Niğde Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2009-2010 yılları arasında TİGEM Ceylanpınar'da mühendis olarak çalıştı. 2012 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak mezun oldu. 2012 yılında kurduğu Altuğ Yapı Proje Jeoteknik Mühendislik isimli firmasında halen mühendis olarak çalışmaktadır.