

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖZENEKLİ BAZI DOĞAL TAŞLARIN FİZİKSEL BOZUNDURMA
KOŞULLARI ALTINDA YAPISAL VE TERMAL ÖZELLİKLERİNDEKİ
DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**

Hilal ÖZER TOKLU

**Danışman
Doç. Dr. İbrahim UĞUR**

**DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



© 2018 [Hilal ÖZER TOKLU]

TEZ ONAYI

Hilal ÖZER TOKLU tarafından hazırlanan "Gözenekli Bazı Doğal Taşların Fiziksel Bozundurma Koşulları Altında Yapısal ve Termal Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. İbrahim UĞUR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mehmet Saim SARAÇ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mahmut YAVUZ
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Özgür AKKOYUN
Dicle Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Hilal ÖZER TOKLU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1. Atmosferik Koşulların Kaya Malzemesi Üzerindeki Etkisi.....	3
2.2. Isı Transferi Mekanizmaları.....	8
2.2.1. Isı iletimi	9
2.2.2. Isı taşınımı	9
2.2.3. Isı ışıınımı	10
2.3. Termal Özellikler.....	10
2.3.1. Isı kapasitesi	12
2.3.2. Isıl iletkenlik	14
2.4. Termal İletkenlik Ölçüm Yöntemleri	17
2.4.1. Sürekli durumda termal iletkenlik ölçüm yöntemleri.....	17
2.4.2. Süreksiz (geçici) durumda termal iletkenlik ölçüm yöntemleri	18
2.4.2.1. Sıcak tel yöntemi.....	18
2.4.2.2. DSC (differential scanning calorimetry) ile ölçüm yöntemi	19
2.5. Kayaçalarda termal iletkenlik ölçümü ile ilgili yapılmış çalışmalar	19
2.6. Fiziko-Mekanik Özelliklerle ilgili Yapılmış Olan Çalışmalar.....	27
2.6.1. Porozimetric analiz yöntemleri	27
2.6.1.1. BET (Yüzey alanı ölçüm cihazı)	27
2.6.2. Su emme.....	28
2.6.3. Su buharı geçirgenliği.....	29
2.6.4. Sertlik ölçümü yöntemleri	33
2.6.4.1. Knoop sertlik ölçümü.....	33
2.6.5. Renk ölçümü	35
2.6.6. SEM (Scanning electron microscope) analizi.....	37
2.6.7. Nokta yük dayanım indeksi	38
2.6.8. Ultrasonik hız	39
3. MATERYAL ve METOD.....	43
3.1. Tez Çalışması Aşamaları	43
3.2. Deneysel Çalışmalar.....	46
3.2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan doğal taşlar.....	49
3.2.1.1. Traki Andezit kayacı.....	49
3.2.1.2. Limra kayacı	51
3.2.1.3.Traverten kayacı	53
3.2.1.4. İgnimbirit kayacı.....	55
3.2.2. Termal özelliklerin tayini	56
3.2.2.1. Isı iletim katsayısı tayini	57

3.2.2.2. Özgöl ısı kapasitesi tayini	58
3.2.3. Porozimetric özelliklerin tayini	59
3.2.3.1. BET yüzey ölçümü.....	59
3.2.4. Fiziko-mekanik özelliklerin tayini	60
3.2.4.1 Su emme tayini.....	61
3.2.4.2. Birim hacim ağırlık tayini	63
3.2.4.3. Toplam gözeneklilik tayini.....	64
3.2.4.4. Ultrasonik hız tayini.....	66
3.2.4.5. Donma-çözölme testi	67
3.2.4.6. Termal şok testi	69
3.2.4.7. Su buharı aktarım özellikleri tayini	70
3.2.4.8. Knoop sertlik tayini	73
3.2.4.9. Renk tayini	74
3.2.4.10. SEM görüntü analizi.....	76
3.2.4.11. Nokta yük tayini	77
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	81
4.1. Birim Hacim Ağırlık Deney Bulguları.....	83
4.2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deney Bulguları.....	88
4.3. Nokta Yük Dayanım Deney Bulguları.....	94
4.4. Ultrasonik Hız Deney Bulguları.....	99
4.5. Termal Özelliklere Ait Deney Bulguları.....	104
4.6. Su Buharı Aktarım Özelliklerine Ait Deney Bulguları.....	114
4.7. Renk Değişim Özelliklerine Ait Bulgular	117
4.8. Knoop Sertlik Değerlerine Ait Bulgular.....	121
4.9. BET Yüzey Özelliklerine Ait Bulgular.....	127
4.10. SEM Görüntü Analizine Ait Bulgular.....	132
4.11. Termal İletkenlik Katsayısı ile Fiziko-mekanik ve Termal Parametreler Arasındaki İlişki	138
4.12. Ekonomik Değerlendirme	146
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	157
KAYNAKLAR.....	163
EKLER.....	177
EK A. Numunelerin Mineralojik-Petrografik Analiz Raporları	178
ÖZGEÇMİŞ	188

ÖZET

Doktora Tezi

GÖZENEKLİ BAZI DOĞAL TAŞLARIN FİZİKSEL BOZUNDURMA KOŞULLARI ALTINDA YAPISAL VE TERMAL ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ

Hilal ÖZER TOKLU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim UĞUR

Donma-çözülme ve termal şok deneyleri gibi ısısal değişiklikler, doğal taşlarda fiziksel bozunma meydana getirerek, yeni minör ve majör çatlak yapıları meydana getirmektedir. Daha fazla gözenekli bir yapı kazanan doğal taşların, dayanımı ve ısı iletkenlik değerleri azalmaktadır. Doğal taşların ısı özelliklerini tanımlayan iki önemli parametre ısı iletkenlik katsayısı ve ısı tutabilme kapasitesidir. Kayaçların ısı iletkenliği çeşitli faktörlerin etkisine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu faktörler kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri, tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, kohezyonu, birim ağırlığı, sertliği, dolaylı çekme dayanımı, nokta yük dayanımı, darbe dayanımı, nem oranı, gözenekliliği, eksenel ve üç eksenli gerilme altında bulunma durumları olarak sayılabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, iki karbonatlı ve iki magmatik kayaç olmak üzere, Traverten, Limra, Traki Andezit ve İgnimbrit gibi gözenekli doğal taş çeşitleri üzerinde, 25 çevrimlik 5 periyottan oluşan toplam 125 çevrim donma-çözülme ve termal şok testleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu kayaçların belirli aralıklarla bazı fiziko-mekanik ve termal özellik testleri yapılmış, kayaçların donma-çözülme ve termal şok hasarına karşı oldukça farklı bir direnç gösterdikleri ve bunun ısı iletkenlik değerlerine önemli derecede bağlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kayaçların ısı iletim katsayılarına bağlı olarak, TS 825 standardında verilen hesaplama yöntemleri kullanılarak, kaplama taşı olarak kullanılabilirlikleri ve yıllık ısı tasarrufu üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Donma-çözülme, Termal şok, Bozunma, Isı iletkenlik katsayısı, gözeneklilik.

2018, 189 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

ANALYSIS OF THE CHANGES IN STRUCTURAL AND THERMAL PROPERTIES OF SOME POROUS MATERIAL STONES UNDER PHYSICAL WEATHERING CONDITIONS

Hilal ÖZER TOKLU

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim UGUR

Thermal changes such as freeze-thaw and thermal shock cause physical degradation in natural stones by occurring of new minor and major crack structures. Natural stones, which acquire a more porous structure, have lower strength and thermal conductivity values. Two important parameters that define the thermal properties of natural stones are the thermal conductivity coefficient and the heat holding capacity. The thermal conductivity of rocks varies depending on the influence of various factors. These factors can be listed as mineralogical and petrographic properties of rocks, uniaxial compressive strength, modulus of elasticity, cohesion, unit volume weight, hardness, indirect tensile strength, point load strength, impact strength, humidity ratio, porosity, uniaxial and triaxial stress.

Within the scope of this thesis study, a total of 125 and each consisting of 25 cycles of freezing-thawing and thermal shock tests were carried out on two carbonate and two magmatic porous natural rock types such as Travertine, Limra, Trachy Andezite and İgnimbrite, respectively. Some physico-mechanical and thermal property measurements have been carried out on these rocks at certain intervals and it has been determined that the rocks exhibit a very different resistance to freeze-thaw and thermal shock damage and that they are significantly dependent on the thermal conductivity values. In addition, depending on the heat transfer coefficients of the rocks, their usability as a facing stone and their effects on annual heat saving were investigated by using the calculation methods given in TS 825 standard.

Keywords: Freeze-thaw, Thermal shock, Degradation, Thermal conductivity coefficient, Porosity.

2018, 189 pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresince danışmanlığımı yürüten, her konuda bilgi ve deneyimini paylaşan, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. İbrahim UĞUR'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının gelişmesine katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ ve Doç. Dr. Özgür AKKOYUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma için fikir ve desteğini esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Mehmet Saim SARAÇ ve Prof. Dr. Mahmut YAVUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında belirlenen deney ve analizlerin yapımında yardımcı olan İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (JEOMER), Malzeme Araştırma Merkezi (MAM) ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuvarı (DAL)'na teşekkür ederim.

3842-D2-14 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde 114M090 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan anneme, babama ve ayrıca, bu yoğun çalışma temposunda sevgi, anlayış ve sabırla beni destekleyen eşim Hakan TOKLU'ya, oğlum Hakan Çınar'a ve kızım Cemre'ye sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hilal ÖZER TOKLU
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. a) Sıcaklık değişimleri ve kimyasal ayrışma olayları sonucunda kaya kütlelerinin ince katlar şeklinde taşın yüzeyine paralel levhalar halinde ayrışması, b) dağılma şeklinde ayrışma, c) granüler çözünme ve d) alveolar ayrışma şeklindeki materyal kayıpları.....	6
Şekil 2.2. Nemli gözenekli malzemede ısı transfer mekanizmaları.....	8
Şekil 2.3. Oda sıcaklığında çeşitli malzemelerin termal iletkenlik aralığı.....	15
Şekil 2.4. Isıl özellik ölçüm yöntemleri.....	16
Şekil 2.5. Sıcak tel yöntemi.....	18
Şekil 2.6. Standart DSC’de termal iletkenlik ölçümü için numune Düzenlenmesi	19
Şekil 2.7. Muhafazasız plaka deney düzeneği.....	20
Şekil 2.8. Muhafazasız plaka kolonu (A: İzolasyon, B: Soğutucu, C: Kayaç Numunesi, D: Isıtıcı Plaka, E: Termistor Plakaları)	21
Şekil 2.9. Tüf numunesinin kuru ve değişik nem değerleri için neme karşı ısı iletkenliği ilişkisi.....	22
Şekil 2.10. Laboratuarda termal iletkenlik ölçüm deney düzeneği.....	22
Şekil 2.11. Isı iletkenliği ölçüm düzeneği.....	24
Şekil 2.12. Magmatik, metamorfik ve sedimanter tipi kayalarda ısı iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı olarak değişimi.....	24
Şekil 2.13. Termal iletkenlik ölçüm deney düzeneği.....	25
Şekil 2.14. Kumtaşı için üç eksenli gerilme ile ısı iletkenlik katsayısının değişimi.....	26
Şekil 2.15. Yüzey alanı ölçüm cihazı	28
Şekil 2.16. Yapı malzemesinde ısı geçişi ve buhar difüzyonu.....	32
Şekil 2.17. Darbe sonrasında yüzeyde oluşan iz görüntüsü.....	34
Şekil 2.18. CIEL*a*b* renk düzlemi.....	36
Şekil 2.19. Taramalı elektron mikroskopunun şematik görünüşü	38
Şekil 3.1. Tez çalışmasında uygulanan iş akım şeması	46
Şekil 3.2. Numunelerin temin edildiği yerleri gösteren harita	49
Şekil 3.3. a) Traki Andezit numunesi b) Traki Andezit numunesinin ince kesit görüntüsü c) Traki Andezit numunesinin SEM görüntüsü (5000x)	50
Şekil 3.4. Traki Andezit kayacı ile ilgili uygulamalar	51
Şekil 3.5. Limra kayacı ile dış cephe kaplama	52
Şekil 3.6 a) Limra numunesi b) Limra numunesinin ince kesit görüntüsü c) Limra numunesinin SEM görüntüsü (5000x).....	53
Şekil 3.7. a) Traverten numunesi b) Traverten numunesinin ince kesit görüntüsü c) Traverten numunesinin SEM görüntüsü (5000x) ...	54
Şekil 3.8. Traverten kayacı ile zemin ve cephe kaplama.....	54
Şekil 3.9 a) İğnimbirit numunesi b) İğnimbirit numunesinin ince kesit görüntüsü c) İğnimbirit numunesinin SEM görüntüsü (5000x)...	55
Şekil 3.10. Günümüz mimarisinden İğnimbirit örnekleri	56
Şekil 3.11. a) Isı iletim katsayısı ölçme cihazı (KEM QTM 500) ve b) Standart ölçüm probu (PD-11) c) İzole korumalı ölçüm probu (PD-13) ..	57
Şekil 3.12. a) Termal özelliklerin belirlenmesinde kullanılan numuneler b) Termal iletkenlik ölçümü yapılan numune.....	58

Şekil 3.13. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) (TA Instruments Q10)	59
Şekil 3.14. BET (yüzey alanı ölçüm cihazı) Mikromeritics Gemini V.....	60
Şekil 3.15. Numunelerin boyutlandırılması.....	61
Şekil 3.16. Su emme deneyinde kullanılan numuneler	62
Şekil 3.17. a) Toz numuneler ve b) Piknometre.....	65
Şekil 3.18. Pundit UPV ölçüm cihazına ait görüntüler (a-b)	66
Şekil 3.19. Donma çözülme deneyi numuneleri.....	68
Şekil 3.20. Termal şok deneyi numuneleri.....	69
Şekil 3.21. a) İklimlendirme kabini ve b-c) Ölçümü yapılan örnek numuneler	71
Şekil 3.22. Shimadzu HVM mikrosertlik test cihazına ait görüntüler (a-b)..	73
Şekil 3.23. a) Knoop mikro sertlik yönteminde kullanılan eşkenar piramit şekilli bir elmas uç ve b) oluşan mikro izin geometrisi.	74
Şekil 3.24. Hunterlab renk ölçüm cihazına ait görüntüler (a-b)	75
Şekil 3.25. (a) Quanta FEG 250 SEM cihazı, (b) Görüntü analizi yapılan numuneler	77
Şekil 3.26. Deneyin uygulanış biçimleri (a) çapsal yükleme (b) eksenel yükleme (c) blok numune üzerine yükleme (d) biçimsiz şekildeki numuneler üzerine yükleme	78
Şekil 3.27. a) Nokta yük dayanım indeksi tayini deney aleti ve b) Nokta yük dayanım indeksi tayini deneyi uygulaması	79
Şekil 3.28. Nokta yük dayanım indeksi deneyine tabi tutulmuş numunelere ait görüntüler a) Kırılmadan önce; b) Kırıldıktan sonra.....	79
Şekil 4.1. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin birim hacim ağırlığa (BHA) etkisi	87
Şekil 4.2. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin ağırlıkça su emmeye (ASE) etkisi.....	92
Şekil 4.3. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin hacimce su emmeye (HSE) etkisi.....	93
Şekil 4.4. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerine etkisi	98
Şekil 4.5. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin ultrasonik hız (V_p) değerine etkisi.....	103
Şekil 4.6. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin termal iletkenlik (k) değerine etkisi	110
Şekil 4.7. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin ısı direnç (R) değerine etkisi.....	111
Şekil 4.8. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin özgül ısı kapasitesi (C_p) değerine etkisi	113

Şekil 4.9. Traverten, Limra, Traki Andezit ve İgnimbirit numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin su buharı geçirgenlik hızı (WVP) değerine etkisi	116
Şekil 4.10. Traverten, Limra, Traki Andezit ve İgnimbirit numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin Parlaklık (L^*) değerine etkisi	118
Şekil 4.11. Traverten, Limra, Traki Andezit ve İgnimbirit numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi	121
Şekil 4.12. Traverten (a) numunesi üzerinde donma-çözülme (b) ve termal şok (c) çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi.....	123
Şekil 4.13. Limra (a) numunesi üzerinde donma-çözülme (b) ve termal şok (c) çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi.....	124
Şekil 4.14. Traki Andezit (a) numunesi üzerinde donma-çözülme (b) ve termal şok (c) çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi.....	125
Şekil 4.15. İgnimbirit (a) numunesi üzerinde donma-çözülme (b) ve termal şok (c) çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi.....	126
Şekil 4.16. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) Numuneleri Üzerinde Donma-Çözülme ve Termal Şok Çevrimlerinin BET Yüzey Alanı (A_{BET}) Değerine Etkisi	131
Şekil 4.17. Travertene ait SEM görüntüleri (orijinal (a), donma-çözülme (b), termal şok (c))	133
Şekil 4.18. Limraya ait SEM görüntüleri (orijinal (a), donma-çözülme (b), termal şok (c))	135
Şekil 4.19. Traki Andezite ait SEM görüntüleri (orijinal (a), donma-çözülme (b), termal şok (c))	136
Şekil 4.20. İgnimbirite ait SEM görüntüleri (orijinal (a), donma-çözülme (b), termal şok (c))	138
Şekil 4.21. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numunelerine ait termal iletkenlik katsayısı (k) ve birim hacim ağırlık (BHA) arasındaki ilişki	139
Şekil 4.22. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numunelerine ait termal iletkenlik katsayısı (k) ve ağırlıkça su emme (ASE) arasındaki ilişki	140
Şekil 4.23. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numunelerine ait termal iletkenlik katsayısı (k) ve hacimce emme (HSE) arasındaki ilişki.....	141
Şekil 4.24. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numunelerine ait termal iletkenlik katsayısı (k) ve P-dalgı hızı (V_p) arasındaki ilişki	142
Şekil 4.25. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numunelerine ait termal iletkenlik katsayısı (k) ve nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) arasındaki ilişki	143
Şekil 4.26. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numunelerine ait termal iletkenlik katsayısı (k) ve özgül ısı kapasitesi (C_p) arasındaki ilişki.....	144
Şekil 4.27. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İgnimbirit (d) numunelerine ait termal iletkenlik katsayısı (k) ve BET yüzey alanı (A_{BET}) arasındaki ilişki	145

Şekil 4.28. Hesaplamalarda kullanılmış olan duvar kesitleri a) Kaplama yapılmamış beton duvar, b) 2 cm kaplama yapılmış beton duvar	
b) 3 cm Kaplama yapılmış beton duvar.....	146
Şekil 4.29. İllere göre derece-gün bölgeleri	150
Şekil A.1. Kayaç içerisindeki plajioklas, hornblend mineralleri ve plajioklas mikrolitleri	180
Şekil A.2. Kayaç içerisinde ki kalsit mineralleri ve fosil içeriği.....	182
Şekil A.3. Kayaç içerisindeki kalsit mineralleri ve gözenekler.....	184
Şekil A.4. Kayaç içerisindeki kuvars, plajioklas, kalsit, Biotit mineralleri ve plajioklas mikrolitleri	187



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Tez çalışması kapsamındaki başlıca aşamalar	47
Çizelge 3.2. Traki Andezit kayacına ait kimyasal analiz sonuçları.....	50
Çizelge 3.3. Limray kayacına ait kimyasal analiz sonuçları.....	51
Çizelge 3.4. Traverten kayacına ait kimyasal analiz sonuçları.....	53
Çizelge 3.5. İğnimbirit kayacına ait kimyasal analiz sonuçları.....	55
Çizelge 3.6. Kayaçların gözenekliliğe göre sınıflandırılması.....	66
Çizelge 4.1. Orjinal numunelere ait başlangıç verileri	82
Çizelge 4.2. Donma-çözülme deneylerinin birim hacim ağırlığa etkisi	84
Çizelge 4.3. Termal şok deneylerinin birim hacim ağırlığa etkisi	85
Çizelge 4.4. Donma-çözülme deneylerinin ağırlıkça ve hacimce su emmeye etkisi.....	89
Çizelge 4.5. Termal şok deneylerinin ağırlıkça ve hacimce su emmeye etkisi	90
Çizelge 4.6. Donma-çözülme deneylerinin nokta yük dayanım indeksine etkisi	95
Çizelge 4.7. Termal şok deneylerinin nokta yük dayanım indeksine etkisi..	96
Çizelge 4.8. Donma-çözülme deneylerinin ultrasonik hız değerine etkisi....	100
Çizelge 4.9. Termal şok deneylerinin ultrasonik hız değerine etkisi.....	101
Çizelge 4.10. Donma-çözülme deneylerinin termal özelliklere etkisi.....	105
Çizelge 4.11. Termal şok deneylerinin termal özelliklere etkisi.....	107
Çizelge 4.12. Donma-çözülme ve termal şok deneylerinin su buharı aktarım özelliklerine etkisi	115
Çizelge 4.13. Donma-çözülme deneylerinin renk değişimi üzerine etkisi	119
Çizelge 4.14. Termal şok deneylerinin renk değişimi üzerine etkisi.....	120
Çizelge 4.15. Donma-çözülme ve termal şok deneylerinin Knoop ve mohs sertlik değeri üzerine etkisi	122
Çizelge 4.16. Donma-çözülme deneylerinin gözeneklilik özelliklerine etkisi	128
Çizelge 4.17. Termal şok deneylerinin gözeneklilik özelliklerine etkisi.....	129
Çizelge 4.18. Isıtma derece-gün bölgeleri.....	149
Çizelge 4.19. 10 yıllık ısıtma derece gün (HDD) değerleri.....	151
Çizelge 4.20. Donma-çözülme ve termal şok deneyleri için ısı parametrelerdeki değişim	153
Çizelge 4.21. Donma-çözülme ve termal şok deneyleri için yıllık ısı tasarrufu değerlendirme sonuçları.....	155
Çizelge 4.22. 2 cm ve 3 cm kaplama yapılmış 100 m ² bir yapıya ait yıllık amortisman değerleri	156

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a, a*	Kırmızılık- yeşillik
a, b, c	Kayaca bağlı sabitler
A _{BET}	BET yüzey alanı
ASE	Ağırlıkça su emme
b, b*	Sarılık-mavilik
BET	Brunauer, Emmett, Teller methodu
BHA	Birim Hacim Ağırlık
C	Özgül ısı kapasitesi
CIELAB	Comission Internationale de l' Eclairage
C _v	Sabit hacimdeki özgül ısı kapasitesi
C _p	Sabit basınçtaki özgül ısı kapasitesi
d	Numunenin ortalama kalınlığı, kapilerin çapı
D	Bilya çapı, karot çapı, girintinin derinliği (İz çapı)
DAL	AKÜ Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuvarı
DÇ	Donma-çözülme
DD	Derece-gün sayısı
De	Eşdeğer karot çapı
DSC	Differential Scanning Calorimeter
dp/dx	Su buharı kısmi basınç gradyeni
dQ, dT	Sıcaklık değişimi için gerekli olan enerji
dT, ΔT	Sıcaklık farkı
F	Düzeltilme faktörü
G	Numuneden geçen su buharı akış hızı
G _{dh}	Doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı
G _{ds}	Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı
G _k	Deney numunesinin kuru ağırlığı
HK	Knoop sertlik değeri
HSE	Hacimce su emme
I _s	Nokta yük dayanım indeksi değeri
I _{s(50)}	Düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi
İYTE	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
JEOMER	Jeotermal Araştırma ve Uygulama Merkezi
k	Termal iletkenlik katsayısı
k _b	Betonun ısı iletkenlik değeri
k _{cp}	Üç eksenli gerilme altında kayacın ısı iletkenlik katsayısı
k _d	Dış sıvanın ısı iletkenlik değeri
k _i	İç sıvanın ısı iletkenlik değeri
k _k	Kaplama malzemesinin ısı iletkenlik değeri
L	Numunenin boyu, girintinin en büyük çapraz uzunluğu
L, L*	Parlaklık
L _b	Betonun kalınlığı
L _d	Dış sıva kalınlığı
L _i	İç sıva kalınlığı
L _k	Kaplama malzemesi kalınlığı
m ₁	t ₁ zamanında deney tertibatının kütlesi
m ₂	t ₂ zamanında deney tertibatının kütlesi
MAM	Malzeme Araştırma Merkezi

P	Uygulanan basınç
P_T	Toplam gözeneklilik
PD-11	Standart ölçüm probu
PD-13	İzole korumalı ölçüm probu
P_o	Numunenin açık gözenekliliği
Q	Isıtma oranı
q_A, q_{AD}	Yıllık ısı kaybı
q_{AD} Değişim	Kaplama yapılmış beton duvar ile kaplama yapılmamış beton duvar arasındaki fark
q_x	x doğrultusunda malzemeye verilen ısı miktarı
R	Isıl direnç değeri
SEM	Scanning Electron Microscope
S_d	Su buharı difüzyonu
t_1 ve t_2	Birbirini izleyen tartma zamanlarıdır
T_p	P dalgasının etkin ilerleme zamanıdır
T_r	Referans sıcaklığı
T_s	Numune sıcaklığı
TŞ	Termal şok
U	Isı geçiş katsayısı
V_p	P dalgasının yayılma hızı
w	Girintinin genişliği
W	Su buharı geçirimliliği
WVP	Su buharı geçirimliliği
WVT	Su buharı geçirgenlik hızı
W_x	x yönünde, birim zamanda, birim yüzeyden geçen su buharı miktarı
X, Y ve Z	Tristimulus değerleri
Z	Su buharı direnci
α	Isı transferi katsayısı
σ	Uygulanan tek eksenli basınç
σ_1	Eksenel gerilme
σ_3	Yanal gerilme
ρ_k	Kaya biriminin doğal birim hacim ağırlığı (BHA)
ρ_b	Numunenin görünür yoğunluğu
ρ_r	Numunenin gerçek yoğunluğu
ρ_{rh}	Suyun yoğunluğu
δ	Su buharı geçirgenliği
δ_a	Havanın kısmi buhar basıncına ilişkin su buharı geçirgenliği
μ	Su buharı difüzyon direnci faktörü
μ, n	Kayaca bağlı sabitler
$\mu_{cp}, n_{cp}, \beta_{cp}$	Üç eksenli gerilme koşullarında kayaca özgü sabitler
μ_p	Yapı malzemesi permeabilitesi veya buhar geçirgenliği
ϕ	Yıllık ısı tasarrufu
Δa^*	a^* numune- a^* referans
Δb^*	b^* numune- b^* referans
$\Delta E, \Delta E^*$	Toplam renk farkı
ΔL^*	L^* numune- L^* referans
Δm_{12}	Kap zamana düşen kütle değişimi
Δp_v	Numune genelinde su buharı basıncı farkı

1. GİRİŞ

Doğal taşlar, başta yapı malzemesi amaçlı olmak üzere, çeşitli şekillerde kullanılmış ve bunun sonucu olarak mermer sektörü önemli bir sanayi dalı haline gelmiştir. Ülkemizde, doğal yapı malzemeleri, ekonomik olması ve kolay elde edilmelerinden dolayı inşaat sektöründe (kaplamalarda, duvarlarda, kaldırımlarda, döşemelerde vb.) değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Binalarda ısı yalıtımı, mevsim şartlarına göre binaları ısıtmak veya soğutmak için sağlanan soğuk ya da sıcak havanın dışarıya kaçmasını önleyerek, ısı ekonomisi ve termal konfor sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Bundan dolayı ısı yalıtımında ana amaç; kış aylarında ve yaz aylarında ortam ısısının dışarıya kaçmasını yavaşlatarak, ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimini azaltmaktır. Burada önemli olan husus, ısı yalıtımı amacıyla kullanılacak olan malzemenin ısı yalıtımını ne ölçüde sağlayabildiği ve uzun süreli kullanımına karşılık dayanıklılığının tespitinin yapılmasıdır. Zamanla kaplama taşı olarak kullanılan malzemeler, çevre şartlarının da etkisiyle başlangıçta sahip oldukları özelliklerini kaybetmektedirler. İklim şartlarındaki değişimlerin doğal taşların yapısını ve dayanımını etkilediği bilinen bir gerçektir.

Kayaçların ısı iletkenlik katsayıları, kayaçtan kayaca belirgin olarak farklı değerler göstermektedir. Bu farklılıklara ek olarak özellikle derin maden ocaklarında, kayaçlar üzerine etki eden basınçların da ısı iletkenlik katsayısını artıracak dikkate alınırsa, bu konu daha da büyük önem taşımaktadır. Isı iletkenlik katsayısının tespiti, derin maden işletmeciliği açısından büyük önem taşımakla birlikte, ayrıca yeraltı ısı depolanması, jeotermal enerji aranması ve üretimi ile nükleer atıkların yeraltında depolanması gibi konularda da önem kazanmaktadır.

Bu nedenle, kullanılacak numuneler üzerinde donma-çözülme testleri yapılarak, kayaç yapısında meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, doğal taşların kayaç parametreleri ile termal özellikleri arasında anlamlı ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaç

için; Aynı zamanda Brunauer, Emmet ve Teller (BET) metoduyla 77K'deki sıvı azot ortamında azot (N₂) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak gözeneklilik ölçümleri yapılarak, toplam gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımı belirlenmiştir. Kaplama amaçlı kullanılacak malzemelerin kullanılabilirliğinde öncelikle kullanılacak malzemenin ısısal özelliklerinin (ısı iletim katsayısı, ısı direnç değeri ve özgül ısı kapasite değeri) belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında, aynı malzemelerin eş zamanlı olarak bilinmesi gereken bu termal özellikleri de tayin edilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen bulgular ışığında, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş olan örneklerin ısı iletkenlik katsayıları, iklim şartlarının etkisi ve gözenek yapısındaki değişim belirlenmiş ve örneklerin buhar geçirgenlik değerlerinde herhangi bir değişim olup olmayacağı da bu çalışma kapsamında araştırılmıştır.

Kayaçların gözenekleri ve çatlakları içindeki suyun sıcaklığının sürekli değiştiği donma-çözülme ve termal şok hareketi, fiziksel kayaç bozunmasında baskın bir rol oynamaktadır. Bu süreçte oluşan etkilenme derecelerini belirlemek ve daha iyi kavramak için, kayaç gruplarında donma-çözülme ve termal şok öncesi ve sonrası olmak üzere, bazı fiziko-mekanik ve termal özelliklerindeki değişimler deneysel çalışmalar ile belirlenmiştir. Yapılmış olan doktora tezinin ana amacı, yukarıda bahsi geçen deney ve analizlerden elde edilen veriler ışığında, kayaç parametreleri ve termal özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin kurulmasıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Binalarda kullanılan enerjinin, toplam enerji tüketimindeki payının büyüklüğü ve bunun önemli bir kısmının da ısıtmada kullanılması, ısı yalıtımının önemini açıkça ortaya koymaktadır. Dolayısıyla enerjinin büyük bir kısmının kullanıldığı binalarda ve sanayide etkin ısı yalıtımı uygulamaları yapıldığı takdirde enerjide çok büyük tasarruf sağlanacağı öngörülmektedir (Dağsöz, 2001; Mohsen ve Akash, 2001; Türkmen ve Baran, 2000).

Enerjisinin çoğunu ithal eden Türkiye gibi ülkelerde, enerjiden tasarruf edilmesi ve enerjinin daha etkin kullanılması çok önemlidir. Doğadaki sınırlı kaynaklardan, yüksek maliyette elde edilen enerjinin bilinçli kullanılması, ekonomi için önemli olduğu kadar çevre kirliliği bakımından da insanlara sorumluluk yüklemektedir. Enerjiyi verimli kullanmak, daha az enerji, daha az karbondioksit, kükürt dioksit ve parçacık demektir (Özkahraman ve Bolattürk, 2003).

Yıl içerisinde konutların kullanımında farklı iklim koşullarının oluşması ve mevsim şartlarına bağlı olarak oluşan hava sıcaklıklarındaki değişim, konutlardaki ısı yalıtımını gündeme getirmektedir. Konutlarda ısı yalıtım amaçlı konforu sağlamak ve en iyi şartlarda sıcaklık dengesini kurmak, doğrudan yapılarda kullanılan malzemenin seçimi ile ilgili olmaktadır. Seçilen malzeme hangi türden bir yalıtım malzemesi olursa olsun, ısısal yalıtım etkileri ve ısı geçirimsizlik karakteristikleri dikkatli bir şekilde analiz edilmeli ve gerekli teknik koşulları sağlayıp sağlamadığının etüdü yapılmalıdır (Gündüz, 2001).

2.1. Atmosferik Koşulların Kaya Malzemesi Üzerindeki Etkisi

Dayanımları ve estetik görünüşleri nedeniyle birçok alanda kullanılan doğal taşlar kullanım alanlarına göre uzun süre yağmur, rüzgar, nem, donma-çözülme ve gece gündüz sıcaklık farklılıkları gibi atmosfer olaylarına maruz kalmaktadır ve bu faktörler doğal taşların hem fiziko-mekanik özelliklerinde hem de dış görünüşlerinde olumsuz değişimler meydana getirmektedir. Doğal taşın

yapısında meydana gelen bu tür bozunmalar onarım yapılmasını zorunlu kılmakta ve bu işlemler de yapı maliyetini arttırmaktadır (Akday vd., 2012; Erdoğan ve Yaşar, 2001).

Doğal taşların bozunma sürecinde termal etkiler, nem, donma-çözülme çevrimleri, tuz kristallenmesi gibi dış etkenlerin yanı sıra kayacın kimyasal, mineralojik-petrografik bileşimi, yapısal ve dokusal özellikleri, gibi içsel parametreler de rol oynamaktadır (Cantisani vd., 2009).

Kayaçların termal davranışlarının tanımlanması ve tahmini zor bir konudur, çünkü kayaçlar heterojen yapılıdır. Isı artışı kayaçlarda bozunma ve oksitlenme gibi pek çok değişikliğe neden olmaktadır (Plevova vd., 2010).

Termal şok hasarı, termal genişlemenin ve kayaç örneğinin iç ve dış kısımlarının mineralojik bileşenlerinin kasılmasının bir sonucudur. Anizotropik termal genişleme, örneğin her tanesinin hem içinde hem de dışında oluşabilmektedir (Hale ve Shakoor, 2003).

Hall (1999), özellikle donma-çözülme ve termal şok ile açıklanan kayaçların bozunması ile ilgili örnekler vermektedir. Tuğrul (2004) tarafından kayaç özellikleri üzerindeki bozunmanın önemi araştırılmıştır. Bu araştırma, çeşitli derecelerde bozunmaya maruz kalan kaya numuneleri üzerinde yapılan testler, kayaç bozunmasındaki artışın gözeneklilikte bir artışa ve dayanım değerlerinde ise azalmaya neden olduğunu göstermiştir.

Ayrıca ısının kayacın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi değişik mühendislik uygulamalarıyla da ilgili bir konudur. Nükleer atık depoları ve jeotermal enerji kaynaklarının çıkarılması gibi uygulamalarda kayaların termal etkilere karşı davranışlarını belirlemek çalışma karakteristikleri bakımından da önem arz etmektedir (Yavuz vd. 2010).

Termal etkiler özellikle nem, kimyasal ve biyolojik kirlilikler, radyasyon ve hava kirliliği gibi diğer bazı faktörler ile birleştiği zaman bozunma sürecini

hızlandırmaktadır. Bu bozunma kayaç kohezyonunun zayıflaması ve buna bağı olarak gözeneklilikte ve mikrokırıklarda artış ve genişleme şeklinde gelişmektedir (Royer-Carfagni, 1999; Vazquez vd. 2012; Careddu ve Marras, 2013; Özgüven ve Özçelik, 2014).

Doğal yapı taşları, yapı sektöründe farklı kullanım alanlarına bağı olarak doğrudan veya dolaylı çevresel etkileşimler sonucu bozunmaktadırlar. Bozunmalar yapı taşlarının kullanıldığı bina ve çevre düzenlemelerinde küçük veya büyük ölçekli problemler oluşturmaktadır (Şekil 2.1.a, b, c, d). Bu sorunların çözümü ise kişi veya kurumların bütçelerine ilave yükler getirmektedir. Bozunmayı önlemek için öncelikle bozunmaya neden olan faktörlerin ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bozunmaya neden olan faktörler; deprem, yangın, su baskını, rüzgar, donma-çözülme, sıcaklık dalgalanmaları, kimyasal malzemeler, kirlilik, tuz kristalleşmesi ve biyolojik bozunma olarak sıralanabilir. Bu faktörlerden donma-çözülme süreci yapı taşlarının kötüleşmesine neden olan en önemli etken olarak görülmektedir (Bell, 2006). Mermerlerin termal bozunma süreçlerinin incelenmesi ve bu süreçlerin mermer yüzey kalitesine etkilerinin belirlenmesi, bu tür doğal taşların kullanım alanları belirlenirken göz önünde bulundurulması açısından önem taşımaktadır.



Şekil 2.1. a) Sıcaklık değişimleri ve kimyasal ayrışma olayları sonucunda kaya kütlelerinin ince katlar şeklinde taşın yüzeyine paralel levhalar halinde ayrışması, b) dağılma şeklinde ayrışma, c) granüler çözünme ve d) alveolar ayrışma şeklindeki materyal kayıpları (Dal ve Öcal, 2017)

Malzemelerin birçok farklı özelliği, aşınma döngüleri altında kaya bozunmasını incelemek için kullanılır. Literatür incelemesi, dokusal özelliklerin ve gözenekli ağın, kayada bulunan suyun miktarı ve dağılımı üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Tourenq, 1970).

Nicholson ve Nicholson (2000) 10 adet sedimanter kaya örneği üzerinde yaptıkları tekrarlanan donma-çözünme deneyleriyle önceden mevcut kaya kusurlarının (süreksizlik vb.) bozunma biçimine etkisini incelemişlerdir. Önceden var olan kaya kusurunun, kaya dayanımı ve dokusal özelliklerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca, yapısında meydana gelen bozunmanın etkisiyle kayalar üzerinde ağırlık kaybı yaşandığını belirtmişlerdir.

Alyıldız (2003) Isparta Antalya karayolunun Dereboğazı mevkiinde yer alan ve yapı taşı olarak kullanılan tüfün, fiziko-mekanik özelliklerinin donma-çözülme sürecinde nasıl etkilendiğini 55 döngü üzerinde incelemiştir. Deneyler sonucunda fiziksel özelliklerdeki değişimin 10. döngü sonrasında, mekanik parametrelerin ise 25. döngü sonrasında değişmeye başladığını söylemiştir. Altındağ ve Alyıldız (2004)'de aynı tüf üzerinde yaptıkları çalışmada ise fiziksel özelliklerinden en çok ağırlıkça su emme değerleri ve mekanik özelliklerden en çok nokta yük dayanım indeksi özelliklerinin etkilendiğini gözlemlemişlerdir.

Binal vd. (2004) atmosferik etkiler altında donma-çözölmeye uğramış Ankara İğnimbiriti örneklerinin jeomekanik parametrelerindeki değişimler ile laboratuvarı donma-çözölmeye deneyi uygulanmış örneklerin jeomekanik parametrelerindeki değişimleri karşılaştırmışlardır. Atmosferik koşullarda bir yıl boyunca donma-çözölmeye uğrayan örneklerin fiziksel parametrelerindeki değişimler ile laboratuvarı donma-çözölmeye çevrimi uygulanmış örneklerin değerlerinin yaklaşık olarak uyumlu olduklarını, tek eksenli basınç dayanım değerlerinin ise 5 donma- çözölmeye çevrimi uygulanmış örnekler ile benzer olduğunu belirtmişlerdir.

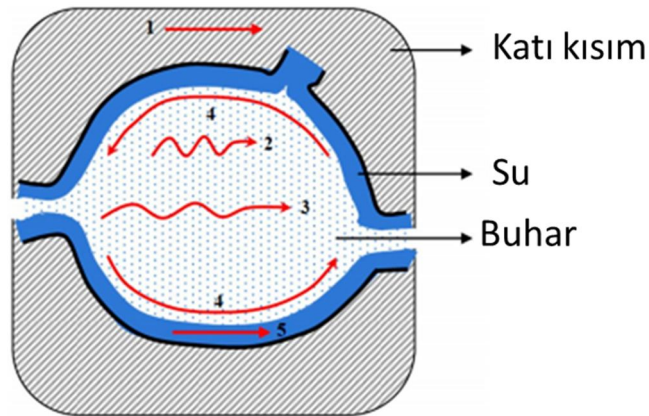
Martínez-Martínez vd. (2013) yaptıkları çalışmada 6 farklı karbonatlı kayaç üzerinde hacim kaybı, gözeneklilik, dayanım, elastisite modülü, P dalgası yayılma hızı, P dalgasının konumsal zayıflaması (spatial attenuation), makro ve mikro-dokusal özelliklerdeki değişimleri 96 çevrimden oluşan donma-çözölmeye süreciyle araştırmışlardır. Başlangıç değerinde ve 12, 24, 48 ve 96. çevrimlerden sonra bahsedilen özelliklerle ilgili ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Kayaçların özellikleri ile donma-çözölmeye süreci arasında lineer olmayan bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Bütün kayaçlar için gözeneklilik değerlerinde çevrimler sonrası başlangıç verilerine göre kıyaslandığında yavaş yavaş bir artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak da P dalga hızı ve dayanımda azalma görölmüştür. Yani gözeneklilik arttıkça, artan boşluk yapısına bağlı olarak P dalga hızı ve dayanım değerleri azalmıştır.

2.2. Isı Transferi Mekanizmaları

Kayaç türü malzemelerde, kayacın bir yüzünden diğer yüzüne olan ısı geçişi, iletim, taşınım ve ışıma yoluyla olmaktadır. Katı içindeki boşluklar, ister tabaka şeklinde, ister lifsi, isterse hücresel veya tanecik şeklinde olsun, bu üç tür ısı geçişi olgusu kütsel yalıtımda görülebilmektedir (Strainer ve Turner, 1990).

Mermer kayaç yapısında da ısı geçişi, iletim, ışıma ve taşınımın bir karması şeklinde görülmektedir. Mermerin ısı yalıtım değerinin daha verimli olması için, kütsel yalıtımı oluşturan tabakalı, lifsi, hücresel veya tanecik şeklindeki boşluklar arasında çok küçük bağlantıların olması gerekmektedir. Ayrıca, kayaç yapısına yayılacak şekilde daha küçük ve daha sık olması aranan özelliklerin başında gelmektedir. Boşluklar arasındaki mesafelerin daha büyük olması, ışıma ile ısı geçişini engellemektedir (Strainer ve Turner, 1990).

Isı iletkenlik katsayısı havadaki bağıl nemle orantılı olarak artmaktadır. Bağıl nem ise hava sıcaklığına ve basıncına bağıl olarak zamanla değişmektedir. Bu nedenle kayaçların higroskopik ısı performansını anlayabilmek için havadaki nem oranı ile ilişkili olarak ısı iletkenlik katsayısı verileri hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Gözenekli malzemelerin ısı transferi mekanizmaları oldukça karmaşıktır. Nemli ve gözenekli bir yapı boyunca olası ısı transfer yolları Şekil 2.2’de gösterilmektedir (Abid, 2012).



Şekil 2.2. Nemli gözenekli malzemede ısı transfer mekanizmaları (Abid, 2012)

İki sistem arasında veya bir sistemle çevresi arasında sıcaklık farkı olduğu zaman enerji transfer edilmektedir. Yalnız sıcaklık farkından dolayı bir sisteme transfer edilen bu enerjiye, termodinamikte ısı enerjisi denilmektedir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme doğru akmaktadır. Isı transferinin sebep olduğu etkiler gözlenebilir ve ölçülebilir niteliktedir (Kakaç, 1987).

Isı transferinin fiziki mekanizması ile ilgili literatürde üç tür tanım vardır.

Bunlar;

- Isı iletimi
- Isı taşınımı
- Isı ışıınımı olarak adlandırılmaktadır (Poyraz, 2006).

2.2.1. Isı iletimi

Isı iletimi aynı katı, sıvı veya gaz ortamındaki farklı bölgeler arasında veya doğrudan fiziksel temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, moleküllerin doğrudan teması sonucunda oluşan ısı yayınıımı işlemidir. Bir maddenin sıcaklığı maddeyi meydana getiren moleküllerin ortalama kinetik enerjileri ile orantılıdır. İletme işlemi; sıvılarda, moleküllerin birbirlerini takip eden çarpışmaları ile olmaktadır. Katılarda ise, moleküllerin ve maddenin yapısını oluşturan kafeslerin titreşimleri ve/veya yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklığa serbest elektron sürüklenmesi ile olmaktadır.

2.2.2. Isı taşınımı

Bir yüzey üzerinden veya bir boru içerisinden akan akışkanın sıcaklığı yüzey sıcaklığından farklı ise akışkan hareketi sonucu akışkan ile yüzey arasındaki ısı transferi mekanizması taşınım olarak adlandırılmaktadır. Akışkanın hareketi uygulanan basınç farkı nedeniyle oluşuyorsa zorlanmış konveksiyon (taşınım), akışkan hareketi yoğunluk farkı nedeniyle oluşuyorsa doğal konveksiyondan bahsedilmektedir. Yüzey ile akışkan arasındaki ısı taşınımı mekanizması

oldukça karmaşık olduğundan, ısı transferi katsayısının (α) teorik veya deneysel olarak tayini oldukça zor olmaktadır.

2.2.3. Isı ışıınımı

İletim ve taşınımında, enerji bir ortam vasıtası ile transfer edilmektedir. Elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla gerçekleşen bu ısı transferi mekanizmasına ise ışıınım denilmektedir. Bütün cisimler üzerlerine düşen ısı ışıının bir kısmını soğurmakta, bir kısmını geçirmekte, kalan kısmını da yansıtmaktadırlar. Cismin yansıttığı enerjinin, üzerine düşen enerjiye oranına yansıtma katsayısı, cismin soğurduğu enerjinin üzerine düşen enerjiye oranına soğurma katsayısı ve geçirdiği enerjinin üzerine düşen enerjiye oranına da geçirgenlik katsayısı denilmektedir.

2.3. Termal Özellikler

Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Bunun için özellikle konut ve bina sektöründe, yapının enerji verimliliğinin sağlanması, o yapıda kullanılacak malzemelerin termal özelliklerinin performansının yüksek olmasına bağlı olmaktadır (Gündüz, 2005). Günümüzde farklı orijin ve karakteristik yapıya sahip doğal taşların, binalarda dış cephelerde kaplama ve/veya dekoratif amaçlı olarak kullanıldıkları görülmektedir. Binanın ısıl konforu ve ısı kayıpları incelenirken, duvarı oluşturan tüm elemanların ısısal konfor parametrelerinin ayrıntılı olarak bilinmesi gerekmektedir (Gündüz vd., 2013).

Kayaçların ısıl özelliklerini tanımlayan iki önemli parametre vardır. Birincisi ısıl iletkenlik, ikincisi ısı tutabilme kapasitesidir. Isıl iletkenlik, bir maddenin moleküler boyutta sıcaklığı iletebilme kabiliyetini gösteren, maddenin kendi öz bünyesinde bulunan fiziksel bir özelliğidir. Günlük hayatımızda kullanılan metalik maddelerin (bakır, alüminyum vb.) iletkenliği yüksek olmasına karşın,

yalıtım malzemesi olarak kullanılan perlit, montmorillonit, mika gibi doğal maddelerin ısı iletkenliği düşüktür. Isı iletkenlik katsayısı k ile gösterilir ve birimi W/mK dir.

Cisimlerin ısı iletkenlik katsayısı, molekül ve gözenek yapısı ile gözeneklilik oranının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Belli bir gözeneklilik oranına sahip cisimlerde, gözenek duvar kalınlığı etken bir faktör olup, gözenek yarıçapı ne kadar küçük ise ısı iletkenlik katsayısı da o kadar düşüktür. Bir cismin içinde ısı geçişi, moleküllerin ısı akımı yolu ile olmaktadır. Isıl direnç, ısı geçişini azaltmada ısı yalıtım yeteneğinin bir ölçüsüdür. Yüksek ısı dirençli (düşük ısı iletim katsayılı) malzemeler etkin birer yalıtıcıdır.

Binalarda kaplama malzemesi olarak doğal taş kullanımı, sağlanan görsellikte birlikte ısı yalıtımına da belirli ölçüde katkı sağlamaktadır. İletim ile ilgili fiziksel mekanizma incelendiğinde, bir katının ısı iletim katsayısının bir sıvıya göre ve bir sıvının da bir gaza göre daha büyük olduğu yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir (Incropera ve Dewitt, 1990).

Isı iletim katsayısı kurutulmuş örnekler üzerinde belirlenmektedir. Ancak, duvar az miktarda suyu gözeneklerinde yüzeye soğurabileceği gibi, daha çok miktarda su, gözenekleri doldurabilmektedir. Bu nedenle, gözeneklerde ısı iletkenlik katsayısı düşük olan hava ile ısı iletkenlik katsayısı yüksek olan suyun yer değiştirmesi, ısı iletkenlik katsayısını etkilemektedir.

Genellikle bir malzemenin ısı yalıtım amaçlı olarak kullanılmasında, ele alınan termal özellikler, kullanılan malzemenin özgül ısı kapasite (C_p) değeri ve ısı iletkenlik (k) katsayısıdır. Bahsedilen bu parametreler malzemenin atomları arasındaki bağ kuvvetlerine, içyapıya, boşluk miktarlarına ve bünyesinde bulundurduğu nem miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir (Eriç, 1994).

Abid (2012) $-20- +40$ °C sıcaklık aralığında kumtaşının petrofiziksel özelliklerinin nasıl değiştiğini belirlemek için araştırmalar yapmıştır. Bu

araştırmalar sonucunda, ısı iletkenlik ve ısı yayılma değerlerinin aksine, özgül ısı kapasitesinin sıcaklık arttıkça arttığını belirlenmiştir.

2.3.1. Isı kapasitesi

Bir malzeme kendi çevresinden ısı soğurduğu zaman sıcaklığı yükselmektedir. Bu tanım malzemelerin ana özelliklerinden birisi olan özgül ısı kapasitesi (C) olarak adlandırılmakta ve aşağıda verilen Eşitlik 2.1'den hesaplanmaktadır.

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (2.1)$$

Burada;

dQ, dT sıcaklık değişimi için gerekli olan enerjidir (James, 2009).

Çevre şartlarına göre bu özelliğin ölçülmesinde iki yöntem mevcuttur. Birincisi; sabit hacimdeki ısı kapasitesi C_v , diğeri sabit basınçtaki ısı kapasitesi C_p 'dir. C_p her zaman C_v 'den büyüktür; çünkü sabit basınçta sistem genleşmeye izin verir ve bu genleşmede enerji sistemden sağlanmaktadır (Çengel ve Turner, 2001). Bu fark oda sıcaklığı ve altındaki sıcaklıkta bulunan çoğu katılar için önemsizdir (Callister, 2006; James, 2009). Isı kapasitesi malzemenin enerjisi ile yakından ilgilidir ve malzemelerin diğer özellikleri içerisinde hassas bir değişim göstermektedir. Isı kapasitesinin düşük olması malzeme boyunca enerji hareketinin az olması anlamına gelmektedir (Holman, 1981).

Suya doğgun bir kayacın özgül ısı kapasitesi değeri, kayacın gözenek boyutuna, sıvının ısı kapasitesine, yoğunluğuna ve doğgunluk derecesine bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda kayaçların özgül ısı kapasitesi sıcaklığa da bağlıdır ve sıcaklığın artmasıyla artmaktadır (Waples ve Waples, 2004).

Katılarda ve özellikle kayaçlardaki özgül ısı kapasitesinin değişim aralığı ısı iletkenlik değerinden daha geniştir. Bu değer genellikle kayaçlar için 400-2000 J/kg.K aralığında değişmektedir (Rzhevsky ve Novik, 1971).

Sabit basınçta ısı kapasitesi üç farklı yöntemle belirlenebilmektedir. Bu yöntemler, Adyabatik Kalorimetre, DSC (Differential Scanning Calorimeter) ve TMDSC (Temperature Modulated Differential Scanning Calorimeter)' dir (Pyda vd., 2001). Günümüze kadar bilinen ısı kapasitesi ölçüm yöntemlerinden en hızlı ve kesin yöntem DSC'dir. Standart DSC'de iki kalorimetredeki bütün noktalarındaki artış aynı ısıtma oranı (q) ile olmaktadır. Bu, genellikle 5 – 40 K. min⁻¹ ısıtma oranı ve 100-1000 K sıcaklık aralığında olmaktadır. Referans ve numune arasındaki sıcaklık farkı ($\Delta T = T_r - T_s$) doğrudan ısı akısına bölünmekte ve sabit basınçtaki ısı kapasitesi Eşitlik 2.2'den hesaplanabilmektedir (Yang vd., 2002).

$$C_p = \frac{\Delta T}{q} K \quad (2.2)$$

Isı kapasitesini ölçmek için üç farklı modelden söz edilmektedir. Bunlar;

- i. Klasik model (Dulong Petit Modeli)
- ii. Einstein modeli
- iii. Debye modeli' dir.

Termodinamik, sabit hacimde (C_v) ve sabit basınçta (C_p) olmak üzere iki farklı ısı kapasitesiyle ilgilenilmektedir. Fiziksel olarak sabit hacimdeki ısı kapasitesi, sabit hacimde birim kütledeki sıcaklığının bir derece arttırılması için ihtiyaç duyulan enerjidir. Benzer şekilde, sabit basınçta ihtiyaç duyulan enerji C_p 'dir. Bir cisim ısıtılırken onun hacmini sabit tutmak zor olduğundan, genellikle sabit hacimde ısı kapasitesi ölçülememektedir. Diğer taraftan mod frekansları ve elektron enerji seviyeleri atomlar arası uzaklığa bağlı olduğundan, sabit basınç altındaki ısı kapasitesini hesaplamak zor olmaktadır. Bundan dolayı, ısı kapasitesi sabit basınç altında ölçülmekte ve sabit hacim altında hesaplanmaktadır (Dikici, 1993).

Uğur ve Demirdağ (2006) yaptıkları çalışmada, özgül ısı kapasitesinin, birim hacim ağırlık ve basıncın artmasıyla doğru orantılı olarak arttığını, gözenekliliğin artması ile azaldığını belirlemişlerdir.

2.3.2. Isıl iletkenlik

Isı yalıtım sistemleri, daha düşük bir ısı iletim katsayısı sağlamak için düşük ısı iletim katsayılı malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Katı malzeme ile aradaki boşlukları dolduran hava ve sudan oluşan malzeme, dış çevresinde katıdan oluşan bir sınır ile çevrilmektedir. Havanın bu şekilde hapsedilmesi hücresel yalıtım olarak adlandırılmaktadır. Diğer taraftan gözeneklerde suyun bulunması ısı iletim katsayısını artırmaktadır. Dokularında açık ve kapalı gözenekler bulunan doğal taşların iç yapıları ısı iletim karakteristiği üzerinde oldukça önemli rol oynamaktadır (Dağsöz, 2001)

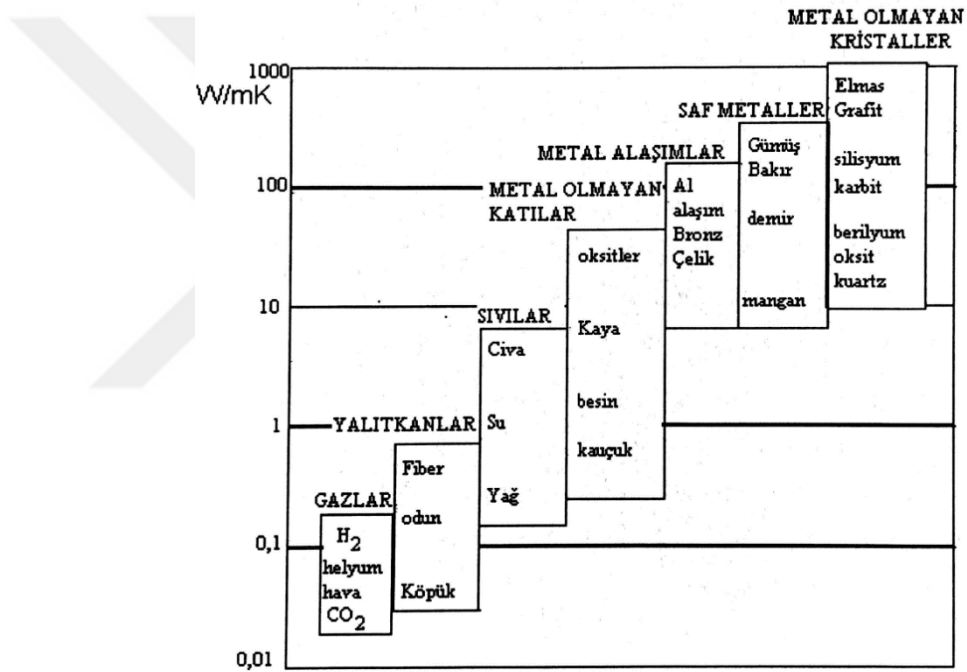
Binalarda ısı kayıplarının büyük bir çoğunluğu duvar elemanlarında oluşmaktadır (Butera, 1998; Ekinci, 2010). Bu nedenle duvar elemanlarını oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları ve uygulamada kullanılan kesit kalınlığına bağlı olarak hesaplanan ısı kayıplarının TS 825 standardında öngörülen sınır değerleri sağlamaması durumunda, duvarın bir ısı yalıtım malzemesi ile kaplanması gerekliliği de gündeme gelmektedir (Kök, 2006).

Malzemelerin termal iletkenliği birim sıcaklık farkında, birim alanda birim uzunluk boyunca ısı transferinin oranı olarak tanımlanmaktadır. Malzemelerin termal iletkenliği, ısının malzeme içerisinde ne kadar hızlı aktığının bir ölçüsüdür. Yüksek ısı iletkenlik değerleri malzemenin ısıyı yüksek oranda iletmesi, düşük ısı iletkenlik değerleri ise malzemenin ısıyı düşük oranda iletmesi anlamına gelmektedir (Çengel ve Turner, 2001).

Isı geçişi, ısı geçiş yolunun uzunluğu, sıcaklık, sistemin sıcaklık farkı karakteristikleri ve çevresel faktörler ile kontrol edilmektedir (Genceli ve Özgüç, 2000). Tabakalı, lifsi, hücresel ve tanecikler şeklindeki boşluklara sahip kütsel malzemelerde ısı iletkenliği, malzemenin birim ağırlığı ile değişmektedir. Isı, çok az sayıda fakat geniş hava boşluklarını içeren düşük birim ağırlıktaki malzemelerde, bir yüzeyden diğer bir yüzeye daha kolayca geçebilmektedir (Strainer ve Turner, 1990). Bunun doğal bir sonucu olarak, birim hacim ağırlık arttıkça katı malzemelerin ısı iletkenliği de artmaktadır.

Isı iletiminde genel olarak birim zamanda, birim alandan transfer edilen ısı miktarı q (ısı akısı) sıcaklığa bağlıdır (Yüncü ve Kakaç, 1999). Ayrıca, ısı iletimi, kullanılan malzemenin içyapı özellikleri ile ilgili olduğundan birim hacim ağırlığı az olan malzemelerde ısı iletkenlik katsayısının da düşük olduğu görülmektedir (Borhan, 1985).

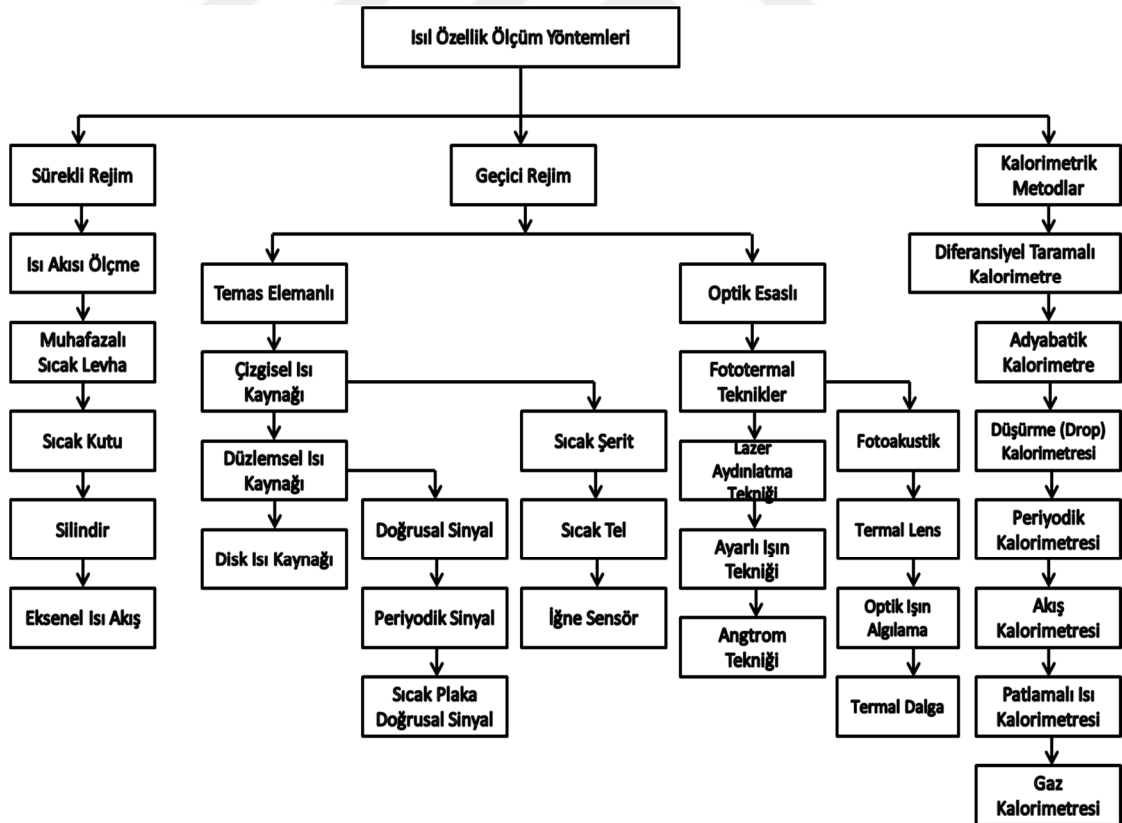
Geniş aralıktaki çeşitli malzemelerin ısı iletkenlik değerleri Şekil 2.3’de gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, saf kristaller ve metaller en yüksek ısı iletkenliğe sahipken, gazlar ve yalıtkanlar en düşük termal iletkenliğe sahiptir (Çengel ve Turner, 2001).



Şekil 2.3. Oda sıcaklığında çeşitli malzemelerin ısı iletkenlik aralığı (Çengel ve Turner, 2001).

Büyük çoğunlukla heterojen yapıya sahip olan yapı malzemeleriyle ilgili standartlaşmış bir yöntem olmamasına rağmen homojen katı malzemelerin ısı iletkenlikleri farklı matematiksel ve fiziksel prensip teknikleri kullanarak ölçen birçok yöntem bulunmaktadır (Koci vd., 2014). Kompozit (heterojen) malzemeler için ısı iletim katsayısının ölçümü ilgili en eski çalışma Maxwell’in (1873) yaklaşık bir buçuk asır önce yaptığı çalışmadır (Andrianov vd., 1996).

Homojen katı malzemelerin ısı performans testine yönelik ölçüm tekniklerinin birçoğu şematik olarak Şekil 2.4’de gösterilmektedir (Yeşilata vd., 2007; Işıker vd., 2007; Czichos vd., 2011; Sekhu ve Singh, 2015; Eithun, 2012). Şekilden görüldüğü üzere ısı özellikli ölçüm yöntemleri; sürekli rejim, geçici rejim ve kalorimetrik metotlar olarak üç ana sınıfta değerlendirilmektedir (Yeşilata vd., 2007; Işıker vd., 2007; Czichos vd., 2011). Bu yöntemlerde, ölçüm numuneleri genellikle plaka, silindir ve küre şeklinde seçilmektedir (Andrianov, 1996). Yaygın olan ve nispeten diğerlerine nazaran daha doğru sonuçlar veren sürekli rejim tekniklerinde, genellikle düz yüzeyli kalın levha geometrisindeki nispeten büyük boyutlu numuneler kullanılmaktadır. Sürekli rejimde çalışan ölçüm tekniklerinde numune boyutunun büyüklüğü ve ısı kararlılığının sağlanması gerekliliği nedeniyle test süresi genellikle uzun olmaktadır. Sıcaklık değişim hızı ise numune malzemesine göre değişmekte olup, özellikle yapı/yalıtım malzemeleri için çok düşük olmaktadır (Rides vd., 2009).



Şekil 2.4. Isıl özellik ölçüm yöntemleri (Yeşilata vd., 2007; Işıker vd., 2007; Czichos vd., 2011; Sekhu ve Singh, 2015; Eithun, 2012)

Isıl iletkenlik teorisinde iki ana problem vardır. Birincisi, ısıyı taşıyanın ne olduğunun bilinmesidir. Bunun için farklı ısı taşıma mekanizmaları vardır. Bu mekanizmalardan bir tanesi; metallerde elektron yoluyla, diğeri ise yalıtkanlarda atomların termal titreşimleri yoluyla olmaktadır. İkinci problem; bu mekanizmaların taşıma kapasitesi sınırının ne olduğunun bulunmasıdır. Bunlardan birincisi için iletim, ikincisi için direnç olduğu bilinmektedir (Parrott ve Stuckes, 1975).

2.4. Termal İletkenlik Ölçüm Yöntemleri

Termal özelliklerin ölçümü sürekli ya da geçişli durum yöntemlerini içermektedir. Sürekli durumda ısı numuneye sabit sıcaklığa erişilinceye kadar uygulanmaktadır. Geçişli durum yönteminde ise, ısı numune üzerine periyodik zamanlarda uygulanıp, numune üzerinde sıcaklığın değişimi ölçülmektedir (Mathis ve Chandler, 2004).

2.4.1. Sürekli durumda ısı iletkenlik ölçüm yöntemleri

Bu yöntem Eşitlik 2.3'te verilen Fourier kanununa dayanmaktadır.

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Burada;

q_x , x doğrultusunda malzemeye verilen ısı miktarı,

k , ısı iletkenlik katsayısı,

A , yüzey alanı,

dT , sıcaklık değişimidir.

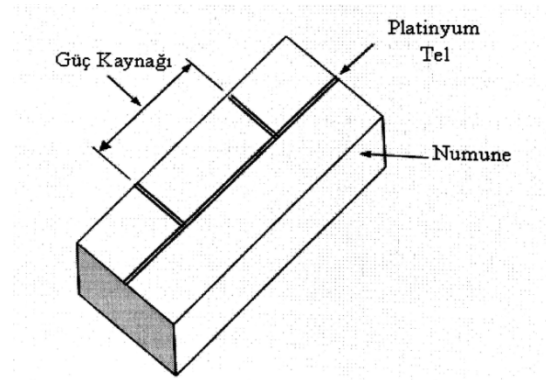
Sürekli durum şartları altında zamanla sıcaklık değişmediğinde numune içerisindeki sıcaklık dağılımı Laplace denklemi ile çözümlenmektedir. Sürekli durumda ısı iletkenlik ölçüm yöntemleri olarak korumasız sıcak plaka yöntemi, korumalı sıcak plaka yöntemi ve küresel ölçme cihazı ile ölçüm yöntemi sayılmaktadır.

2.4.2. Süreksiz (geçici) durumda ısı iletkenlik ölçüm yöntemleri

Geçici durum yönteminde, periyodik sürelerle numune üzerine ısı uygulanarak numunenin sıcaklığa karşı değişimi ölçülmektedir. Geçici durumda ısı iletkenlik ölçümü için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler; sıcak tel yöntemi, laser puls yöntemi, sıcak disk yöntemi, doğrusal ısı kaynağı yöntemi, Scanning thermal microscope ve DSC ile ölçüm yöntemidir (Mathis ve Chandler, 2004).

2.4.2.1. Sıcak tel yöntemi

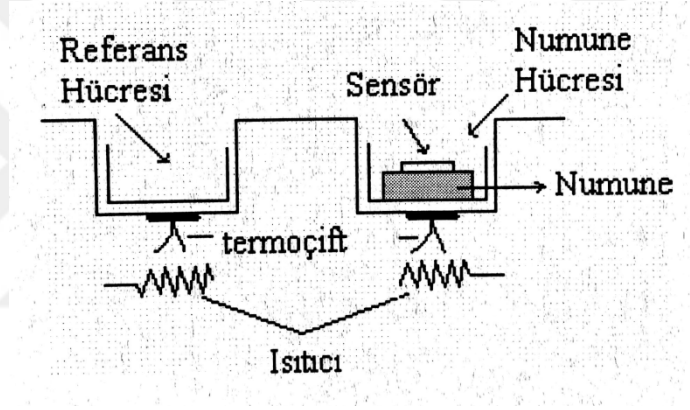
Bu yöntem termal iletkenliği belirlemede kullanılan geçici durum yöntemidir. Bunun anlamı sıcaklık artışının belirli zaman aralıklarında ölçülmesidir. Çok kullanılan ve kesin sonuç veren bu yöntemde, Şekil 2.5’de de görüldüğü gibi iki numune arasına yerleştirilen saf platin tele sabit bir elektrik akımı uygulanmaktadır. Platin telin sıcaklık artış oranı belirlenmekte, Fourier eşitliği kullanılarak sıcak telin sıcaklık artış oranı ve güç girişini baz alan ısı iletkenlik değeri hesaplanmaktadır (Mathis ve Chandler, 2004).



Şekil 2.5. Sıcak tel yöntemi (Mathis ve Chandler, 2004)

2.4.2.2. DSC (differential scanning calorimetry) ile ölçüm yöntemi

DSC (Differential Scanning Calorimetry), geniş değerlere sahip çeşitli katı malzemelerin termal iletkenliğini ve özgül ısı kapasitesini belirlemede kullanılmaktadır. Genellikle polimerik malzemeler ve camı malzemelerde bu ölçüm yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, malzemelerin termal iletkenliğini ölçmede hızlı bir yöntemdir. Hızlı ve doğru sonuç veren bir yöntem olduğu için geniş bir kullanıma sahiptir. DSC ısı iletkenlik ölçüm yöntemi hassas, çok yönlü ve rutin tespitler için kullanılmaktadır (Mathis ve Chandler, 2004; Torres-Gomez ve Yanez-Nieto, 1988). DSC ısı iletkenlik ölçüm yönteminde kullanılan düzenek Şekil 2.6'da gösterilmektedir.

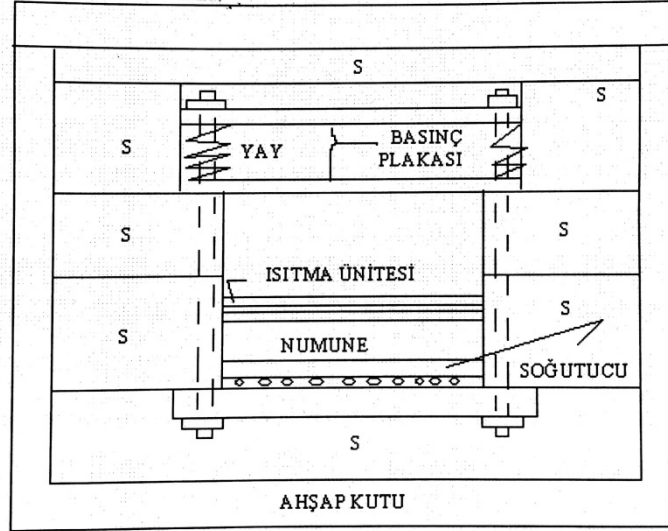


Şekil 2.6. Standart DSC'de ısı iletkenlik ölçümü için numune düzenlenmesi (Khanna vd., 1988)

2.5. Kayaçlarda ısı iletkenlik ölçümü ile ilgili yapılmış çalışmalar

Konu ile ilgili olarak ilk ayrıntılı çalışma, Ashwort ve Ashwort (1979) tarafından yapılmıştır. Adı geçen araştırmacılar ısı iletkenliğini ölçmek için basit bir düzenek geliştirmişlerdir. Düzenek; çoğu uygulamalar için kayaçların ısı iletkenliklerinin yeterli doğrulukta ve hızlı bir şekilde ölçümüne olanak veren basit muhafazasız bir plaka sisteminden ibarettir. Sistem klasik sabit durumlu hal için kullanılabilir.

Ashwort ve Ashwort (1979) tarafından dizayn edilen lineer ısı akış düzeneğinde, ısı kapasitesi bilinen bir ısı kaynağı kullanılmıştır. Sistem dengeye geldikten sonra bir ısı iletkenlik değeri elde etmek amacıyla numune boyunca sıcaklık farkları ölçülmüştür. Deney düzeneği Şekil 2.7’de görülmektedir.

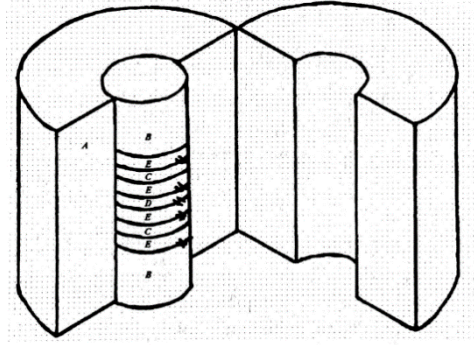


Şekil 2.7. Muhafazasız plaka deney düzeneği Ashwort ve Ashwort (1979)

Bu düzenek ile kısa zamanda ve %5 hassasiyetle ısı iletkenlik ölçümleri yapılabilmektedir. Gözeneklilik ve mineralojik analiz verileriyle desteklenen bu ölçümler, geometrik ortalama modeli ile birlikte küçük hacimli, gözenekli ve izotropik sedimanter kayaçların ısı iletkenliklerinin önceden belirlenmesine yönelik olarak ilk tahminin geçerliliğini kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Ayrıca kayaçların ısı iletkenliklerinin yerinde ölçümü amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar da mevcuttur (Shen vd. 1991; Barla vd. 1983; Kuriyagawa vd. 1983; Innaurato ve Occella 1989). Yapılan literatür araştırmaları, iç ortam sıcaklığının 18-20 °C, yapı elemanı sıcaklığının ise 16-18 °C olması istenilen sıcaklık şartlarının sağlanabileceğini göstermektedir (Ekinci, 2003).

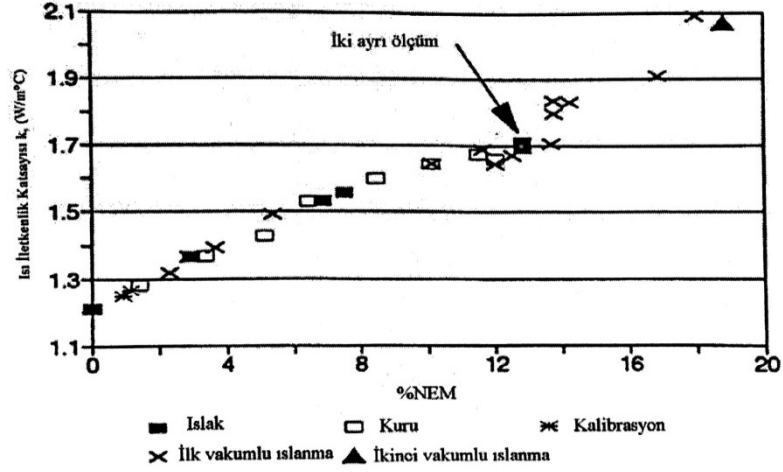
Mousset-Jones ve McPherson (1986), kayaçların ısı iletkenliklerini yerinde ve laboratuvarında ölçmek için Şekil 2.8'de görülen basit, muhafazasız bir plaka düzeneği kullanmışlardır.



Şekil 2.8. Muhafazasız plaka kolonu (A: İzolasyon, B: Soğutucu, C: Kayaç Numunesi, D: Isıtıcı Plaka, E: Termistor Plakaları) (Mousset-Jones ve McPherson, 1986)

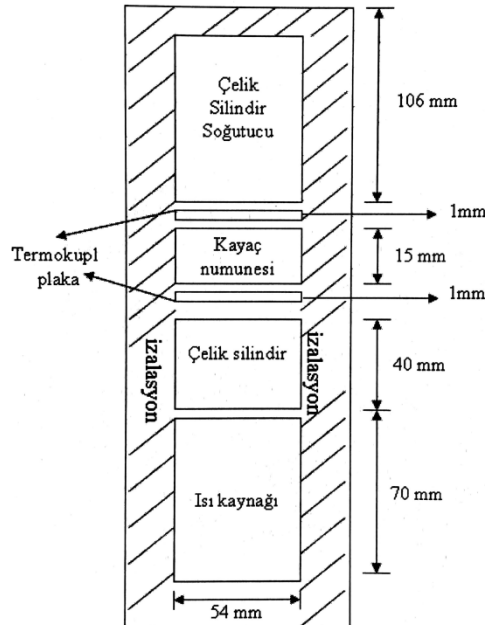
Bu düzenekte farklı sıcaklıklarda ısıtılmış iki yüzey arasında bir deney numunesi yerleştirilmektedir. Bu durumda, daha sıcak yüzeyden daha soğuk yüzeye doğru sabit bir ısı akışı gerçekleşmektedir. Numune boyunca geçen ısı miktarı en alt yüzeyin altına yerleştirilen ince bir ısı akış çeviricisi aracılığı ile ölçülmektedir. Giriş odası yanal ısı transferini minimize etmek için silindirik muhafazalı bir ısıtıcı ile çevrilmektedir. Isı akış çeviricisi, plastik bir kalıp içerisine yerleştirilmiş çok bağlantılı bir termopilden oluşmaktadır. Termopilin çıkış değeri çevirgeç boyunca geçen ısı akışı ile orantılıdır. İlişki sıcaklığa bağlı olduğundan dolayı, çevirgeç cihazın sıcaklık aralığı boyunca kalibre edilmelidir.

Ashworth (1992), kayaçlarda nem ve ısı iletkenliğinin değişimini belirlemek amacıyla tuf numuneleri ile çalışmış, kuru ve değişik nem oranlarına sahip numuneler üzerinde yaptığı deney sonuçlarına göre nemin etkili ısı iletkenliğini Şekil 2.9'da da görüldüğü gibi yaklaşık iki kat artırdığını ifade etmiştir. Deney düzeneği bir ısıtıcı ve arasına numune yerleştirilen silindirik iki adet ısı akı çevirgecinden oluşmaktadır. Ayrıca sistemin ısı kaybını azaltmak için yalıtım yapılmış, numunelerin deney sırasında nemini kaybetmemesi amacıyla özel bir plastik poşet içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.9. Tüf numunesinin kuru ve değişik nem değerleri için neme karşı ısı iletkenliği ilişkisi (Ashworth, 1992)

Güyağüler ve Önder (1995), Zonguldak-Karadon bölgesinde gerçekleştirilen proje çalışmaları kapsamında kayaçların ısı iletkenliklerini ölçmek için yeni bir düzenek geliştirmişlerdir. Mousset-Jones ve McPherson (1986), tarafından geliştirilen düzenek üzerinde bir takım değişiklikler yapılarak geliştirilen bu düzenek Şekil 2.10'da verilmektedir.



Şekil 2.10. Laboratuarda ısı iletkenlik ölçüm deney düzeneği (Mousset-Jones ve McPherson, 1986)

Cihazın en alt kısmında ısı kapasitesi bilinen bir ısı kaynağı yer almaktadır. Isı kaynağından ısı akışı sabit ve düzenli olmak zorundadır. Bu nedenle ısı kaynağı, sıcaklık kontrol ünitesi ve bir kontaktörden oluşan kontrol sistemi ile denetlenmekte ve istenilen sıcaklığa ulaşıldığında akış kesilmektedir. Sıcaklık bu değerin altına düştüğünde ısı akışı tekrar sağlanmaktadır. Isı enerjisi akışının düzenli ve homojen olmasını sağlamak için paslanmaz çelikten imal edilmiş silindirik bir malzeme numune ile ısı kaynağının arasına yerleştirilmiştir. Numunenin alt ve üst yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı termokupl plakalar aracılığı ile ölçülmektedir. Termokupl plakanın çıkışları çok kanallı bir sayısal tarayıcıya bağlanarak numunenin alt ve üst yüzeyindeki sıcaklık değerleri okunabilmektedir.

Durutürk (1999), kayaçların ısı iletkenlik katsayılarının basınçla değişimini belirlemek amacıyla Şekil 2.11’de verilen deney düzeneğini kullanmıştır. Numune üzerine basınç uygulayabilmek amacıyla deney düzeneği bir hidrolik presin içerisine yerleştirilmiştir.

Durutürk (1999) ve Durutürk vd. (2002) tarafından yapılan çalışmalar, eksenel basıncın ısı iletkenlik üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik olup, diğerlerinden farklılıklar arz ettiğini göstermektedir. Isı iletkenlik katsayısını basıncın bir fonksiyonu olarak Eşitlik 2.4’ de ifade etmişlerdir.

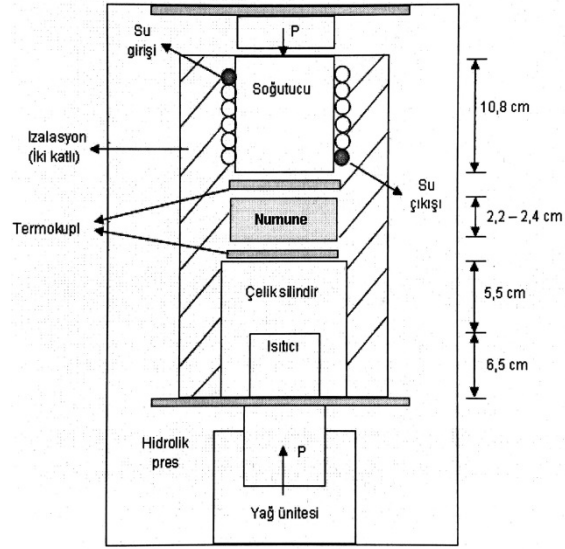
$$k = a + bP^n \quad (2.4)$$

Burada;

k , tek eksenli basınç altında kayacın ısı iletkenliği katsayısı (W/m°C)

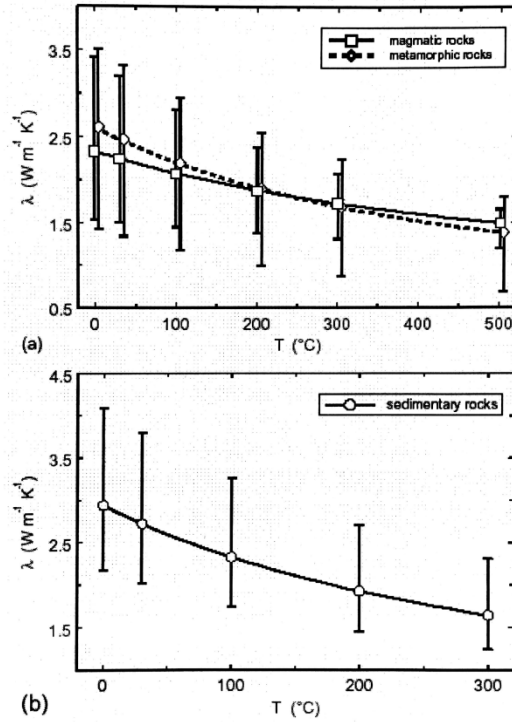
a, b, c kayaca bağlı sabitler

P uygulanan basınç (MPa)’ tır.



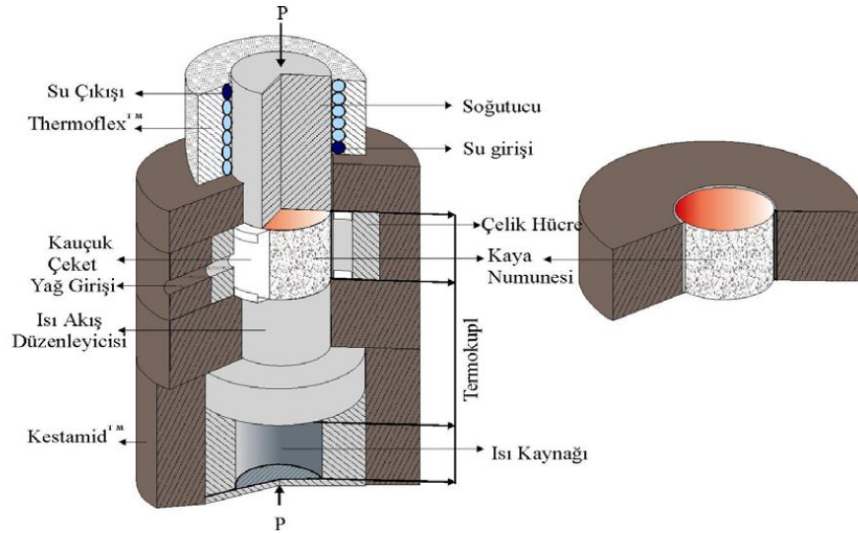
Şekil 2.11. Isı iletkenliği ölçüm düzeneği (Durutürk, 1999)

Vosteen ve Schellschmidt (2003), magmatik, metamorfik ve sedimanter tipi kayaçlarda yapmış oldukları çalışmalarda Şekil 2.12’de görüldüğü gibi, ısı iletkenlik katsayısının sıcaklık artmasıyla azaldığını tespit etmişlerdir.



Şekil 2.12. Magmatik, metamorfik ve sedimanter tipi kayaçlarda ısı iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağılı olarak değışimi (Vosteen ve Schellschmidt, 2003)

Demirci vd. (2004) tarafından eksenel ve üç eksenli gerilme altında kayaçların ısı iletkenlik davranışının tespitine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Kayaçların basınçsız, tek ya da üç eksenli basınç altında ısı iletkenliklerini belirlemek amacıyla Şekil 2.13’de verilen deney düzeneğini tasarlamışlardır. Tasarlanan bu cihaz,; hidrolik basınç, ısı, numune yerleştirme ve soğutma ünitesinden oluşmaktadır. Isı ünitesi, bir dijital güç kaynağı ile bağlantılı ısıtıcı bölüm ve ısı akış düzenleyicisinden oluşmaktadır. Ayrıca ısıtıcı bölümünün sıcaklığını kontrol etmek için iki adet termokupl sayısal tarayıcı ile irtibatlandırılmıştır. Numune yerleştirme ünitesi kaya numunelerinin ısı iletkenliklerinin eksenel ve/veya üç eksenli gerilme altında ölçümüne yönelik olarak iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca herhangi bir gerilme uygulanmaksızın ısı iletkenlik ölçümleri de gerçekleştirilebilmektedir. Üç eksenli gerilme altında gerçekleştirilecek ölçümler için Hoek hücresinin küçük bir modeli olan bölüm kullanılmakta olup söz konusu ünite bir hidrolik yanal basınç sistemi ile bağlantılı olarak çalıştırılmaktadır. Soğutma ünitesi ise çevresinde soğutma suyunun çevrimine olanak sağlayan ve içerisinde çelik bir silindir bulunan bölümdür. Ayrıca bu ünitelerin tamamı yanal ısı akışını engellemek için izole edilmiştir.



Şekil 2.13. Isı iletkenlik ölçüm deney düzeneği (Demirci vd., 2004)

Demirci vd. (2004), kayaçların ısı iletkenlik katsayısının tek ve üç eksenli basınçla değişimini belirlemişler (Şekil 2.14) ve bu değişimin fonksiyonunu tek eksenli basınç durumu için Eşitlik 2.5, üç eksenli basınç durumu için ise Eşitlik 2.6'daki gibi önermişlerdir. Şekil ve eşitliklerde görüldüğü gibi kayaçların ısı iletkenlik katsayıları basınca bağlı olarak değişmektedir

$$k = k_0 + \mu \sigma^n \quad (2.5)$$

$$k_{cp} = (k_0 + \mu_{cp} \sigma_1^{n_{cp}}) \sigma_3^{\beta_{cp}} \quad (2.6)$$

Burada;

k_0 , Normal koşullarda kayacın ısı iletkenliği katsayısı (W/m°C)

μ ve n , Kayaca bağlı sabitler

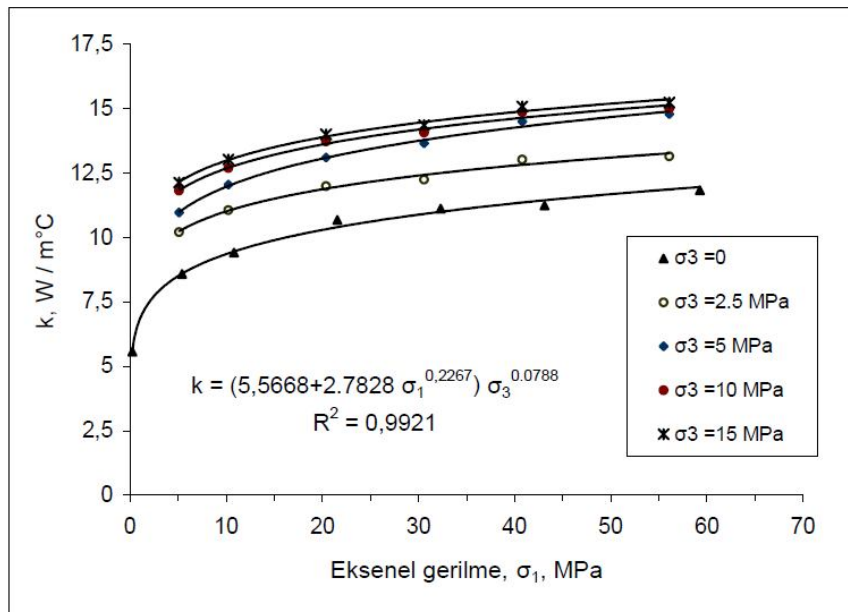
σ , Uygulanan tek eksenli basınç (MPa)

k_{cp} , Üç eksenli gerilme altında kayacın ısı iletkenlik katsayısı (W/m°C)

μ_{cp} , n_{cp} , β_{cp} , Üç eksenli gerilme koşullarında kayaca özgü sabitler

σ_1 , Eksenel gerilme (MPa)

σ_3 , Yanal gerilme (MPa).



Şekil 2.14. Kumtaşı için üç eksenli gerilme ile ısı iletkenlik katsayısının değişimi (Demirci vd., 2004)

Görgülü vd. (2004), yaptıkları bir çalışmada Eşitlik 2.5'de verilen μ ve n katsayılarının elastisite modülü (E) ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Eşitlik 2.7-2.8). Burada verilen μ ve n katsayıları, eksenel gerilme koşullarında kayaca özgü sabitlerdir.

$$\mu = 0,4733e^{0,0401E} \quad (2.7)$$

$$n = 0,6931e^{-0,0242E} \quad (2.8)$$

μ ve n değerleri, eşitlik 2.9'da yerine yazılınca söz konusu eşitlik;

$$k = k_0 + 0,4733e^{0,0401E} \sigma^{0,6931e^{-0,0242E}} \quad (2.9)$$

olarak ifade edilmiştir.

2.6. Fiziko-Mekanik Özelliklerle ilgili Yapılmış Olan Çalışmalar

2.6.1. Porozimetrik analiz yöntemleri

2.6.1.1. Brunauer, Emmett ve Teller (BET) Yüzey alanı ölçüm cihazı

Taşların iç gözenek yapısının değişmesine bağlı olabilen, bazı yüzey ve termofiziksel özelliklerin (ısıl iletkenlik, ısıl yayılma ve özgül ısı kapasitesi) değişimi yoluyla bu taşların bozunma mekanizmasını anlamak için çalışmalar yapılmıştır. Su ve donma-çözülme/termal şok döngülerinin ikili etkisi hem matris yapısında hem de gözenek özelliklerinde bazı değişikliklere neden olabilmektedir. Taşın iç gözenek yapısı hakkında bilgi sahibi olmadan bu bozunma mekanizmasının eksiksiz bir şekilde anlaşılması mümkün değildir. Bu nedenle, gözenekli materyallerin herhangi bir güvenilir fiziksel karakterizasyonu, porozimetrik ölçümlerle hassas bir şekilde belirlenmelidir. Brunauer, Emmett ve Teller (BET) tarafından 77 K'deki sıvı azot ortamında, azot (N_2) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak, gözeneklilik ve yüzey alanının ölçülmesi, fiziksel olarak adsorbe edilen N_2 gazı miktarını ölçerek, dağınık veya gözenekli katıların genel spesifik dış ve iç yüzey alanlarının belirlenmesine izin veren nispeten basit bir ölçüm yöntemidir. Bu nedenle, BET yöntemleri,

termofiziksel özelliklerin ölçümünün yanısıra, malzemelerin gözenekli yapısını karakterize etmek için de uygun bir araç haline gelmişlerdir (BET, 1938; BET Method, 2010).

Spesifik yüzey alanı, hacmiyle alakalı olarak gözenekli ortamın olağandışı bir parametresi olarak tanımlanmıştır. Isısal çevrimlerden kaynaklı bozunmanın etkisiyle, spesifik yüzey alanının artmasının bir fonksiyonu olarak kayacın dayanım parametreleri düşmektedir (Niesel, 1983).

BET cihazı ile seramik, adsorbent, aktif karbon, katalistler, boya ve kaplama ürünleri, implantlar, jeolojik numuneler, elektronik ve kozmetik sektörlerinden gelen örnekler analiz edilebilmektedir. Analizlerin sonucunda tek ve çok noktalı BET yüzey alanı, toplam gözenek hacmi, gözenek boyutu dağılımı değerleri ve adsorpsiyon-desorpsiyon eğrileri elde edilebilmektedir. Şekil 2.15’de örnek bir yüzey alanı ölçüm cihazı görülmektedir



Şekil 2.15. Yüzey alanı ölçüm cihazı

2.6.2. Su emme deneyi

Yavuz (2011) yaptığı çalışmasında, Traki Andezit örneğinin bozunma değerlerini belirlemek için 10 çevrimlik periyotlarla toplamda 5 döngüden oluşan donma-çözülme ve termal şok deneyleri yaparak numunenin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri belirlemiştir. Donma-çözülme ve termal

şok yöntemleri sonrasında Traki Andezit numunesinin P dalga hızı, Schmidt sertliği ve basınç dayanımı değerlerinde farklı oranlarda azalma, gözeneklilik ve su emme değerlerinde azalma gösterdiğini belirlemiştir. Donma-çözülme sürecinin malzeme üzerinde termal şoktan daha yıkıcı etkilere sahip olduğunu ve aşınma kayıplarının ölçümlerine göre termal şokun malzemenin yüzeyindeki etkilerinin daha büyük olduğunu belirlemiştir.

Binal ve Kasapoğlu (2002) Selimiye tüfleri üzerinde yaptıkları donma-çözülme deneyleri sonucunda, görünür gözeneklilik ve ağırlıkça su emme oranlarının birbirine paralel olarak artıklarını ve tek eksenli sıkışma dayanım değerinin ise % 60'ı geçen oranda azaldığını tespit etmişlerdir.

Numunelerin ağırlıkça su emme değerleri RILEM (1980)'de önerilen yöntemle belirlenmiştir. Kayaçların gözeneklilik ve ağırlıkça su emme değerleri Donma-çözülme çevrim sayısının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Gözeneklilik ve ağırlıkça su emme değerlerinin Donma-çözülme çevrim sayısı grafiklerinde en yüksek R^2 değerleri piroklastik kayaçalarda, en düşük R^2 değerler ise magmatik kayaçalarda belirlenmiştir (İnce, 2013).

2.6.3. Su buharı geçirgenliği

Çeşitli kütlelerin, yeraltı sularını tutması, bir yandan diğer bir yana geçirmesi ve bu suyu vermesi farklı oranlardadır. Kütlelerin suyu tutması ve iletmesi, akifer türlerine ve geçirgenlik özelliklerine bağlıdır. Geçirgenlik, bir akışkanın boşluklu bir ortamdan geçebilme yeteneğidir.

20. yüzyılın başlarından itibaren hem endüstrinin gelişmesi hem de modern mimarideki taleplerin artması ile modern konstrüksiyon metodlarının hızla kullanılmaya başlanması; yapı malzemelerinin, taşıyıcılık görevlerinin azalmasını, incelmelerini ve ısı geçirgenlik direncinin önemli miktarda düşmesini sağlamaktadır. Isı geçirgenlik direncinin düşmesi yapı malzemesi yüzeyinde yoğunlaşmaya sebep olabilmektedir. Isı geçirgenlik direncinin yükseltilmesi, dolayısıyla ısı ekonomisinin sağlanması ve yapı malzemesi yüzeyindeki

yoğuşmanın önlenmesi için inşa edilen yapılardaki duvarlarda birden fazla yapı elemanı kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ekonomi ve konfor gereği olarak yapı elemanlarında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri bünyelerinde su veya nem bulundurmadıkları müddetçe hesaplama esnasında kabul edilen ön şart özelliklerini koruyabilmektedirler.

Su veya nem, bilindiği gibi oldukça iyi ısı geçirgenliği olan bir madde olup, yalıtım malzemeleri içindeki kılcal hava kanallarını veya gözeneklerini doldurduğu takdirde yalıtım malzemesinin ısı geçirgenlik direncini düşürmekte, dolayısıyla ısı transferi katsayısını yükseltmektedir. Ayrıca su veya nemin ısı yalıtım malzemesi içinde kışın donması veya yazın buharlaşması bu malzemenin deformasyonuna sebep olmaktadır. Yapı malzemelerinde kullanım şartlarına göre yazın veya kışın ortaya çıkan yoğuşma ya da terleme olayı; hava ile temas eden yapı malzemesi yüzey sıcaklığının, havanın çiğ noktası sıcaklığının altında olması durumunda gerçekleşmektedir. Yoğuşma kontrolleri sonunda yapı malzemesinde yoğuşma meydana geliyorsa, tabakaları gerek ısı dirençleri, gerekse difüzyon dirençleri yönünden difüzyon tekniğine uygun olarak sıralamak, buhar kesici veya engelleyici gerekli ise bunların yapı elemanı içindeki yerlerini belirleyerek yerleştirilmesi gerekmektedir (Heperkan vd., 2002).

Saad vd. (2010) yaptıkları çalışmada, kayaçların permeabilite ve dinamik elastisite modülü değerleri ile kayacın dona karşı direnci arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Kayaçların dondan etkilenmesinin geçirimsizlikle doğru orantılı, dinamik elastisite modülü ile ters orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Hattema vd. (1998), termal şok deneylerinin etkisiyle termal yayılma olgusu üzerinde su ve buhar basıncının etkilerini araştırmışlardır. Termal şok altında, kaya parçalanmasının, basınçlı termal gerilme tarafından başlatılan bir kırılma mekanizması aracılığıyla meydana geldiği sonucuna varmışlardır.

Su buharı geçirgenliği izotermal koşullar altında gözenekli malzeme boyunca birim yüzeyden birim zamanda geçen su buharı geçirme kabiliyetidir ve

çoğunlukla ince çatlaklara ve malzemenin birbiri ile bağlantılı boşluk yapısına bağlıdır. Van Hellemont vd., (2008), su buharı geçirgenliğinin dengesiz bir şekilde düşmesinin malzemenin donmaya karşı hassasiyetinin artmasına neden olabileceğini belirtmiştir.

Yapı malzemelerinin tüm ısı, nem transferi ve depolama parametreleri hem sıcaklığa hem de nem içeriğine bağlıdır. Isı ve nem transfer parametrelerinin briket (Pavlik vd., 2012), gaz beton (Jerman vd., 2011), kireç bazlı sıvalar (Pavlik vd., 2009; Vejmelkova vd., 2012) ve termal yalıtım malzemelerinin (Ochs vd., 2008; Karamanos vd., 2008; Mar vd., 2008) termal iletkenliğini, kuru ve suya doygun durumda ölçülen değerler kıyaslandığında birkaç kez arttırdığı bildirilmiştir. Genellikle sızdırmaz olarak kabul edilen yüksek performanslı betonun artan nem içeriğinin %30-40'a kadar çıkması durumunda termal iletkenliğinde artış olduğu belirlenmiştir (Vejmelkova vd., 2009; Vejmelkova vd., 2010).

Su buharı geçirgenlik hızı ve geçirgenlik değerleri, deneye tabi tutulan deney numunesinin kalınlığına bağlıdır. Homojen malzemeler için su buharı geçirgenliği malzemenin bir özelliğidir (TS EN 13469, 2013).

Fick tarafından ortaya atılan sürekli rejimde tek boyutlu su buharı difüzyon diferansiyel denklemi Eşitlik 2.10'da verilmiştir.

$$W_x = -\mu_p \frac{dp}{dx} \quad (2.10)$$

Burada;

W_x , x yönünde, birim zamanda, birim yüzeyden geçen su buharı miktarı olup kısaca su buharı akısını ($kg/h m^2$)

μ_p , yapı malzemesi permeabilitesi veya buhar geçirgenliğini ($kg/h m mmSS$)

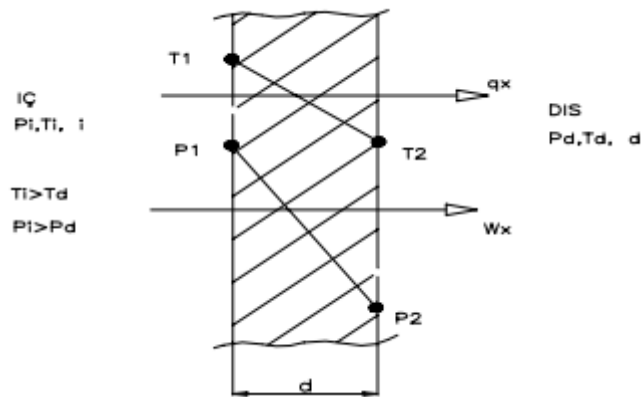
dp/dx , su buharı kısmi basınç gradyenini ($mmSS/m$) ifade etmektedir.

Buhar difüzyon eşitliği doğrudan yapı malzemelerinin su buharı geçirgenliğini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Ölçümler genellikle izotermal koşullar altında yapılmaktadır. Dengeli şartlar altında (sınır koşulu sabiti olarak bilinen

bağıl nem) örnekten geçen buhar akışı oranı gravimetrik olarak belirlenmektedir. ASTM E96 Standardına göre malzemelerin su buharı iletimi %25 bağıl nem altında yapılan kuru kap yöntemi ve %75 bağıl nem ortamında geçirgenliği veren ıslak kap yöntemi ile belirlenmektedir (Kumaran, 2006). Daha önce pek çok deneyde de belirtildiği gibi ıslak kap yönteminde kuru kap yönteminden daha yüksek su buharı difüzyon katsayısı değerleri elde edildiği bilinen bir gerçektir (Kumaran, 1996).

Gözenekli yapı malzemelerinde su buharı difüzyonu ölçümünde kararlı-durum yöntemleri en çok kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler güvenilir ve nispeten doğru olarak kabul edilir, fakat genellikle zaman alıcıdır. Kararlı-durum yöntemleri arasında kap yöntemi dünyada çoğu ülkede standart olarak en sık uygulanan yöntemdir. Bu yöntemi kullanarak su buharı difüzyon katsayısı, su buharı geçirgenliği ya da su buharı difüzyon direnç faktörü parametrelerine ulaşılmaktadır. Bu yöntemin en çok tercih edilme sebebi muhtemelen basit olması ve hata payını önemli ölçüde en aza indirmesidir (Cerny, 2010).

Isı iletim kanununda olduğu gibi ısı akısının yönü nasıl yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru ise, Fick kanununa göre de su buharı akışı yüksek su buharı kısmi basıncından düşük su buharı kısmi basıncına doğru olmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Yapı malzemesinde ısı geçişi ve buhar difüzyonu (Heperkan vd., 2002)

2.6.4. Sertlik ölçümü yöntemleri

Mermerlerde tane boyutu çok önemli bir özelliktir. Çünkü mermerler ilk olarak tane boyutu ile değerlendirilmektedirler. Mermerlerin tane boyutu dayanım, kullanım yeri, parlaklık ve cila alma özelliklerine direkt olarak etki etmektedir. Bu nedenle mermerlerde tane boyutu küçüldükçe fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileşmesine paralel olarak ekonomik değeri de artmaktadır (Kun 2000).

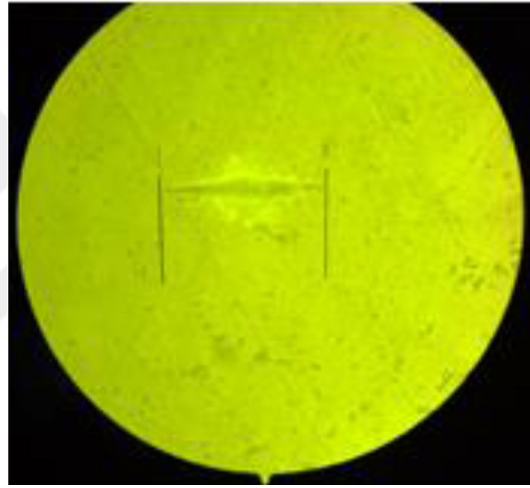
Bunun yanı sıra tane boyut dağılımının iri ve tane sınırlarının düz olması mermerlerin dayanımlarının düşük olmasına neden olmaktadır. Tane boyut dağılımının genelde ince ve tane sınırının da girift olması mermerlerin dayanımını arttırmaktadır (Onargan vd, 1997). Öte yandan, tane çapları küçüldükçe ve kenetlenme oranı arttıkça, direnç fazlalaşmakta ve dış etkilerle bozuşma azalmaktadır (Çelik 2001).

Malzemelerin sertliğini belirlemede değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar uygulandığı malzemelere ve yöntemin prensiplerine göre farklılıklar göstermektedir. Knoop, Brinell, Vickers ve Rockwell yöntemlerinde, uygulanan statik bir yük altında malzemenin yüzeyinde bir iz bırakma, bu tekniklerin esasını oluşturmaktadır. Bu yöntemlerle sertlik, belirli bir yük altında deforme olmayan bir küre veya koninin malzeme içine batma derinliğinin ölçülmesiyle belirlenmektedir. Dinamik sertlik ölçme yöntemleri için Shore Sclereskop cihazı kullanılmaktadır. Bahsedilen sertlik ölçme yöntemlerini birbirinden ayıran özellikler batıcı uç, yükleme kuvveti ve ölçme değeriyle sertlik değerinin meydana getirilmesidir.

2.6.4.1. Knoop sertlik ölçümü

Sertlik, statik veya dinamik yükleme şartları altında çizilmeye, kesilmeye ve sürtünmeye karşı direnç olarak ifade edilebilmektedir. Mikrosertlik ölçümleri için kullanılan yöntemlerden birisi Knoop sertliğidir. Knoop, 1939 yılında National Bureau Standards (USA) tarafından geliştirilmiştir. Eşkenar piramit

şekilli bir elmas uç kullanılmaktadır. Elmas ucun uzun ve kısa köşegenleri arasındaki oranı $1/7$ 'dir. Piramit şeklindeki ucun boyuna açısı 172° , enine açısı ise 130° 'dir. Malzemenin Knoop sertliğini (HK) bulmak için uygulanan kuvvet ve oluşan iz mikroskop yardımıyla ölçülmektedir (Şekil 2.17). Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu arasında ters orantı olup, tane boyutu arttıkça Knoop sertlik değeri azalmaktadır. Mohs sertlik skalası lineer olmadığından mermerlerin sertlik sınıflandırmasında, Mohs sertliklerinin yanında Knoop sertliklerinin de belirlenmesi, sertliğin önemli olduğu kullanım alanlarının belirlenmesinde önem taşımaktadır. Sonuç olarak Knoop sertliğinin, Mohs sertliğine göre daha hassas sonuçlar verdiği söylenmektedir.



Şekil 2.17. Darbe sonrasında yüzeyde oluşan iz görüntüsü (Sert vd., 2017)

Sert vd. (2017), Türkiye’de farklı alanlarda kullanılan, farklı oranlarda CaO içeriğine sahip beş farklı Ca (Kalsiyum) içerikli kireçtaşı, beş farklı MgO içerikli dolomitik kireçtaşı ve beş farklı SiO_2 (Silisyum) içerikli volkanik doğaltaş olmak üzere toplam 15 çeşit doğaltaş numunesinin kimyasal içeriği ile Knoop sertlik değeri arasındaki ilişkiyi araştırmış ve kimyasal yapının sertliği doğrudan etkilediğini saptamışlardır.

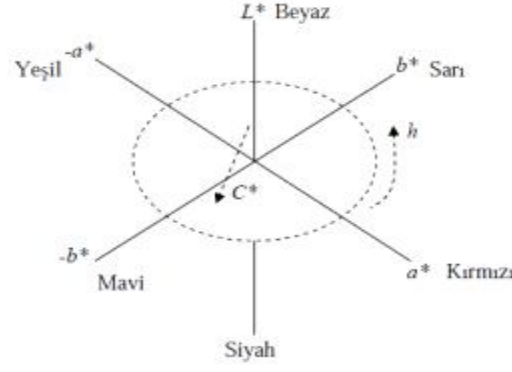
Bellopede vd. (2006), 500°C 'ye kadar farklı sıcaklıklarda işlem gören kesitlerde Knoop mikro sertlik cihazı kullanılarak kalsit taşlarının mikro sertlik değerlerinin davranışını incelemişler ve ısıtılardan dolayı sertliğin belirgin bir şekilde azaldığını tespit etmişlerdir.

2.6.5. Renk ölçümü

Renk, mermerlerde satış koşullarını etkileyen özelliklerin en önemlisidir. Mermerler renk ve desen özelliklerine göre ticari olarak isimlendirilerek satışa sunulmaktadırlar. Bu isimlendirmede kahverengi, kırmızı, beyaz, bej, kiraz, lila gibi renk isimleri kullanılmaktadır. Mermerlerin bünyesinde bulunan safsızlıklar, mermerin değişik renklerde oluşmasına sebep olmaktadır. Renk özellikleri L, a, b ve E ile ifade edilmektedir. L parametresi; parlaklık (L:0 siyah, L: 100 beyaz), a parametresi kırmızılık- yeşillik (a>0 kırmızı, a<0 yeşil), b parametresi sarılık-mavilik (b>0 sarı, b<0 mavi) durumunu ifade etmektedir.

Renk ve renk farklılığının enstrümantal olarak genellikle Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIELAB: Commission Internationale de l' Eclairege) tarafından geliştirilen yöntemle değerlendirilmesi yaygın bir hale gelmiştir. Bu yöntem 1976 CIE L*, a*, b* CIELAB üç nokta ölçüm yöntemi olarak bilinmektedir (www.hunterlab.se/wp-content/uploads/.../Hunter-L-a-b.pdf). X, Y ve Z tristimulus değerleri, rengi sayısal olarak ifade edebilmekle birlikte renk hakkında bilgi vermemektedir. Rengin daha kolaylıkla anlaşılabilir bir tanımını yapmak üzere 1976 yılında CIE, X, Y ve Z tristimulus değerlerinden hesaplanan L*, a* ve b* şeklindeki üç koordinatı bulunan ve CIELab sistemi olarak adlandırılan bir sistemi tanımlamıştır. Bu parametrelerdeki "*" işareti, daha önce geliştirilmiş farklı renk sistemlerindeki benzer formüllerinden CIE formüllerini ayırt edebilmek için kullanılmaktadır (Yeşil, 2010).

CIEL*a*b* renk sisteminde; renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri L*, a*, b* renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, L*siyah-beyaz (siyah için L*=0, beyaz için L*=100) ekseninde, a* kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır (Oliver vd., 1992; McGuire, 1992). CIEL*a*b* renk alanı Şekil 2.18'de gösterilmektedir.



Şekil 2.18. CIE L*a*b* renk düzlemi (Acar, 2009)

Günümüzde, spektrofotometre yardımıyla renk farklılıklarının değerlendirilmesi önemli hale gelmiştir. Eğer yeterli bir doğrulukta, geçme/kalma durumu veya farklılığın değerlendirilmesi ve onaylama prosesleri için objektif bir sonuç sağlamaktadır. Teknolojik renk hesaplamaları için temel varsayım, tristimulus değerleri ve algılanan renk arasındaki tanımlanabilen ilişkinin varlığıdır. Genellikle renk ölçüm fonksiyonları ve görme arasında doğrudan bir ilişki olduğu değerlendirilmektedir (Kuehni, 2003).

Tiwari vd. (2005), kayaç üzerindeki kolorimetrik ölçümlerin, yüzey dokusu ve renginde meydana gelen bir değişimi nicelleştirdiğini ve kayaç hasarını yansıtabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle, renk değişiminin belirlenmesi ve yorumlanması, iklim şartlarındaki bozunmaları değerlendirmek için çok önemlidir (John, 1988).

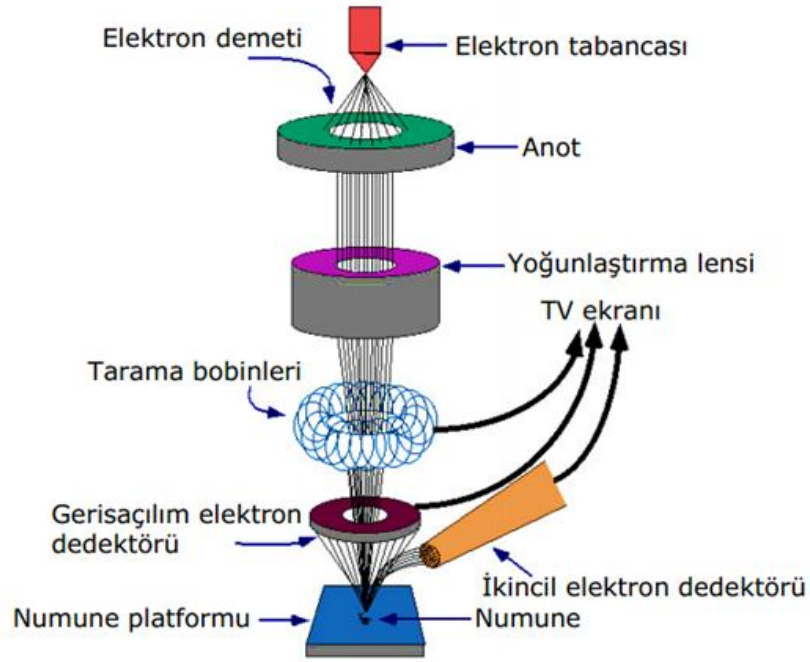
Inigo vd. (2013), üç farklı granit kayacı üzerinde 70 çevrim hızlandırılmış yaşlandırma testleri uygulamış ve 0, 20, 40, 60 ve 70. çevrimlerde renk ölçümleri yaparak L^* , a^* , b^* değerlerindeki değişimleri incelemişlerdir. Buna göre yaşlandırma testleri ile L^* değerinde koyulaşma, a^* , b^* değerlerinde ise çevrim sayısına paralel olarak artma olduğunu ifade etmişlerdir.

2.6.6. SEM (Scanning Electron Microscope) analizi

Elektron mikroskopları, numunenin görüntüsünü oluşturabilmek için elektron demetlerini kullanmaktadırlar. Optik mikroskoptan çok daha fazla çözünürlüğe sahip ve çok daha yüksek büyütmelelere çıkabilmektedir. En temel elektron mikroskopları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve geçirmeli elektron mikroskobu (TEM)'dir. Taramalı elektron mikroskobu ile görüntüler, elektron demetinin malzeme ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışımlar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak oluşturulmaktadır. Geçirmeli elektron mikroskobunda ise elektron tabancasından elde edilen elektronlar, 100-200 kV değerinde hızlandırma voltajı ile numuneye yönlendirilmektedirler. Elektronların yönlendirilmesi elektromanyetik lensler kullanılarak yapılmaktadır. Numuneden geçebilen elektronlar gözlem ekranının üzerine düşmekte ve görüntü elde edilmektedir.

Taramalı elektron mikroskobu, optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır (Şekil 2.19). Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır.

Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışımları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır



Şekil 2.19. Taramalı elektron mikroskopunun şematik görünüşü (www.slideshare.net/drbbhargava5745/scanning-electron-microscopy-sem-lecture)

Optik kolon alttan numune ocağına açılır. Burada üç boyutta hareket edebilen numune kazağı, demet-numune etkileşimi sonucu oluşan değişik sinyallere duyarlı algılayıcılar bulunmaktadır. Mikroskopun elektronik donanımı ise flaman akımı, mercek akımı ve uyarma gerilimini kararlı tutarken, algıcılardan gelen sinyalleri işleyerek numunenin değişik özelliklerini yansıtan görüntüler oluşturulmaktadır (Özkan ve Yörücü, 1986).

2.6.7. Nokta yük dayanım indeksi

Bir kayacın mekanik kuvveti, fiziksel basınca direnme yeteneğini belirlemektedir. Kaya malzemesinin en temel mekanik özelliği çekme dayanımıdır, çünkü basınç dayanımından daha düşüktür ve hava koşullarından daha fazla etkilenmektedir (Gupta ve Seshagiri, 1998; Arikan vd., 2007). Basınç değeri kayacın çekme mukavemetine ulaştığında, yeni mikro çatlaklar gelişmekte, mevcut olanlar derinleşerek genişlemektedir. Sonuç olarak, kayacın dayanımı azalmaktadır (Khanlari vd., 2015).

İnce (2013), numunelerin nokta yük dayanım indeksi değerini (I_s) ISRM (1985)'de önerilen yöntem yardımıyla belirlemiş ve bu değerler kullanılarak standart 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi değeri hesaplanmıştır. Kayaçların düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi (I_{s50}) değerleri termal çevrimlerin artmasıyla azaldığını belirlemiştir. Numunelerin çevrimler sonrası düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi değerinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimini incelemiş ve veriler değerlendirildiğinde düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi değerinin yüzdesel olarak azaldığını belirlemiştir.

Hale ve Shakoor (2003)'un farklı kumtaşı örnekleri üzerindeki araştırmalarında elde ettikleri sonuçlar, % 2 ile % 7 arasında değişen gözenek değerlerinin, çoklu donma-çözülme döngüleri sırasında bir malzemenin basınç dayanımında önemli bir azalmaya neden olduğunu göstermektedir.

Goudie (1999), düşük elastisite modüllü, düşük yoğunluklu ve yüksek su emme kapasitesine sahip kayaçların çevre koşullarına karşı duyarlı olma eğiliminde oldukları için, yüksek elastisite modülünün, yüksek yoğunluk, düşük su emme kapasitesi ve daha yüksek direnç ile ilişkili olduğunu gözlemlemiştir.

Irfan ve Dearman (1978), İngiltere'de yıpranmış granit üzerine yapılan ayrıntılı incelemelerinden, nokta yük indeksinin, tahribat derecelerinin gerçekçi nicel bir değerlendirmesini sağlayabileceği sonucuna varmışlardır.

2.6.8. Ultrasonik hız

Ultrasonik dalga hızlarını ölçmek için sık kullanılan titreşim yöntemi, bozunma miktarının artmasıyla azaldığı için kayaç dokusunun tahribat derecesinin belirlenmesinde yararlı olmaktadır. Bozunmuş bir malzeme üzerindeki ultrasonik hız, bozunmamış bir malzeme üzerinde elde edilen ultrasonik hız ile karşılaştırılabilmekte ve ayrıca yapısal değişiklikler de belirlenebilmektedir (Accardo vd., 1981; Calleja vd., 1989).

Sousa vd. (2005), farklı granitler üzerindeki termal şok etkisi üzerine bir araştırma gerçekleştirmiş ve çatlak oluşumuna bağlı olarak termal şok deneylerinden sonra granitin P dalga hızının azaldığı sonucuna varmışlardır.

Bourgès (2006) yılında yaptığı çalışmada, gözenekli 6 kayaç üzerinde 100 çevrimlik donma-çözülme testleri uygulamıştır. Buna göre kayaç kalite indeksi sonuçları ile ultrasonik hız değerlerini karşılaştırmıştır. Elde ettiği başlangıç ve bozunma sonrası veri seti değerlerine göre, ultrasonik hız değerindeki düşüşün, yataklanma yönüne paralel olan malzemenin dik olana nazaran daha belirgin olduğu görülmüştür. Elde ettiği sonuçların, yataklanma yönüne paralel makro ya da mikro çatlakların genişlemesini doğruladığını belirtmiştir. Ultrasonik dalga hızı ve dinamik elastisite modülü birbirleriyle ilişkili olmakla birlikte, P dalga hızı düştüğünde, dinamik elastisite modülü de azalma göstermektedir.

Inigo vd. (2013), üç farklı granit kayacı üzerinde 70 çevrim hızlandırılmış yaşlandırma testleri uygulamış ve 0, 20, 40, 60 ve 70inci çevrimlerde ultrasonik hız değerlerini ölçerek kayaçlar üzerindeki bozunmanın etkisini incelemişlerdir. Buna göre atmosferik koşulların kayacı bozundurması etkisiyle ultrasonik hız değerinde düşüş meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Kayaçlara ait fiziksel ve mekanik özelliklerin tespiti için, ultrasonik dalga hızları birçok araştırmacı tarafından kullanılmış ve ses hızının kaya özellikleri ile oldukça ilişkili olduğu belirlenmiştir (Kahraman, 2001; Koca vd., 2001; Karakuş vd., 2005; Singh ve Sharma, 2008; Ersoy ve Bulut, 2009; Babacan vd., 2009; Kurtuluş ve Çakır, 2009; Panzera vd., 2011; Ersoy ve Kanık, 2012).

İnce (2013), kullandığı numunelerdeki P dalgası yayılma hızı değerlerini, ISRM (1981)'de önerilen yöntemle belirlemiştir. Numunelerin P dalgası yayılma hızının termal döngüler öncesi başlangıç değeri ile termal döngüler sonrası bozunmuş değeri arasındaki değişimler yüzdesel olarak incelemiştir. P dalgası yayılma hızı özelliğinin kayaçların başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimi % 0,76 ile % 12,12 arasında azaldığını belirlemiştir. Kayaç grupları içerisinde genelde en çok yüzdesel değişimin piroklastik kayaçlarda gözlemlendiğini belirtmiştir. Sismik

hızlar büyük ölçüde kayaç türü, yoğunluk, tane boyutu ve şekli, gözeneklilik, sıcaklık, su içeriği vs. gibi parametrelerden etkilenmektedir (Kurtuluş vd., 2010).

Chen vd. (2004) yaptıkları çalışmada, doygunluk derecesindeki değişimin donma-çözülme süreci üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla doygunluk derecesi %0-%95 arasında değişen İgnimbiritin donma-çözülme süreci sonrasında P dalga hızı ve gözeneklilik değerlerinin değişimini incelemişlerdir. Donma-çözülme süreci sonrasında P dalga hızı azalırken, gözeneklilik değerlerinin arttığını gözlemişlerdir. Bu özelliklerdeki değişimlerin doygunluk derecesindeki artışla doğru orantılı olarak arttığını ve artışın doygunluk derecesinin % 70'in üstüne çıktığını ve daha belirgin hale geldiğini, donma-çözülme sürecine bağlı olarak gelişen çatlakların ise doygunluk derecesinin artışıyla doğru orantılı olduğunu belirlemişlerdir.

Takarlı vd. (2008) yaptıkları çalışmada, 2 granit örneğinin permabilite ve P dalga hızındaki değişimi 300 çevrimden oluşan donma-çözülme ve ısıtma-soğutma süreciyle araştırmışlardır. Kayaçlarda donma-çözülme çevrim sayısının artmasıyla permeabilite ve P dalga hızının düştüğünü belirlemişlerdir.

Ruedrich vd. (2011) yaptıkları çalışmada, kireçtaşı, riyolit, lapilli tuf ve granit örneği üzerinde donma çözünmenin uzun süreli etkilerini incelemek için 1.400 donma-çözünme döngüsü yapmışlardır. Kayacın bozunması sürecinde petrofiziksel parametreleri, ağırlık kaybı, P dalga hızı ve Young modülü değerlerindeki değişimi incelemişler ve donma-çözünme süreci sonrası ağırlık kaybı, P dalga hızı ve Young modülü değerlerindeki azalmaları belirlemişlerdir. Ağırlık kaybı değerinin donma- çözünme olayını karakterize etmekte yeterli olmadığını gerçekte dokudaki değişimin önemini vurgulamışlardır. Donma-çözünme süreci boyunca dokudaki bozunmaları izlemek için P dalga hızının iyi bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Yavuz vd. (2006) yaptıkları çalışmada, 12 kayaç örneğine 20 çevrim donma-çözülme ve termal şok testleri uygulamış ve kayaçlara ait çevrimlere girmeden

önce ve sonra olmak üzere P dalga hızlarını ölçmüşlerdir. Kayaç örneklerine ait başlangıç ve çevrimler sonrası verileri değerlendirilmiş ve P dalga hızında donma-çözülme etkisiyle %88-93, termal şok etkisiyle %81-98'lik bir azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, ani sıcaklık farkının meydana getirdiği fiziksel bozunmalardan kaynaklı değişimler, ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ayrı ayrı ele alınmış olan bazı fiziko-mekanik ve termofiziksel özellikler birarada değerlendirilmiş ve bu parametrelerin aynı kayaç grupları içinde bozunma özelliklerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen değişim parametreleri ile ısı iletkenlik katsayısı arasında ilişkiler kurularak, önemi araştırılmıştır. Isı iletkenlik katsayısının belirlenmesinin, malzemelerin iç yapısında meydana gelen bozunma parametrelerinin önceden tahmin edilerek yapı sektörüne fayda sağlaması amaçlanmıştır. Bu nedenle, tez çıktılarının sadece akademik çalışmalara değil, aynı zamanda inşaat sanayisinde ekonomiklik bakımından teknolojik faydalar sağlaması hedeflenmektedir.

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Tez Çalışması Aşamaları

Bu çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin karakteristiklerinin araştırılması, incelenmesi ve analiz bulgularının yorumlanması, deneysel ve gözlemsel bulgularla sağlanmıştır. Yapılmış olan çalışma,

- Numune temini
 - Traki Andezit (Volkanik Kayaç)
 - Limra (Metamorfik Kayaç)
 - Traverten (Sedimanter Kayaç)
 - İğnimbirit (Volkanik Kayaç)
- Temin edilen numunelerin yapılacak analiz ve testler için boyutlandırılması
- Fiziko-mekanik testler
 - Birim hacim ağırlık tayini
 - Su emme tayini
 - Sismik hız tayini
 - Knoop sertliği tayini
 - Renk değişimi tayini
 - Dayanım Testleri
 - Donma-çözülme tayini
 - Termal şok tayini
 - Buhar geçirgenlik tayini
- Termal özelliklerin tayini için testler,
 - Isı iletkenlik katsayısı tayini
 - Isı kapasitesi tayini
 - Isıl direnç tayini
- Gözeneklilik tayini için testler
 - Toplam yüzey alanı ve gözenek hacmi
- Numunelerin kaplama malzemesi olarak ekonomikliğinin tayini ve gerekli hesaplamaların yapılması

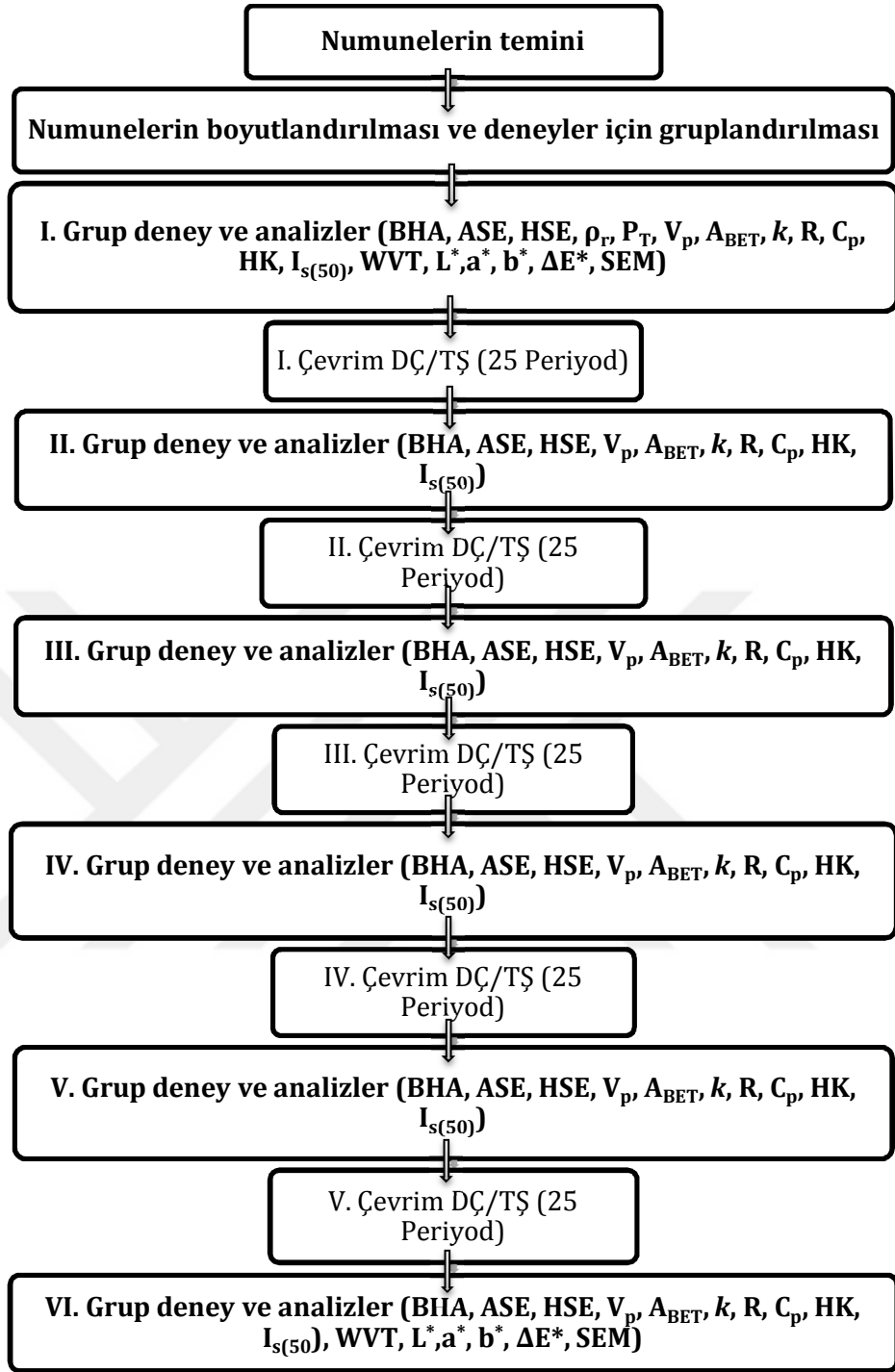
- Analiz ve deney bulgularının değerlendirilerek birbirleriyle ilişkilendirilmesi

olmak üzere başlıca yedi aşamada gerçekleştirilmiştir.

Yapılmış olan bu çalışmada kullanılan farklı doğal taş türlerinin ısıyı iletme özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çeşitli örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu örneklerin bir taraftan fiziko-mekanik özellikleri incelenirken, diğer taraftan belirlenen bu özelliklerin söz konusu kayacın gözenek yapıları, termal özellikleri, ısı iletim katsayısına etkileri ve kaplama taşı olarak kullanıldıklarında ısı tasarrufu açısından önemi araştırılmıştır. Kimi kayalar tek mineralden, kimi kayalar da çoklu mineral yapısından oluşmaktadır. Temin edilen numunelerin bu özelliklerine de bakılarak ısı iletimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

Her numune için öncelikle SDÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mek. ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında bazı fiziko-mekanik özellikler . (Su emme, Toplam gözeneklilik, Birim hacim ağırlık, Sismik hız, Nokta yük indeksi) ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuvarında (DAL) Knoop sertliği, Renk değişimi ve uygun bağıl nem ortamında numune boyutlarına göre özel yaptırılmış olan deney aparatıyla ıslak kap yöntemi uygulanarak buhar geçirgenlik değerleri belirlenmiştir. Donma-çözülme ve Termal şok çevrimlerine başlanmadan önce İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Malzeme Araştırma Merkezi (MAM)' nde sırasıyla aynı örnek üzerinde porozimetrik analiz değerleri ve yine İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Jeotermal Araştırma ve Uygulama Merkezi (JEOMER)' nde KEM QTM-500 ve DSC ile Termal özelliklere ait değerler belirlenmiştir. Daha sonra donma-çözülme ve termal şok çevrimleri yapılarak yine fiziko-mekanik, porozimetrik ve termal analiz değerleri tayin edilmiştir. Bu deneyler rutin olarak toplamda 125 çevrim tamamlanana kadar tekrar edilmiş ve ölçümlerdeki değişimler belirlenmiştir. Son çevrimden sonra da sırasıyla porozimetrik (BET yüzey alanı, boşluk hacmi ve boyutu), termal (ısı iletkenlik katsayısı ve özgül ısı kapasitesi) ve fiziko-mekanik (su emme, toplam

gözeneklilik, birim hacim ağırlık, sismik hız, nokta yük indeksi, buhar geçirgenlik, Knoop sertliği ve renk değişimi) deneylere ait değerler belirlenmiştir. Bu şekilde bir yol izlenerek bir örnek üzerinde yapılması planlanan deney ve analizler tamamlanmıştır. 1 Çevrim olarak bahsedilen döngü 25 çevrimi kapsamaktadır. Bahsi edilen bu deneyler aynı deney sırası gözetilerek bütün numuneler (Traverten, Limra, Traki Andezit ve İgnimbirit) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her bir çeşit numune için yapılmış olan deney setlerinden elde edilen veriler önce kendi içinde yorumlanmış, daha sonra da her numune için aynı deneylere ait sonuçlar detaylı bir şekilde incelenip yorumlanarak aralarındaki ilişkiler belirlenmiş ve bulgular kısmında ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Donma-çözülme ve termal şok çevrimleri öncesinde ve sonrasında Tez çalışması boyunca yapılmış olan bütün deney ve analizler Şekil 3.1'de akım şeması halinde gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Tez çalışmasında uygulanan iş akım şeması

3.2. Deneysel Çalışmalar

Doktora tez çalışması kapsamında yapılmış olan çalışmalara ait açıklamalar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda doğal taş ve madencilik sektörü için gerekli bilgilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu

konuda gerçekleştirilecek gerek bilimsel ve gerekse pratik uygulamalarda bir öngörü oluşturulmasına fayda ve literatüre de önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çizelge 3.1 Tez çalışması kapsamındaki başlıca aşamalar

Tez Aşamaları	Konusu ve Kapsamı	Tez Amaç
I-Örneklerin temini, deneyler için hazırlanması ve detaylı karakterizasyonu,makine/teçhizat temini	-Literatür taraması ve değerlendirme -Planlama ve organizasyon -Analitik yöntemlerin belirlenmesi, test edilmesi ve onaylanması -Laboratuvar sağlık ve emniyet tedbirlerinin, çalışma şartlarının belirlenmesi -Numunelerin deneylere hazırlanması -Deneysel çalışmaların planlanması -Gerekli makine/teçhizat alt yapısının oluşturulması	-Gerekli literatür taraması yapılarak, detaylı bir alt yapı oluşturulmuştur. -Hangi deneylerin nasıl yapılacağı önceden planlanarak, deneyler için gerekli bütün numuneler temin edilerek, boyutlandırılmış ve böylelikle analiz ve deneyler yapılırken ekstra bir zaman kaybı yaşanmamıştır.
II- Fiziko-mekanik testler	-Birim hacim ağırlık tayini -Su emme tayini -Toplam gözeneklilik tayini -Sismik hız tayini -Basınç dayanımı tayini -Donma-çözülme tayini -Termal şok tayini -Buhar geçirgenlik tayini -Konoop sertlik tayini -Renk değişimi tayini	Tez çalışmasının bu aşamasında sözü edilen deneylerin tamamı malzemelerin boşluk yapıları ve iklim şartlarındaki değişimlerden nasıl etkilendikleri hakkında bir ön bilgi sağlamıştır.

III- Termal özelliklerin tayini için testler	-Isı iletkenlik katsayısı tayini -Isı kapasitesi tayini -Isıl direnç tayini	Bu aşamada yapılacak olan termal testlerden elde edilmiş veriler, malzemelerin termal özellikleri hakkında bilgi vermiş ve yorumlama kısmında kullanılmıştır.
IV- Gözeneklilik testleri	-Toplam gözenek alanının tayini	Brunauer, Emmet ve Teller (BET) metoduyla 77K'deki sıvı azot ortamında azot (N ₂) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak gözeneklilik ölçümleri yapılmış, toplam gözenek hacmi ve gözenek boyutu belirlenerek, malzemelerin iklim şartlarındaki değişimlerden boşluk yapılarının nasıl etkilendiği hakkında bilgi vermiştir.
V-Veri analizi ve bulguların değerlendirilmesi	-Deneylerde kullanılan malzemelerin ekonomikliğinin tayini -Deneylerden elde edilen bulguların değerlendirilmesi -Veri analizlerinin yapılarak, birbirleriyle ilişkilendirilmesi	II, III ve IV. Aşamalardan elde edilen veriler bir arada değerlendirilmiş ve termal özellikler ile anlamlı ilişkiler kurulmuştur.

3.2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan doğal taşlar

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan numuneler, inşaat sektöründe kaplama taşı olarak sıklıkla tercih edilen gözenekli kayaç gruplarından seçilmiştir. Numunelerin karakteristik özelliklerinin araştırılması, incelenmesi ve analiz bulgularının yorumlanması, deneysel ve gözlemsel bulgularla sağlanmaktadır. Numuneler Şekil 3.2’de gösterildiği gibi Isparta ve çevresinden temin edilmiştir.



Şekil 3.2. Numunelerin temin edildiği yerleri gösteren harita

3.2.1.1. Traki Andezit kayacı

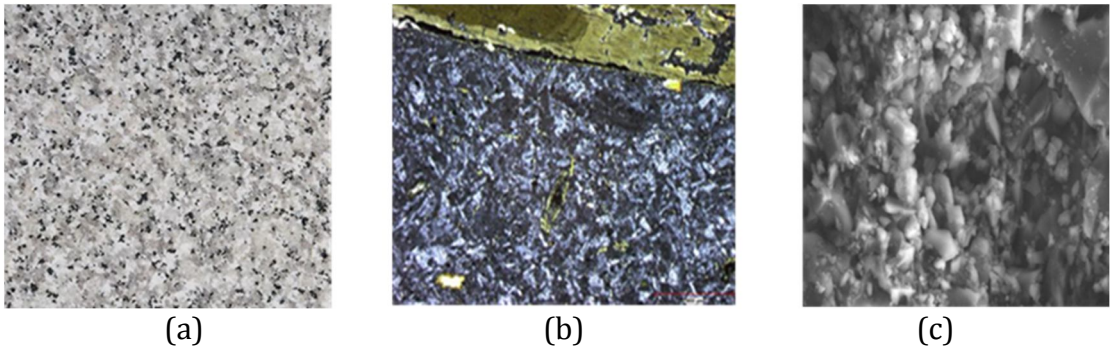
Traki Andezit, diyoritlerin yüzey kayacıdır ve %52-63 oranında kuvars içermektedir. Bileşiminde plajiyoklaz, kuvars, piroksen ve az oranda da hornblend bulunmaktadır (TS ISO 10835). Volkanik kökenli olan Traki Andezit kayaçları renk, doku ve sertlik açısından uygun olan bazı türlerinden parke taşı, döşeme taşı, kaplama taşı ve yapılarda değişik amaçlı olarak mimari tasarımlarda ve tarihi yapılarda kullanılmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan Traki Andezit numunesinin kimyasal analiz yöntemiyle yapılan tam kayaç bileşimi Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Traki Andezit kayacına ait kimyasal analiz sonuçları

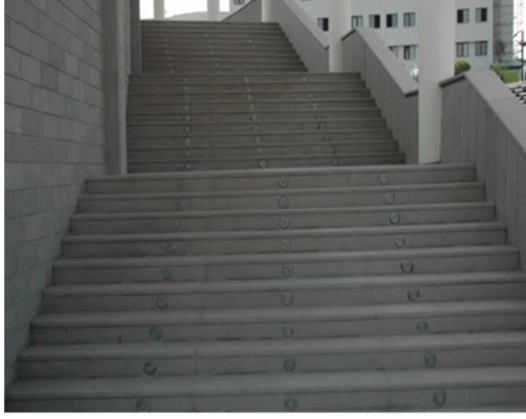
Bileşen Adı	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Kızdırma Kaybı	TOPLAM
Bileşen Oranı (%)	6,01	0,47	21,07	51,61	0,04	7,33	4,62	3,26	3,58	97,99

Traki Andezit kayacı, tersiyer ve kuvaterner dönemlerdeki volkanik olaylarda oluşmuş, özellikle yer döşemelerinde sıklıkla tercih edilen bir yapı malzemesidir. Dış ortamlarda patlatma, bordür ve küp olarak kullanımı oldukça yaygındır. Doğal bir görünümü yansıtan ürün sert yapısı, kolay aşınmayan dokusu ve kir tutmayan yüzeyi ile üstün kullanım özelliklerine sahiptir. Özellikle çevre düzenlemeleri ve peyzaj alanında sık sık boy gösteren bu yapı malzemesi, merdiven, duvar kaplama, yer döşeme gibi çeşitli platformlarda kullanılmaktadır. Isı yalıtımı amacıyla da tercih edilen Traki Andezit kayacı, oldukça konforlu ve sağlıklı bir kullanım olanağı sağlamaktadır.

Selçuklu zamanından bugüne yıllardır kullanılagelen bu kayaç, yapı sektörünün olmazsa olmaz ürünlerinden biridir. Dekorasyon alanlarında da karşılaşılan bu özel doğal taşın, binalara antik bir görünüm kazandırmak, doğallık katmak ve yapıları güçlendirmek için onlarca farklı şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Şekil 3.3 ve 3.4'te Traki Andezit numunesine ait görüntüler ve uygulama alanları görülmektedir.



Şekil 3.3. a) Traki Andezit numunesi b) Traki Andezit numunesinin ince kesit görüntüsü c) Traki Andezit numunesinin SEM görüntüsü (5000x)



Şekil 3.4. Traki Andezit kayacı ile ilgili uygulamalar

3.2.1.2. Limra kayacı

Limra, mineral bakımından zengin suların çökmesi ile gömülen, sıkıştırılan ve çimentolaşan milyonlarca yıllık çökellerin bir sonucu olarak oluşan kalkerli bir tortul kayadır. Limra kayacı iki farklı şekilde oluşmaktadır. Birincisi, deniz kabukları, mercan ve yosun kalıntıları gibi deniz organizmalarının okyanus ya da göl tabanlarında birikmesi sonucu oluşan organik tortul kayaç tipidir. Bu kalıntılardaki kalsiyum karbonat Limranın yapısını oluşturmaktadır. Limranın ikinci oluşum şekli ise kimyasal tortul kayaç tipidir. Bu tip Limra, kalsitin mağaralarda çökmesi sonucu oluşmaktadır. Kayacın bileşiminde kalsit mineralleri egemendir. Doku bakımından değerlendirildiğinde ise tane boyutu 2 mikronun altında olup, mikritik bir dokuya sahiptir. Tez çalışmasında kullanılan Limra numunesinin kimyasal analiz yöntemiyle yapılan tam kayaç bileşimi Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Limra kayacına ait kimyasal analiz sonuçları

Bileşen Adı	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Kızdırma Kaybı	TOPLAM
Bileşen Oranı (%)	0,00	0,21	0,05	0,08	0,02	0,00	55,65	0,00	43,94	99,95

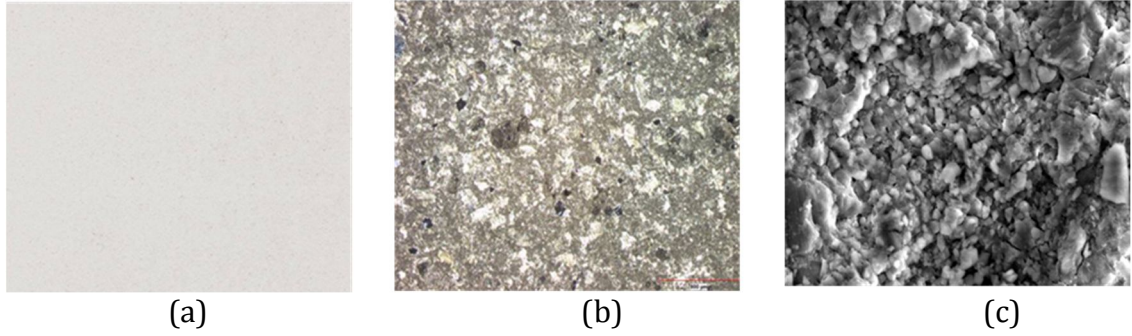
Limranın yapı sektöründen kimyasal sektörüne kadar pek çok kullanım alanı bulunmaktadır. Limra kayacı binaların cephe kaplamalarında kullanılmaktadır. Isı geçirenliğinin diğer kayalara kıyasla oldukça az olması nedeniyle daha çok dış cephe kaplama, şömine alanlarında kullanıldığı bilinmektedir. Mimari kullanım alanları olarak dekoratif, sağlam ve kolay işlenebilir özelliği dolayısıyla genellikle eski bina inşaatı, zemin döşemelerinde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Oldukça estetik bir görünüme sahip olan Limra kayacından eski zamanlardaki yapılarda da yararlanılmıştır. Limra kayacı ile inşa edilen Mısır piramitleri arasında olan Büyük piramit ve Giza piramidi bu yapılardandır. Şekil 3.5'te Limra kayacı ile yapılmış olan uygulamalar görülmektedir.



Şekil 3.5. Limra kayacı ile dış cephe kaplama

Süngerimsi yapısı ve yumuşak özelliği kolay işlenebilir olmasını sağlamaktadır. Öte yandan bu özelliği Limra kayacını narin ve hassas bir kayaca dönüştürmekte ve diğer kayaç tiplerine göre daha az dayanıklı olmasına sebep olmaktadır. Ancak eski yapılarda kullanımından da görüldüğü üzere uzun ömürlü ve ciddi anlamda göze hitap eden güzellikte bir kayadır. Genellikle, beyaz, krem renginde olmasına rağmen, kayaç içine girebilen farklı kimyasallar nedeniyle renkleri farklılık gösterebilmektedir. Örneğin demir oksit içeren Limra kayacı, kahverengi, sarımsı ve kırmızımsı renklere sahip olabilmektedir. Karbon mineralleri ise Limra kayacının eşsiz beyaz rengini, gri, mavi ya da siyaha dönüştürebilmektedir. Limra kayacı çok hassas ve hızlı bir şekilde kir aldığı için hem uygulanırken hem de uygulandıktan sonra temizliğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Uygulanmadan önce yüzey koruyucu kimyasal ürünlerle

korunması gereken bir üründür. Şekil 3.6'da Limra kayacına ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 3.6 a) Limra numunesi b) Limra numunesinin ince kesit görüntüsü c) Limra numunesinin SEM görüntüsü (5000x)

3.2.1.3. Traverten kayacı

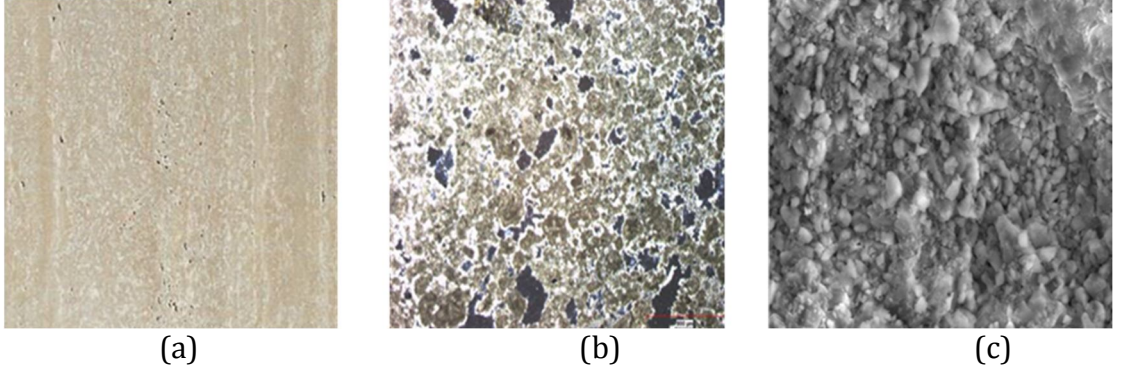
Travertenler, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ içeren suların aşırı doygunluk derecesine ulaşması sonucu oluşmuşlardır. Kalsiyum bikarbonatlı suların bıraktıkları çökeleklerdir (TS 11143). Bu kayaçlar sünger gibi delikli ve düşük yoğunluğa sahip oluşumlardır. Bu şekilde oluşan kayaçların çok delikli, hafif olanlarına ve fazla miktarda bitki, sap ve yapraklarını içerenlere “kalker tüfü”, az boşluklu ve yoğun olanlarına ise “Traverten” denir. Traverten renk, doku vb gibi fiziksel özellikleri, kolay işlenebilmesi nedeni ile de yapı taşı sektöründe yoğun olarak tercih edilen sedimanter kökenli karbonatlı bir kayaç türüdür. Genellikle sıcak su kaynakları çevresinde çökelmişlerdir. Tez çalışmasında kullanılan Traverten numunesinin kimyasal analiz yöntemiyle yapılan tam kayaç bileşimi Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Traverten kayacına ait kimyasal analiz sonuçları

Bileşen Adı	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Kızdırma Kaybı	TOPLAM
Bileşen Oranı (%)	0,03	0,32	0,04	0,20	0,12	0,01	55,37	0,03	43,81	99,93

Kimyasal bileşimi ve gözenekli yapısı bozunma olgusunu kolaylaştırmaktadır. Travertenler mikroorganizma ve bakteri yaşamı için uygun ortam

sağlamaktadırlar (Öcal ve Dal, 2012). Travertenler tabakalanma doğrultusunda ve dik olarak kesilip, parlatılarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. a) Traverten numunesi b) Traverten numunesinin ince kesit görüntüsü c) Traverten numunesinin SEM görüntüsü (5000x)

Şekil 3.7’de Traverten numunesine ait farklı görüntüler verilmiştir. Klasik Traverten açık krem ve bej renklerinden oluşmaktadır. Üzerinde bulunan desenleri sayesinde göze daha hoş gelen bu doğal Traverten ürünü, birçok mekanlarda kullanılmaktadır. Bilhassa iç ve dış kaplamalarda kullanılan bu mermer kayaç ürünü, sert yapısı sayesinde olumsuz bütün şartlara karşı da dayanıklıdır. Göze hoş gelen ve gözü yormayan bu ürün, merdiven, zemin, mutfak ve banyo gibi daha onlarca mekanlarda kullanılmaktadır. Şekil 3.8’de farklı türde Traverten uygulamaları görülmektedir.



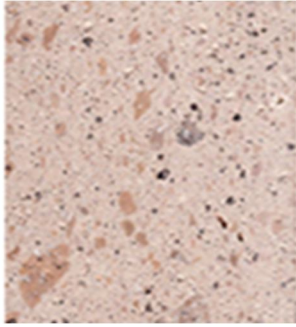
Şekil 3.8. Traverten kayacı ile zemin ve cephe kaplama

3.2.1.4. İğnimbirit kayacı

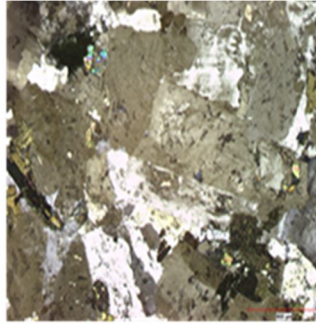
Afyon civarında bulunan tüflerin yapı taşı olarak kullanılabilme ve kolay kazılabilme özelliğinden dolayı, bu bölge antik çağlardan beri çeşitli medeniyetlerin önemli bir yerleşim yeri olmuştur. Bu civardaki tüfler günümüzde de inşaatlarda yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla bölgede çok sayıda taş ocağı işletilmektedir. İç Batı Anadolu'da önemli bir yeri olan Afyon volkanitleri Bayat - İscehisar - Kırka - Sandıklı - Şuhut arasındaki bölgede çok geniş alanlar kaplamaktadır. Tez çalışmasında kullanılan İğnimbirit numunesine ait farklı görüntüler Şekil 3.9'da ve kimyasal analiz yöntemiyle yapılan tam kayaç bileşimi Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. İğnimbirit kayacına ait kimyasal analiz sonuçları

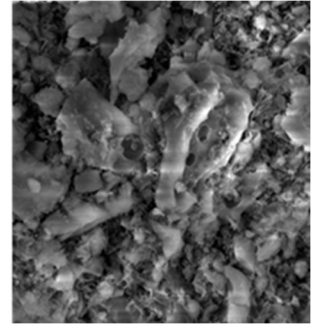
Bileşen Adı	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Kızdırma Kaybı	TOPLAM
Bileşen Oranı (%)	2,23	0,17	13,25	67,44	0,02	6,54	1,59	1,28	7,11	99,63



(a)



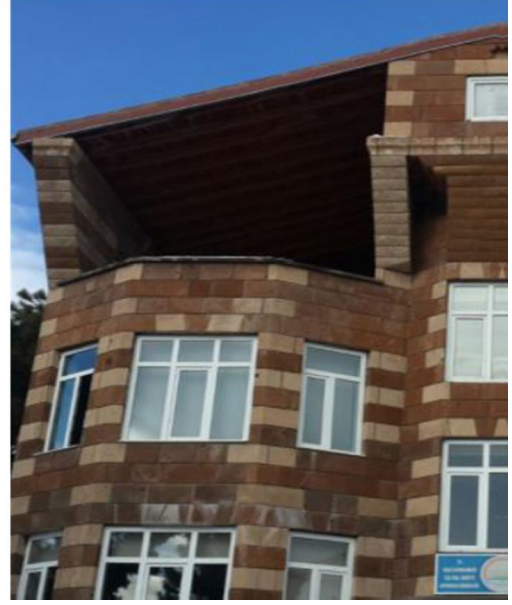
(b)



(c)

Şekil 3.9 a) İğnimbirit numunesi b) İğnimbirit numunesinin ince kesit görüntüsü c) İğnimbirit numunesinin SEM görüntüsü (5000x)

İğnimbirit kayacı günümüzde de cami mimarisinde, evlerde iç dekorasyon süslemelerinde, dış cephe kaplamada ve çeşme tasarımı gibi pek çok yapıda yaygın kullanım alanı bulmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Günümüz mimarisinden İğnimbirit örnekleri

İğnimbirit volkanik kayalara bir örnektir ve yarı kristalli, porfirik yapılıdır. Çoğu kez gözle görülebilen çeşitli kristaller, kristal olmayan camsı bir hamur içinde serpilmiş durumda bulunmaktadır. Öncelikli olarak parçacıklar içeren volkanik kül matrisinden ve volkanik cam parçacıkları, pomza parçaları ve fenokristaller durumundaki kristallerden oluşmaktadır. Çeşitli renklere, bileşen türlerine ve sarıdan koyu kahverengiye karakterize edilen matrisin kimyasal özellikleri nedeniyle çeşitli görünümlere sahiptir (Uğur, 2014).

İğnimbirit yapısı itibarıyla volkanik olduğundan oldukça hafiftir. Siyah, gri, kahverengi gibi farklı renklerde bulunmaktadır. Kayacın çeşitli renklerde olması, mimaride süslemede çokça kullanılmasına neden olmaktadır. Hafif olduğu için kayacın işlenmesi oldukça kolaydır. Yumuşak haldeki İğnimbirite el veya makine ile istenilen şekiller kolayca verilebilmektedir (Çelebi, 2001).

3.2.2. Termal özelliklerin tayini

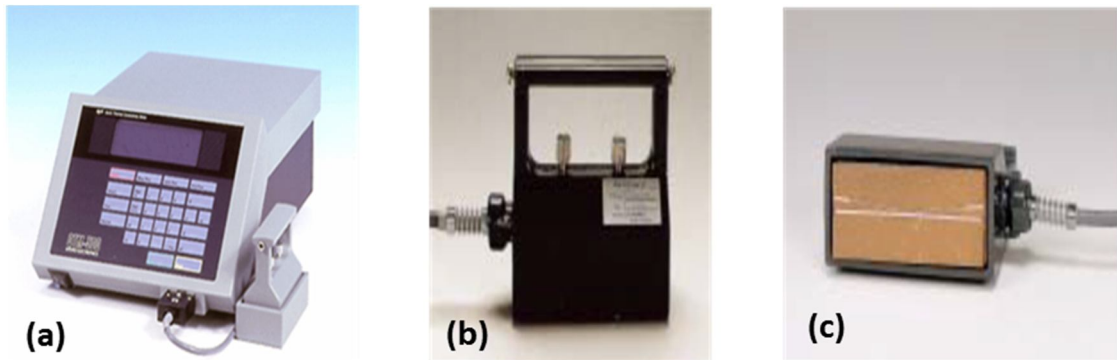
Bir yapı malzemesinin kullanılabilirlik ölçütü onun mekanik davranışı kadar bina ısı yüküne getireceği iyileştirmelerdir. Bunun tespiti ise ancak yapı malzemelerin ısı performansının tümüyle tanımlamasıyla mümkündür. Bir

malzemenin ısıl performansını tanımlayan parametreler; ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve ısıl difüzyon katsayısı şeklinde sıralanabilmektedir (Bouguerra vd., 2001) Bir binanın proses simülasyonu veya saha uygulamalarının doğru ve güvenilir yürütülebilmesi ancak malzemelerin ısıl özelliklerinin doğru ölçülebilmesiyle mümkün olmaktadır.

3.2.2.1. Isı iletim katsayısı tayini

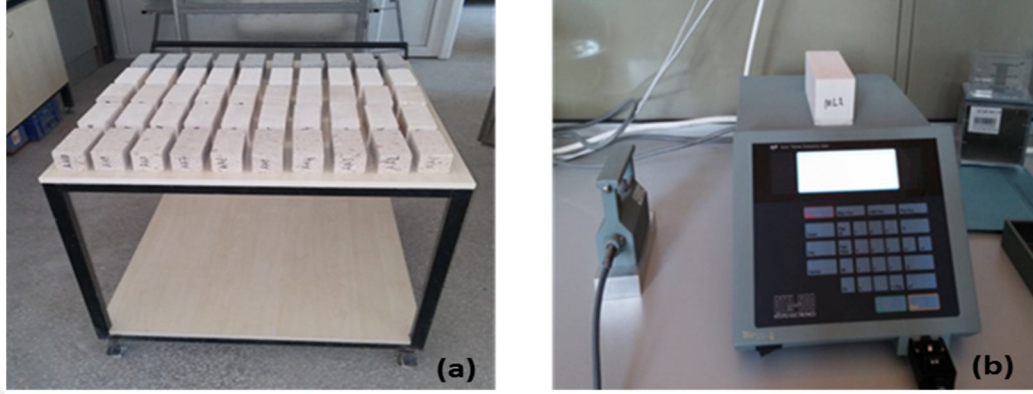
Bu çalışma kapsamında Isparta ve çevresinde bulunan bazı doğal taş türleri üzerinde İYTE JEOMER'de ısı iletim katsayılarını belirlemek için KEM QTM-500 (Quick Thermal Conductivity Meter) cihazı ile ölçümler yapılarak, kaplama taşı olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Isı iletim katsayısı sıcak tel yöntemi ile çalışmakta olan düzenek sayesinde ASTM 1113-90 standardına göre belirlenmiştir. Isı iletkenlik katsayısını belirlemek için 15 cm x 6 cm x 5 cm prizmatik numuneler üzerinde çalışılmıştır.

Kullanılan cihaz (Kem QTM 500) ve ölçüm sensörü Şekil 3.11' de gösterilmiştir. Şekil 3.11a ve 3.11b'de gösterilen ısıl iletkenlik ölçerde standart ölçüm probu (PD-11) ve izole korumalı ölçüm probu (PD-13) kullanılabilir. Şekil 3.10c'de gösterilen izole korumalı ölçüm probu ıslak beton, gıda malzemeleri gibi nemli ve elektrik iletkenliği olan malzemeler için kullanılabilir. Homojen morfolojiye sahip malzemelerde yüksek doğrulukta sonuç vermektedir.



Şekil 3.11. a) Isı iletim katsayısı ölçme cihazı (KEM QTM 500) ve b) Standart ölçüm probu (PD-11) c) İzole korumalı ölçüm probu (PD-13)

Tez çalışması boyunca donma-çözülme ve termal şok döngülerine giren, termal özellikleri (ısı iletim katsayısı, özgül ısı kapasitesi) belirlenmiş olan numuneler Şekil 3.12’de görülmektedir.



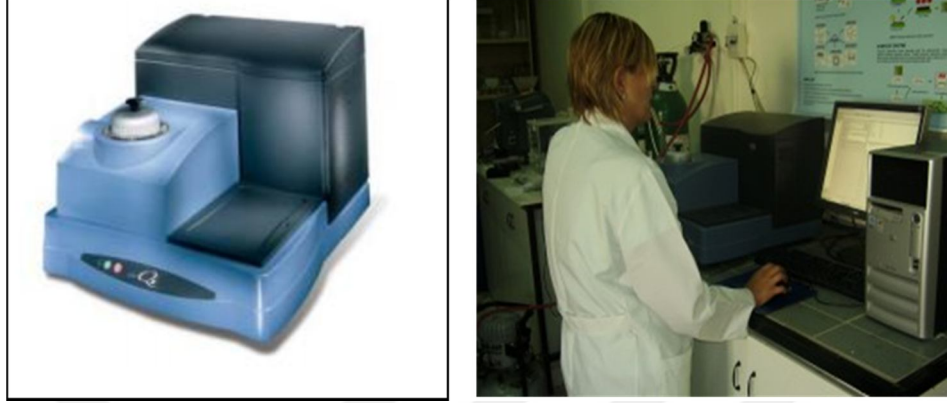
Şekil 3.12. a) Termal özelliklerin belirlenmesinde kullanılan numuneler b) Isı iletkenlik ölçümü yapılan numune

3.2.2.2. Özgül ısı kapasitesi tayini

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) çok yönlü ve açıklayıcı gücü sayesinde en çok kullanılan termal analiz metotlarından biridir. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri veya DSC ısı analizi yapmaya yarayan termal analitik bir yöntem olup; örnek ısıtılırken, soğutulurken ya da sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğurulan ya da salıverilen enerji miktarını ölçmektedir. DSC’nin temel uygulama alanları ekzotermik ve endotermik ayrışma gibi faz değişimleri üzerindeki çalışmalardır. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (TA Instruments Q10) ile ISO EN11357-1-2-3 standardına göre yapılan analizlerle ısı kapasitesi, reaksiyon ısısı, ergime, camsı geçiş ve faz dönüşüm sıcaklığı, reaksiyon ve dönüşüm kinetik parametreleri benzeri termal özellikleri belirlenmektedir. Bu yöntemde numune ve referans bulunmaktadır. Referans ile numuneden gelen veya uzaklaşan ısı farkı, sıcaklığa veya zamana bağlı olarak gösterilmektedir.

Güç telafisi prensibiyle çalışan DSC’lerde, numune sıcaklığı ile referans sıcaklığı aynı tutulmaktadır. Eğer numune ile referans arasında bir sıcaklık farkı saptanırsa, sıcaklığı aynı tutmak için numuneye verilen enerji (güç) miktarı

değiştirilmektedir. Bu yolla numunedeki faz değişimi sırasındaki ısı transferi miktarı saptanabilmektedir. Şekil 3.13'te ölçüm esnasında kullanılan DSC görülmektedir.



Şekil 3.13. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) (TA Instruments Q10)

Bu çalışma kapsamında Isparta ve çevresinde bulunan bazı doğal taş türleri üzerinde İYTE JEOMER'de ısı kapasite değerlerini belirlemek için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile ~ 1 g numune üzerinde ölçümler yapılmış ve kaplama taşı olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

3.2.3. Porozimetrlik özelliklerin tayini

Gözeneklilik; birtakım katı cisimlerde görülen ve genellikle kılcal borucuklarla birbirine bağlı boşlukların bulunduğu süngerimsi yapıdır. Gözenek adı verilen bu boşluklar bazen gözle görülebilecek büyüklükte olduğu gibi, çoğu zaman gözle görülemeyecek kadar küçük boyutlardadır. Bu gibi cisimlerin gözenekliliği ancak deneysel yolla ve bazı etkiler sonucunda anlaşılabilmektedir.

3.2.3.1. BET yüzey ölçümü

Tez çalışması boyunca ısısal değişimlerin gözenek yapısı üzerindeki etkilerini belirlemek için Şekil 3.14'te görülen BET (Yüzey Alanı Ölçüm Cihazı) ile ~ 1 g numune üzerinde ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.14. BET (yüzey alanı ölçüm cihazı) Mikromeritics Gemini V

Bu çalışma kapsamında Isparta ve çevresinde bulunan bazı doğal taş türleri üzerinde İYTE MAM'da Mikromeritics Gemini V BET yüzey alanı ölçüm cihazı ile malzemelerin gözenek alanı, gözenek hacmi ve gözenek boyutu değerleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu cihaz ile Brunauer, Emmet ve Teller (BET) methoduyla 77 K'deki sıvı azot ortamında, azot (N_2) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak yüzey alanı ve gözeneklilik ölçümü yapılmaktadır.

3.2.4. Fiziko-mekanik özelliklerin tayini

Kullanılan numunelerin TS EN 1936 standardına göre birim hacim ağırlıkları ve su emme testleri, TS EN 14579 standardına göre sismik hız, TS EN 12371 standardına göre donma-çözülme ve TS EN 14066 standardına göre termal şok gibi fiziko-mekanik testleri ve numunelerin yapılmış deneyler için boyutlandırılması SDÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 3.15'te numune boyutlandırılmasına ait görüntü verilmektedir.

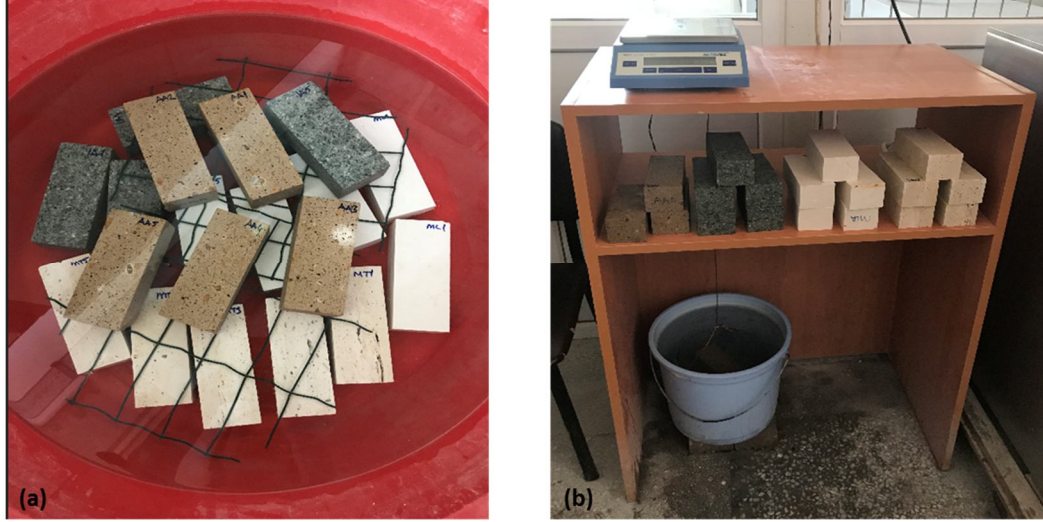


Şekil 3.15. Numunelerin boyutlandırılması

Malzemelerin TS EN ISO 12572 standardına göre buhar geçirgenlikleri ve TS EN 14205 standardına göre Knoop sertlik değerleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği DAL'da belirlenmiştir. Yapılan analizlerin sonuçlarına bağlı olarak, örneklerin ısı iletim katsayıları ve fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

3.2.4.1. Su emme tayini

Kayaç örneklerinin su emme kapasitesinin belirlenmesi için SDÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında, TS EN 1936 standardına uygun olarak atmosfer basıncında hacimce ve ağırlıkça su emme deneyleri yapılmıştır. Kütlece su emme oranı, etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş numunenin, absorbe edebildiği su kütlesinin numunenin tüm kütlesine oranı, hacimce su emme oranı ise numunenin bünyesine absorbe edebildiği su hacminin numunenin boşlukları dahil tüm hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır. Su emme deneyinde kullanılan numuneler (15 cm x 6 cm x 5 cm) Şekil 3.16a ve 3.16b'de görülmektedir.



Şekil 3.16. Su emme deneyinde kullanılan numuneler (a-b)

Numuneler yıkanıp temizlendikten sonra derin bir kap içerisine yerleştirilip, $\frac{1}{4}$ 'ü batacak şekilde saf su konulmuştur. 1 saat bekletildikten sonra numunelerin $\frac{1}{2}$ 'si suya batacak şekilde su ilave edilmiş ve 1 saat daha beklenilmiştir. Daha sonra $\frac{3}{4}$ 'ü batacak şekilde aynı işlemler yapıldıktan sonra numunenin tamamı su içerisinde 48 saat süreyle bekletilmiştir. Sürenin tamamlanmasıyla su içerisinde çıkartılan numunelerin üzeri nemli bir bez yardımıyla silinerek, su damlacıkları alınmış ve 0,1 g hassasiyetli terazide tartılarak doymun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı (G_{dh}) belirlenmiştir. Daha sonra doymun hale gelen deney numuneleri, Arşimet terazisinde tartılarak, doymun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı (G_{ds}) bulunmuştur. Daha sonra numuneler değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş (105°C) ve oda sıcaklığına soğutulduktan sonra 0.1 g hassas terazide tartılarak numunenin kütlesi (G_k) bulunmuştur. Bu işlemler yapıldıktan sonra bulunan değerler Eşitlik 3.1 ve 3.2 'de yerine koyularak ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri bulunmuştur.

$$ASE = \frac{G_{dh} - G_k}{G_k} \times 100 \quad (3.1)$$

$$HSE = \frac{G_{dh} - G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

ASE, Ağırlıkça su emme (%)

HSE, Hacimce su emme (%)

G_k , Deney numunesinin değişmez kütleye kadar kurutulmuş kütlesi (g)

G_{dh} , Doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı (g)

G_{ds} , Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı (g)

3.2.4.2. Birim hacim ağırlık tayini

SDÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında TS EN 1936 standardına uygun olarak, deney numunelerinin birim hacim ağırlık ve gözeneklilik özelliklerinin belirlenmesi için deneyler gerçekleştirilmiştir. Su emme deneylerinde olduğu gibi deney numunelerinin yüzeyleri su ile yıkanarak temizlenmiş ve değişmez kütleye gelinceye kadar etüvde 105°C de kurutulmuştur. Oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0,1 g hassasiyetle tartılarak deney numunesinin kütlesi (G_k) bulunmuştur. Daha sonra numunenin tamamı su içerisinde 48 saat süreyle bekletilmiştir. Sürenin tamamlanmasıyla su içerisinde çıkartılan numunelerin üzeri nemli bir bez yardımıyla silinerek, su damlacıkları alınmış ve 0,1 g hassasiyetli terazide tartılarak doymun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı (G_{dh}) belirlenmiştir. Daha sonra doymun hale gelen deney numuneleri, Arşimet terazisinde tartılarak, doymun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı (G_{ds}) bulunmuştur. Numunenin birim hacim ağırlığı Eşitlik 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır. Deneylerde 15 cm x 6 cm x 5 cm primatik numuneler kullanılmıştır.

$$\rho_k = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \quad (3.3)$$

Burada;

ρ_k , Kaya biriminin doğal birim hacim ağırlığı (g/cm³) (BHA)

G_k , Deney numunesinin değişmez kütleye kadar kurutulmuş kütlesi (g)

G_{dh} , Doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı (g)

G_{ds} , Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı (g)

Görünür yoğunluk (g/cm³), kuru numune kütlelerinin görünür hacmine oranı şeklinde Eşitlik 3.4 ile bulunmuştur.

$$\rho_b = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \times \rho_{rh} \quad (3.4)$$

Burada;

G_k , Deney numunesinin değişmez kütleye kadar kurutulmuş kütlesi (g)

G_{dh} , Doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı (g)

G_{ds} , Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı (g)

ρ_b , Numunenin görünür yoğunluğu (g/cm³)

ρ_{rh} , Suyun yoğunluğu (g/cm³)

Açık gözeneklilik (%), numunenin açık gözeneklerinin hacminin, görünür hacmine oranı şeklinde Eşitlik 3.5 ile ifade edilmektedir.

$$P_0 = \frac{G_{dh} - G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \times 100 \quad (3.5)$$

Burada;

G_k , Deney numunesinin değişmez kütleye kadar kurutulmuş kütlesi (g)

G_{dh} , Doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı (g)

G_{ds} , Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı (g)

P_0 , Numunenin açık gözenekliliği (%)

3.2.4.3. Toplam gözeneklilik tayini

Katı malzemelerin toplam gözenekliliği piknometre deneyi yardımı ile belirlenmektedir. Bu deney için 50 ml'lik piknometre ile 200 µ altına öğütülmüş toz numune kullanılmıştır. Öncelikle öğütülmüş kayaç numunesi kurutularak neminden uzaklaştırılmış ve ~5 g tartılmıştır (G_n). Daha sonra piknometre saf su ile doldurularak kapağı kapatılmış, suyun taşması bittikten sonra kurularak tartılmıştır (G_{pn}). Suyu boşaltılan piknometrenin içine tartılan numune koyularak üzerine bir miktar saf su eklenmiş ve belirli basınç altında (~620 mmHg) vakumlanarak içinde hava kalmaması sağlanmıştır. Vakumlama işlemi bittikten sonra yine piknometre saf su ile doldurularak kapağı kapatılmış ve suyun taşması bittikten sonra kurularak tartılmıştır (G_{pns}). Deney bu adımlarla tamamlandıktan sonra, tartımlar sonucu elde edilen değerler Eşitlik 3.6'da yerine koyularak gerçek yoğunluk (ρ_r) tayin edilmiştir.

$$\rho_r = \frac{G_n}{G_n + G_{pn} + G_{pns}} \quad (3.6)$$

Burada;

G_n , Tartılan numunenin kuru ağırlığı (g)

G_{pn} , Piknometre ve suyun toplam ağırlığı (g)

G_{pns} , Piknometre, su ve numunenin toplam ağırlığı (g)

ρ_r , Numunenin gerçek yoğunluğu, (g/cm³)

Numunenin görünür yoğunluğu (ρ_b) ve gerçek yoğunluğundan (ρ_r) faydalanarak toplam gözeneklilik Eşitlik 3.7'den hesaplanmıştır.

$$P_T = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r}\right) \times 100 \quad (3.7)$$

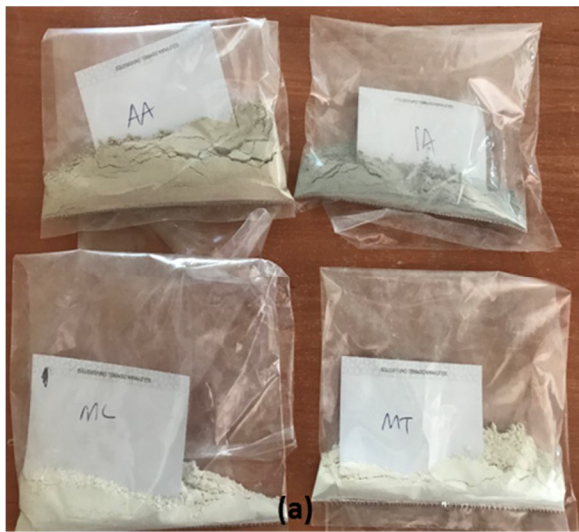
Burada;

ρ_b , Numunenin görünür yoğunluğu (g/cm³)

ρ_r , Numunenin gerçek yoğunluğu, (g/cm³)

P_T , Numunenin toplam gözenekliliği (%)

Deney esnasında kullanılan toz numune ve piknometre Şekil 3.17'de görülmektedir.



Şekil 3.17. a) Toz numune ve b) Piknometre

Kayaçların gözeneklilik değerlerine göre sınıflandırılması Çizelge 3.6'da verilmektedir.

Çizelge 3.6. Kayaçların gözeneklilik oranına göre sınıflandırılması (Tarhan, 1989)

Kayaç Sınıfı	Gözeneklilik (%)
Çok KoMPakt	< 1
Az Boşluklu	1- 2,5
Orta Boşluklu	2,5 -5
Oldukça Boşluklu	5 - 10
Çok Boşluklu	10 - 15
Çok Fazla Boşluklu	> 20

3.2.4.4. Ultrasonik hız tayini

Ultrasonik teknikler uzun yıllardır madencilik alanında ve jeoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır (Babacan vd., 2012). Yöntem uygulanmasının kolaylığı ve numunenin örselenmemesinden dolayı gittikçe artarak kullanılmaya başlanmıştır. Ultrasonik yöntem, kolaylıkla taşınabilir ultrasonik ölçüm cihazı ile laboratuvarında ve arazide ölçüm kolaylığı sağlamaktadır (Şekil 3.18a ve 3.18b). Sismik hız deneyleri 15 cm x 6 cm x 5 cm numuler üzerinde, TS EN 14579'da belirtilen esaslara göre SDÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.18. a-b) Pundit UPV ölçüm cihazına ait görüntüler

Numunenin bir tarafından verici prob (T) tarafından dalga gönderilirken diğer tarafından dalganın gelişi alıcı prob (R) tarafından kaydedilir. Ultrasonik dalganın hızı ise numunenin boyunun dalganın varış süresine oranıdır (Eşitlik 3.8). Kayaçlardaki kırık, çatlak veya gözenekler dalganın yayılımına engel olacağı için dalga yayılım süresi daha fazla olacak bu nedenle diğer kayaçlara göre hızı düşük olmaktadır. Ultrasonik enerjinin hava boşluğu tarafından gecikmeye uğramasını engellemek için karot numunesi ile alıcı verici problar arasında iyi bir iletimin sağlanması gerekmektedir. İletimin tam olarak sağlanabilmesi için P dalgası ölçümlerinde gres yağı vb. iletimi arttırıcı maddeler kullanılabilmektedir.

$$V_p = \frac{L}{T_p} \quad (3.8)$$

Burada;

V_p , P dalgasının yayılma hızı (m/s)

L, Numunenin boyu (sinyalin katettiği mesafe) (mm)

T_p , P dalgasının etkin ilerleme zamanıdır (μ s)

3.2.4.5. Donma-çözülme testi

Donma-çözülme çevrimleri TS EN 12371 standardında belirtilen esaslara göre SDÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında yapılmıştır. Donma-çözülme çevrimlerinde, numuneler suya doymun hale getirilerek önceden -20°C'ye ayarlanmış dondurucuya yerleştirilmiş ve 6 saat dondurucuda bekletilmiştir. Numuneler dondurucudan çıkartılıp oda sıcaklığında (yaklaşık 22°C) bulunan suyun içine konmuş ve bu şekilde 18 saat suyun içinde bekletilmiştir. Böylece 24 saatlik bir çevrim tamamlanmış olmaktadır. Her donma-çözülme periyodu bu şekilde 25 çevrimden oluşmakla beraber, çalışma boyunca 15 cm x 6 cm x 5 cm numuneler üzerinde, toplamda 5 periyod yani 125 çevrimden donma-çözülme testleri yapılmıştır. Donma-çözülme süreci boyunca kullanılan numuneler Şekil 3.19'da görülmektedir.



Şekil 3.19. Donma-çözülme deneyi numuneleri

Donma-çözülme olayı, iki aşamadan oluşmaktadır. I. aşama kayacın ortam sıcaklığı 0°C 'nin altına düşmesi ile gelişen donma aşaması, II. aşama ise ortam sıcaklığının 0°C 'nin üstüne çıkmasıyla kayacın çözülmesi aşamasıdır. Donma-çözülme süreci incelendiğinde en büyük etkenlerden biri olarak su görülmektedir. Bunun sebebi suyun donması ile hacminin % 9 oranında artması özelliğidir. Doygun bir kayaç donma çözülme sürecine maruz kaldığında kayacın gözeneklerinde bulunan suyun donması ile hacmi 10 kat genişlemektedir. Kayacın içerisinde buzun genişmesi için yer olmadığından hacmi genişleyen buz kayaya basınç uygulamaktadır. Kayacın gözeneklerinde oluşan buzun oluşturduğu basınçlar azalan sıcaklıkla artarak -22°C 'de 200 MPa'la ulaşabilmektedir (Bell, 2006). Bu basınç kayada yeni kılcal çatlaklar oluşumuna sebep olmaktadır. Daha sonra tekrar sıcaklık yükseldiğinde buz eriyip su haline gelmekte ve daha ince çatlaklardan içeri girmektedir. Gözeneklerin büyümesi boşluk suyu hareketini artırmakta ve kaya dokusu içinde gerilme artışına sebep olmaktadır. Kayacın tekrar donma süreci etkisi altında kalması ile gözeneklerdeki su buz haline geçerken hacmi artarak kayaya gerilme uygulamaktadır. Kayada bu gerilmenin etkisiyle yeni çatlaklar oluşmakta ve/veya var olan çatlaklar daha da genişlemektedir. Donma-çözülme süreci boyunca kayaç yüzeyinden bazen küçük parçalar ayrılmakla birlikte, esas etkisi süreç uzun periyotlar boyunca tekrarlandığında, kayaların

parçalanmasına neden olmaktadır. Daha da ilerleyen aşamalarda, kayaçların kalıntı zemine (toprağa) dönüşmesine kadar devam etmektedir.

Donma-çözülme süreci sonrası kayacın dokusal özelliklerinde meydana gelen değişimler yapı taşının fiziksel, dayanım ve aşınma parametrelerinde önemli değişimlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Buda yapı taşının kullanım süresinin azalmasına sebep olmaktadır (Koçu ve Dereli, 2003).

3.2.4.6. Termal şok testi

Termal şok çevrimleri TS EN 14066 standartlarında belirtilen esaslar çerçevesinde SDÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında yapılmıştır. Numuneler, 105°C'ye ayarlanmış etüve yerleştirilmiş ve 18 saat etüvde bekletilmiştir. Örnekler etüvden çıkartılıp oda sıcaklığında (yaklaşık 22°C) bulunan suyun içine koyulmuştur. Bu şekilde 6 saat suyun içinde bekletilerek tekrar etüve yerleştirilmiştir. Böylece 24 saatlik bir çevrim tamamlanmış olmaktadır. Her termal şok periyodu 25 çevrimden oluşmakla beraber, çalışma boyunca 15 cm x 6 cm x 5 cm numuneler üzerinde toplamda 5 periyod yani 125 çevrim termal şok testleri yapılmıştır. Şekil 3.20'da termal şok döngülerinde kullanılan numuneler görülmektedir.

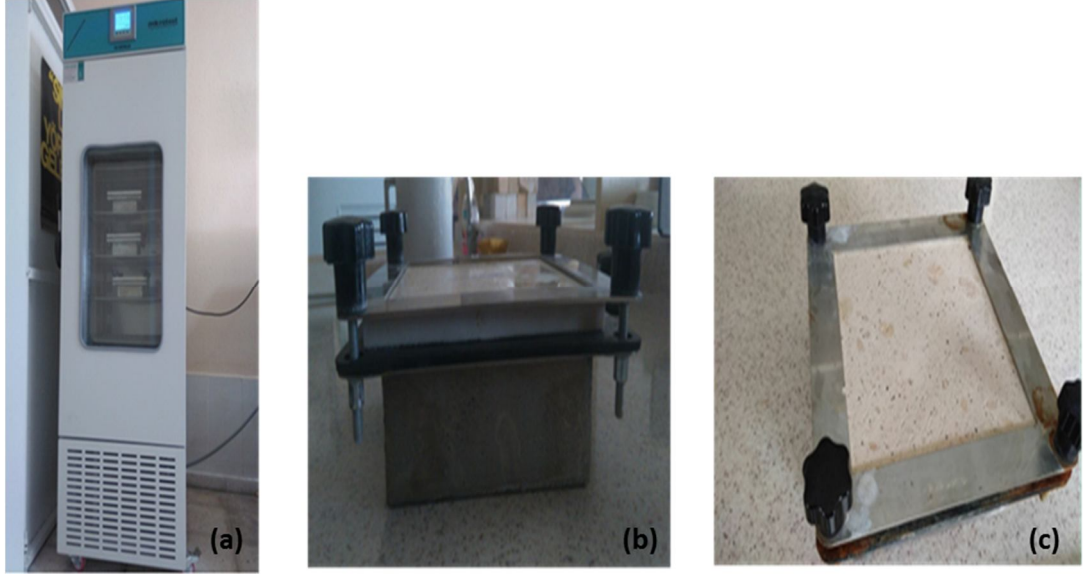


Şekil 3.20.Termal şok deneyi numuneleri

3.2.4.7. Su buharı aktarım özellikleri tayini

Gözenekli bir yapı malzemesinde eğer iç ortam ile dış ortam arasında kısmi basınç farkı oluşursa, su buharı, kısmi basıncın yüksek olduğu taraftan alçak olduğu tarafa doğru yapı elemanı içinden difüzyon yolu ile geçmektedir. Basınç farkı nedeniyle sınır tabakayı aşan buhar, çığ noktası sıcaklığının altında bir yüzey ile temas ederse, yapı malzemesi yüzeyinde bir miktar yoğunlaşarak terleme meydana getirmekte, kalan su buharı yapı malzemesi içine nüfuz etmektedir. Eğer su buharı, yapı malzemesi yüzeyinde yoğunlaşmazsa, terleme olmadan yapı malzemesi içine girmekte, yapı malzemesi içine nüfuz eden su buharının kısmi basıncı iç katmanlarda herhangi bir noktada o sıcaklıktaki su buharı doyma basıncına eşit olduğu anda yoğunlaşma başlamaktadır. Yoğunlaşma olan bölgede sıcaklık 0°C 'nin altında ise yoğunlaşan su buharı buz fazına geçmekte, yoğunlaşmayan su buharı ise yapı malzemesinin dış yüzeyinden çıkarak dış havaya karışmaktadır. Gözenekli yapı malzemeleri içindeki difüzyon olayını deneysel, analitik veya grafik yöntemlerle incelemek mümkündür.

Tez çalışması kapsamında TS EN ISO 12572 standardına uygun şekilde hazırlanan numuneler (16 cm x 16 cm x 1 cm) üzerinde yapılan ölçümlerle, numunelerin su buharı aktarım özellikleri belirlenmiştir. Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği DAL'da yapılan ölçümlerde kullanılan iklimlendirme kabini ve malzemelerin içine konulduğu kaplar Şekil 3.21a, 3.21b ve 3.21c'de gösterilmektedir.



Şekil 3.21. a) İklimlendirme kabini ve b-c) Ölçümü yapılan örnek numuneler

Numunelerin birbirini izleyen kap tartımı için, kütle değişim hızı Eşitlik 3.9 ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta m_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad (3.9)$$

Burada;

Δm_{12} , kap zamana düşen kütle değişimi (kg/sn)

m_1 , t_1 zamanında deney tertibatının kütlesi (kg)

m_2 , t_2 zamanında deney tertibatının kütlesi (kg)

t_1 ve t_2 , birbirini izleyen tartma zamanlarıdır (sn)

Deneyin kütle ve zaman arasındaki regresyon doğrusunun eğimi kg/s cinsinden numuneden geçen su buharı akış hızını (G) vermektedir. Su buharı geçirimsizliği (W) ise Eşitlik 3.10 ile hesaplanmaktadır.

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p_v} \quad (3.10)$$

Burada;

W, Su buharı geçirimsizliği (kg/(m².s.Pa))

G, numuneden geçen su buharı akış hızı (kg/sn)

A, deney numunesinin maruz kalan alanıdır (serbest üst ve serbest alt yüzey alanlarının aritmetik ortalaması) (m²)

Δp_v , Numune genelinde su buharı basıncı farkı (değeri test süresince ölçülen sıcaklık ve bağıl nemin ortalamasıyla hesaplanmaktadır) (Pa)

Su buharı direnci, su buharı geçirimsizliğinin tersi olarak Eşitlik 3.11' den hesaplanmaktadır.

$$Z = \frac{1}{W} \quad (3.11)$$

Burada;

Z, Su buharı direnci ((m².s.Pa)/kg).

W, su buharı geçirimsizliği (kg/(m².s.Pa)).

Su buharı geçirgenliği Eşitlik 3.12 kullanılarak elde edilmektedir.

$$\delta = W \cdot d \quad (3.12)$$

Burada;

δ , Su buharı geçirgenliği (kg/(m·s·Pa))

W, su buharı geçirimsizliği (kg/(m².s.Pa))

d, Numunenin ortalama kalınlığıdır (m).

Su buharı difüzyonu ise Eşitlik 3.13 ya da 3.14'den hesaplanmaktadır.

$$S_d = \mu \cdot d \quad (3.13)$$

$$S_d = \delta_a \cdot Z \quad (3.14)$$

Burada;

S_d , Su buharı difüzyonu (m)

μ , Su buharı direnç faktörü

d, Numunenin ortalama kalınlığı (m)

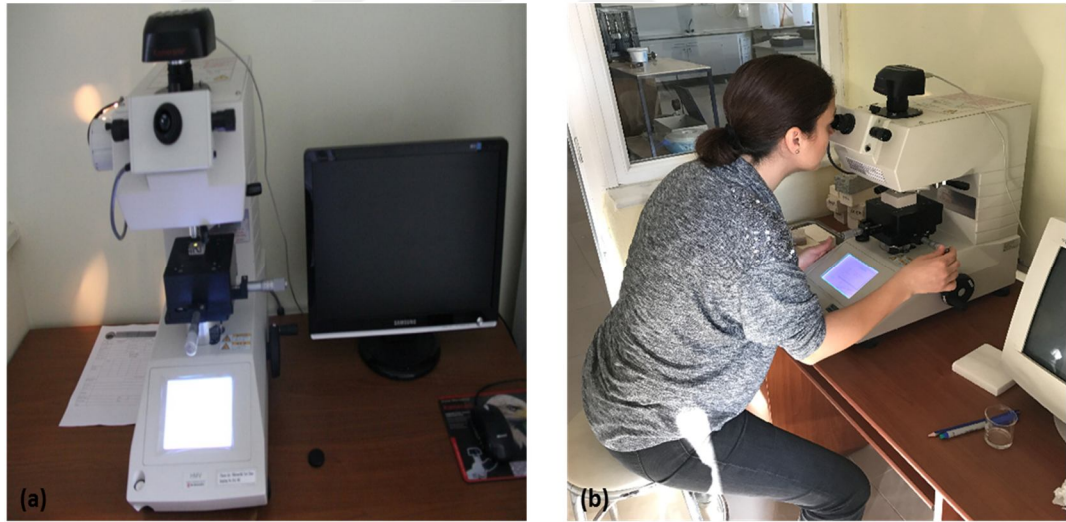
Z, Su buharı direnci ((m².s.Pa)/kg).

δ_a , Havanın kısmi buhar basıncına ilişkin su buharı geçirgenliğidir (kg/(m·s·Pa))

Su buharı difüzyonu sonucu oluşan yoğuşma, yapı malzemelerine ve yapı malzemelerinde meydana gelen ısı geçişine olumsuz yönde etki etmektedir. Malzeme içinde yoğuşan su malzemenin nemini arttırmaktadır. Yoğuşan suyun miktarı, malzemenin absorbe edebileceği doyma neminden fazla ise serbest kalmakta ve muhtelif şekillerde malzeme içinde hareket etmektedir.

3.2.4.8. Knoop sertlik tayini

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği DAL'da, TS EN 14205 standardına uygun şekilde hazırlanan numuneler üzerinde Knoop sertliği ölçümleri yapılmıştır. Knoop sertliğinin belirlenmesinde, ~ 15 cm x 6 cm x 5 cm prizmatik numuneler üzerinde 1-2 mm aralıklı olmak üzere toplam 40 iz ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerde kullanılan Shimadzu HMV Mikrosertlik Test Cihazına ait görüntüler Şekil 3.22a ve 3.22b'de görülmektedir.



Şekil 3.22. Shimadzu HMV mikrosertlik test cihazına ait görüntüler (a-b)

Avrupa standardı kullanılarak yapılan bu deney, Knoop indertörünü kullanarak doğal taş içindeki minerallerin sertliğini belirleme yöntemidir. Bu yöntem özellikle karbonat kayalar için kullanılmaktadır. Her girinti için Knoop sertliği HK cihaz tarafından otomatik olarak Eşitlik 3.15 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$HK = \frac{P}{L^2} \quad (3.15)$$

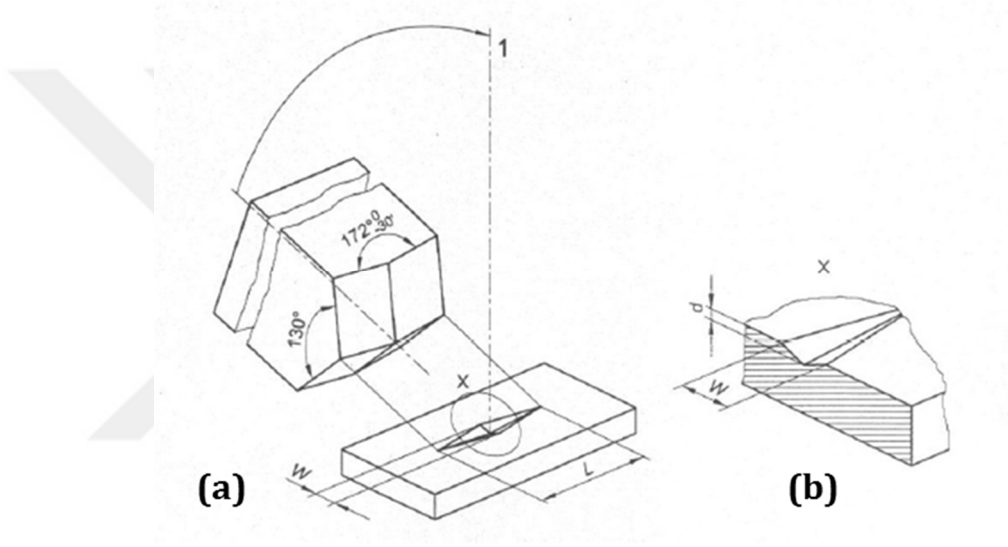
Burada;

HK, Knoop sertliği (MPa)

P, girinti üzerindeki yük (N)

L, indentörün bıraktığı girintinin en büyük çapraz uzunluğudur (mm).

Şekil 3.23'te Knoop indentörü ve onun oluşturduğu girintinin şematik görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.23. a) Knoop mikrosertlik yönteminde kullanılan eşkenar piramit şeklindeki bir elmas uç ve b) oluşan mikro izin geometrisi (TS EN 14205)

Bu şekilde;

1, çalışma konumu

L, girintinin uzunluğu

W, girintinin genişliği

d, girintinin derinliğidir.

3.2.4.9. Renk tayini

Renk konusunda iki ayrı yaklaşım vardır. Bunlar; renklerin değişik sistemlere göre sınıflandırılmaları, sıralanmaları ve bunlar arasında daha çok sezgiye

dayanan bir takım uyum kurallarını içeren eski yaklaşım ve rengin insan gözüne ve ışığın varlığına bağlı olduğu düşünülen bilimsel yaklaşımdır (Sirel, 1974). Renk parametre ölçümleri için piyasada birçok cihaz kullanılmakla birlikte bu çalışmada Hunterlab renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazı ile 15 cm x 6 cm x 5 cm numuneler üzerinde çalışılmış ve her numune için sağ, sol ve orta bölge olmak üzere üç farklı noktadan okumalar yapılmıştır. Renk ölçüm cihazı ve kullanılan numuneler Şekil 3.24a ve 3.24b’de görülmektedir. Elde edilen L^* , a^* ve b^* değerlerinin ortalamaları alınarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3.24. Hunterlab renk ölçüm cihazına ait görüntüler (a-b)

Renk farklılığı (ΔE) değeri renk ölçümünde renk kalitesinin nicel olarak değerlendirilmesi için kullanılan tek yöntemdir. Bu nedenle renk farklılığı değerlerinin yorumlanması için bazı limit değerleri vardır. Bu limit değerleri için herhangi bir uluslararası standart yoktur. Bu değerleri belirlemede etken, üreticinin kalite politikası ve müşteri ile üreticiler arasındaki ikili anlaşmalardır (Öner ve Acar, 2006). Kısaca ΔE^* , iki renk arasındaki farkın ölçümüdür. CIEL*a*b* renk düzleminde bulunan iki rengin (düzlemdeki iki noktanın) koordinatları arasındaki uzaklıktır. ΔE ne kadar büyükse karşılaştırılan renklerin arasındaki fark da o kadar fazladır. CIEL*a*b* sistemine göre, iki renk arasındaki renk farkı veya uzaklık Eşitlik 3.16’den hesaplanmaktadır (Özcan, 2008).

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.16)$$

Burada;

ΔE , Toplam renk farkı

ΔL^* , L^* numune- L^* referans

Δa^* , a^* numune- a^* referans

Δb^* , b^* numune- b^* referans

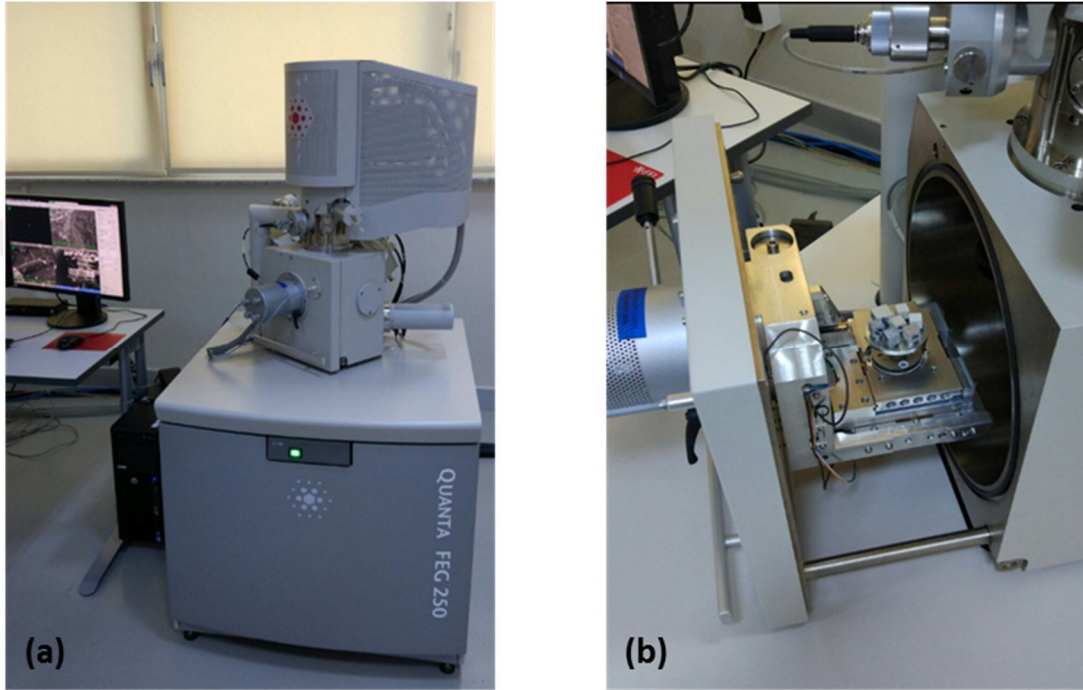
Burada Δ , farklılığı göstermektedir ve E harfi, Almanca hissetme anlamına gelen Empfindung kelimesinden gelmektedir. Renk düzleminin farklı bölgelerinin karşılaştırılmasında ve renk farklılıklarının ölçülmesinde, XYZ düzleminin uniform bir yapıya sahip olmamasından dolayı yukarıdaki denklemin kullanımı, farklı renkler için yeterli olamamaktadır. Renk farklılıklarının sayısal olarak ifade edilmesi problemi üzerinde uzun yıllar çalışılmış ve XYZ değerlerinin, daha uniform özellikteki bir renk düzleminde tanımlanan L, a ve b değerlerine matematiksel dönüşümünü içeren çeşitli denklemler türetilmiştir. Renk ölçüm parametre değerleri kullanılarak elde edilen renk farklılıklarının ΔL^* , Δa^* ve Δb^* şeklinde üç bileşene ayrılmasına rağmen, ΔL^* değeri daha önemli bir yer tutmakta olup bu değer pozitif olması numunenin referans numuneden daha açık olduğunu, negatif olması ise daha koyu olduğunu göstermektedir (Yeşil, 2010).

3.2.4.10. SEM görüntü analizi

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüsü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması, taratma sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması, bu bilgilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilmektedir.

SEM çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibi ile çalışmaktadır. En sık kullanıldığı biçimiyle, yüzeyden yayılan ikincil elektronlarla yapılan ölçüm, özellikle yüzeyin engebeli topografik

yapısıyla ilgili bir görüntü oluşturmaktadır. SEM yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektromanyetik lenslerle inceltiren elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme imkanı sunmaktadır. Kullanılan numuneler $\sim 1,5 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$ küp şeklindedir. Şekil 3.25'te tez çalışmasında kullanılan Quanta FEG 250 marka/modelli SEM cihazı ve görüntüsü alınan numuneler görülmektedir.



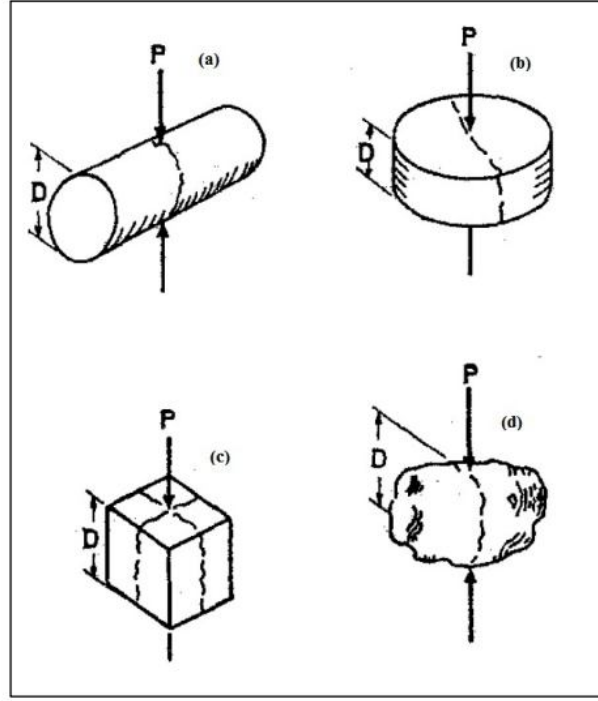
Şekil 3.25. (a) Quanta FEG 250 SEM cihazı, (b) Görüntü analizi yapılan numuneler

3.2.4.11. Nokta yük tayini

Bu deney, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılması amacıyla yapılmaktadır. Ayrıca tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılmaktadır. Deney sonucu olarak; nokta yük dayanımı ve dayanım anizotropi indeksi de hesaplanmaktadır (Ulusay vd., 2001).

Nokta yük dayanımı deneyi 4 farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Düzgün karot numuneleri üzerine hem çapsal hem de eksenel olarak

uygulanabilmektedir. Ayrıca bu deney, düzgün kesilip hazırlanmış blok numuneler üzerinde ve düzgün şekillere sahip olmayan numunelere üzerine uygulanabilmektedir. Deneyin uygulanış biçimi Şekil 3.26’da verilmiştir.



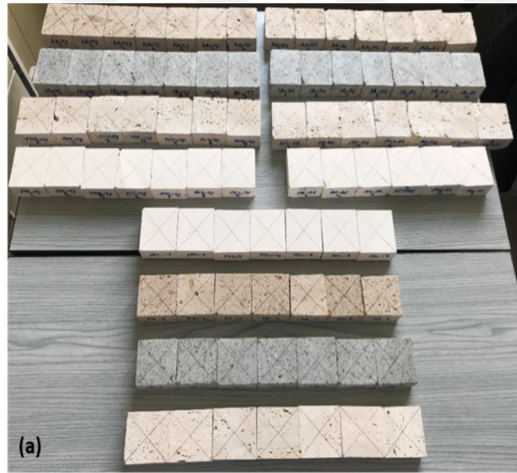
Şekil 3.26. Deneyin uygulanış biçimleri (a) çapsal yükleme (b) eksenel yükleme (c) blok numune üzerine yükleme (d) biçimsiz şeklindeki numuneler üzerine yükleme.

Nokta yük dayanım indeksi deneyi ($Is_{(50)}$) ISRM (1985)'de belirtilen standartlara uygun olarak yapılmıştır. Deneyler Baz Makine tarafından yapılan nokta yük indeksi deney aleti (Şekil 3.24) kullanılarak, $L \geq 0,5 D$ ve $0,3 W < D < W$ boyut limitlerini (L: Boy, D: Kalınlık, W: Genişlik) sağlayan prizmatik numuneler üzerinde uygulanmıştır. Şekil 3.27a'da nokta yük indeksi deney aleti ve Şekil 3.27b'de ise nokta yük indeksi deneyine ait uygulamaya ait görüntüler verilmiştir. Nokta yük dayanım indeksi deneyinde $\sim 6 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$ prizmatik numuneler kullanılmıştır.



Şekil 3.27. a) Nokta yük dayanım indeksi tayini deney aleti ve b) Nokta yük dayanım indeksi tayini deney uygulaması

Nokta yük deneyinde kullanılan numunelerin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki görüntüleri Şekil 3.28’de verilmektedir.



Şekil 3.28. Nokta yük deneyine tabi tutulmuş numunelere ait görüntüler a) Kırılmadan önce b) Kırıldıktan sonra

Deney tamamlandıktan sonra öncelikle düzeltilmemiş nokta yük dayanımı Eşitlik 3.17 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (3.17)$$

Burada,
Is, düzeltilmemiş nokta yük dayanımı (MPa),
P, yenilme yükü (N),
De ise eşdeğer karot çapıdır (mm).

Eşdeğer karot çapı çapsal numuneler için Eşitlik 3.18'den hesaplanmaktadır.

$$De^2 = D^2 \quad (3.18)$$

Burada,
De, eşdeğer karot çapı (mm)
D ise karot çapıdır (mm).

Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde ise Eşitlik 3.19 kullanılmaktadır.

$$De^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (3.19)$$

Burada,
De, eşdeğer karot çapı (mm),
A, konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanıdır (WxD).

Nokta yük dayanımı kayacın boyutuna bağlı olarak değiştiğinden 50 mm'lik çapa göre düzeltilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı hesaplanan düzeltilmemiş nokta yük dayanımına düzeltme uygulanmaktadır. Bu düzeltme Eşitlik 3.20 ve 3.21'den yararlanarak yapılmaktadır.

$$F = (De/50)^{0,45} \quad (3.20)$$

$$Is(50) = F \times Is \quad (3.21)$$

Burada,
Is(50), düzeltilmiş nokta yük dayanımı indeksi (MPa),
F, düzeltme faktörü,
Is, düzeltilmemiş nokta yük dayanımı indeksi (MPa),
De, eşdeğer çaptır (mm).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında görsel açıdan albenisi olduğu için binalarda kaplama taşı olarak sıklıkla tercih edilen bazı doğal taşların, kullanıldıkları süre boyunca etkisinde kaldıkları atmosferik şartlardan nasıl etkilendikleri araştırılmıştır. Bu amaçla 4 farklı doğal taş numunesi üzerinde donma-çözülme ve termal şok deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numunelerde meydana gelen bazı termal, fiziksel ve mekanik özellikler irdelenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleşen tüm deney ve analizlerde Traverten, Limra, Traki Andezit ve İğnimbirit olmak üzere 4 çeşit kayaç türüne ait numuneler kullanılmıştır. Kullanılan numunelerin tamamı deneylere başlanmadan önce tüm deney ve analizlerin standartlarına uygun olan boyutlarda hazırlanmış ve gruplara ayrılmıştır. Her numune için öncelikle SDÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mek. ve Doğal Taşlar Tekn. Laboratuvarında birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, toplam gözeneklilik, sismik hız ve nokta yük dayanımı gibi fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. SDÜ Enerji Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından Traverten, Limra, Traki Andezit ve İğnimbiritin taramalı elektron mikroskobu ile SEM görüntüleri çekilmiştir. Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği DAL'da Knoop sertliği, renk analizleri ve uygun bağıl nem ortamında numune boyutlarına göre özel yaptırılmış olan deney aparatıyla yine bütün örneklerin su buharı aktarım özellikleri tayin edilmiştir. İzmir Yüksek teknoloji Enstitüsü (İYTE) Malzeme Araştırma Merkezi (MAM)' nde sırasıyla aynı örnek üzerinde yüzey alanı ve gözeneklilik parametreleri (BET) ve yine İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Jeotermal Araştırma ve Uygulama Merkezi (JEOMER)' nde KEM QTM-500 ve DSC cihazları ile Termofiziksel özelliklere (Isı iletkenlik katsayısı ve özgül ısı kapasitesi) ait değerler belirlenmiştir. Bütün numunelerin donma-çözülme ve termal şok çevrimlerine girmeden önceki elde edilmiş olan bu deneylere ait başlangıç verileri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Orjinal numunelere ait başlangıç verileri

Deney Adı	Traverten	Limra	Traki Andezit	İğnimbirit
BHA (gr/cm ³)	2,350±0,043	2,355±0,030	2,279±0,020	1,512±0,010
ASE (%)	2,188±0,46	3,208±0,51	3,240±0,27	20,091±0,78
HSE (%)	5,124±0,165	7,944±0,180	8,383±0,450	30,154±1,250
P _T (%)	14,61	13,50	13,77	37,43
V _p (m/s)	5302±125	4681±118	4471±136	2387±148
ρ _r (g/cm ³)	2,72±0,02	2,72±0,01	2,60±0,01	2,41±0,02
I _{s(50)} (MPa)	3,65±0,65	3,92±0,42	7,22±0,47	1,11±0,15
Knoop (HK)	89	91	195	143
L*	85,61±1,28	90,15±0,12	69,81±0,33	73,00±1,43
a*	1,15±0,24	0,48±0,02	-1,06±0,06	3,17±1,01
b*	9,21±0,29	8,09±0,04	2,15±0,60	11,05±0,30
A _{BET} (m ² /g)	0,81	0,75	1,81	7,01
C _p (J/gK)	1,485	1,377	1,614	1,493
k (W/m.K)	2,22±0,12	2,23±0,14	1,27±0,10	0,90±0,007
R (m ² K/W)	0,024±0,002	0,023±0,001	0,040±0,001	0,056±0,002
WVT (g/m ² 24s)	56,64±15,80	54,72±13,56	78,72±20,45	99,84±21,68
WVT (g/m ² s)	2360±658	2280±566	3280±852	4160±903

Not: BHA, Birim Hacim Ağırlık; ASE, Ağırlıkça Su Emme; HSE, Hacimce Su Emme; P_T, Toplam Gözeneklilik; ρ_r, Gerçek yoğunluk; V_p, Ultra sonik hız; I_{s(50)}, Nokta Yük Dayanım İndeksi; HK, Knoop Sertlik İndeksi; L*a*b*, Renk Değerleri; A_{BET}, BET Yüzey Alanı; C_p, Özgül Isı Kapasitesi; k, Isı İletim Katsayısı; R, Isıl Direnç Değeri; WVT, SU Buharı Geçirimsizliği hızı'dır.

Her 25 çevrimlik donma-çözülme ve termal şok döngüsünün ardından, sismik hız, birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, gözeneklilik, nokta yük dayanımı, porozimetrik ve termal analizlerden elde edilen değerler belirlenmiş ve donma-çözülme ve termal şok çevrimlerine girmeden önceki başlangıç

değerlerine göre değişimleri kıyaslanmıştır. Bu deneyler tüm numuneler üzerinde rutin olarak toplamda beş periyod (125 çevrim) tamamlanana kadar tekrar edilmiş ve ölçümlerdeki değişimler belirlenmiştir. Son çevrimden sonra ise sırasıyla sismik hız, birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, gözeneklilik, nokta yük dayanımı, Knoop sertliği, renk analizi, su buharı aktarım özellikleri, porozimetrik (BET) ve termal analiz (ısı iletkenlik katsayısı, ısı direnç ve özgül ısı kapasitesi) değerleri tayin edilmiştir. Ayrıca tüm numunelere ait 125 çevrim donma-çözülme ve termal şok sonrası SEM görüntüleri çekilmiştir. Bu şekilde bir yol izlenerek bir örnek üzerinde yapılması planlanan deney ve analizler tamamlanmıştır. Tez çalışması süresince 0, 25, 50, 75, 100 ve 125inci çevrimlerde yapılmış olan deney ve analizlerden elde edilen veriler Çizelge 4.2-4.16' da özetlenmiştir.

4.1. Birim Hacim Ağırlık Deney Bulguları

Çizelge 4.2 ve 4.3'te görüldüğü gibi birim hacim ağırlığı en yüksek olan kayacın, Limra ve Traverten, yine birim hacim ağırlık deneylerinde en düşük değerlere sahip olan kayacın ise, yapısındaki boşluk oranının fazlalığından dolayı İğnimbirit olduğu söylenebilmektedir. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi çevrimlerinden en çok etkilenen kayaç, donma-çözülme için %3 ve termal şok için ise %2'lük bir düşüşle Traki Andezittir. Birim hacim ağırlık değerlerinde çok anlamlı bir şekilde azalma görülmesi de, yüzdesel olarak azalma oranlarına bakıldığında donma-çözülme süreci için Travertende %0,55, Limrada %0,17, İğnimbiritte %0,72; termal şok süreci için ise Travertende %0,12, Limrada %0,10 ve İğnimbiritte %0,53'lük bir azalma söz konusudur. Bu sonuçlar, tüm malzemelerde meydana gelen ısısal değişimlerden en çok Traki Andezitin etkilendiğini, malzemelerin içyapısında bulunan boşluk miktarında en fazla artışın Traki Andezitte meydana geldiğini göstermektedir. Buna göre bütün numunelerin birim hacim ağırlık değişimine en çok etki eden sürecin donma-çözülme olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Donma-çözülme deneylerinin birim hacim ağırlığa etkisi

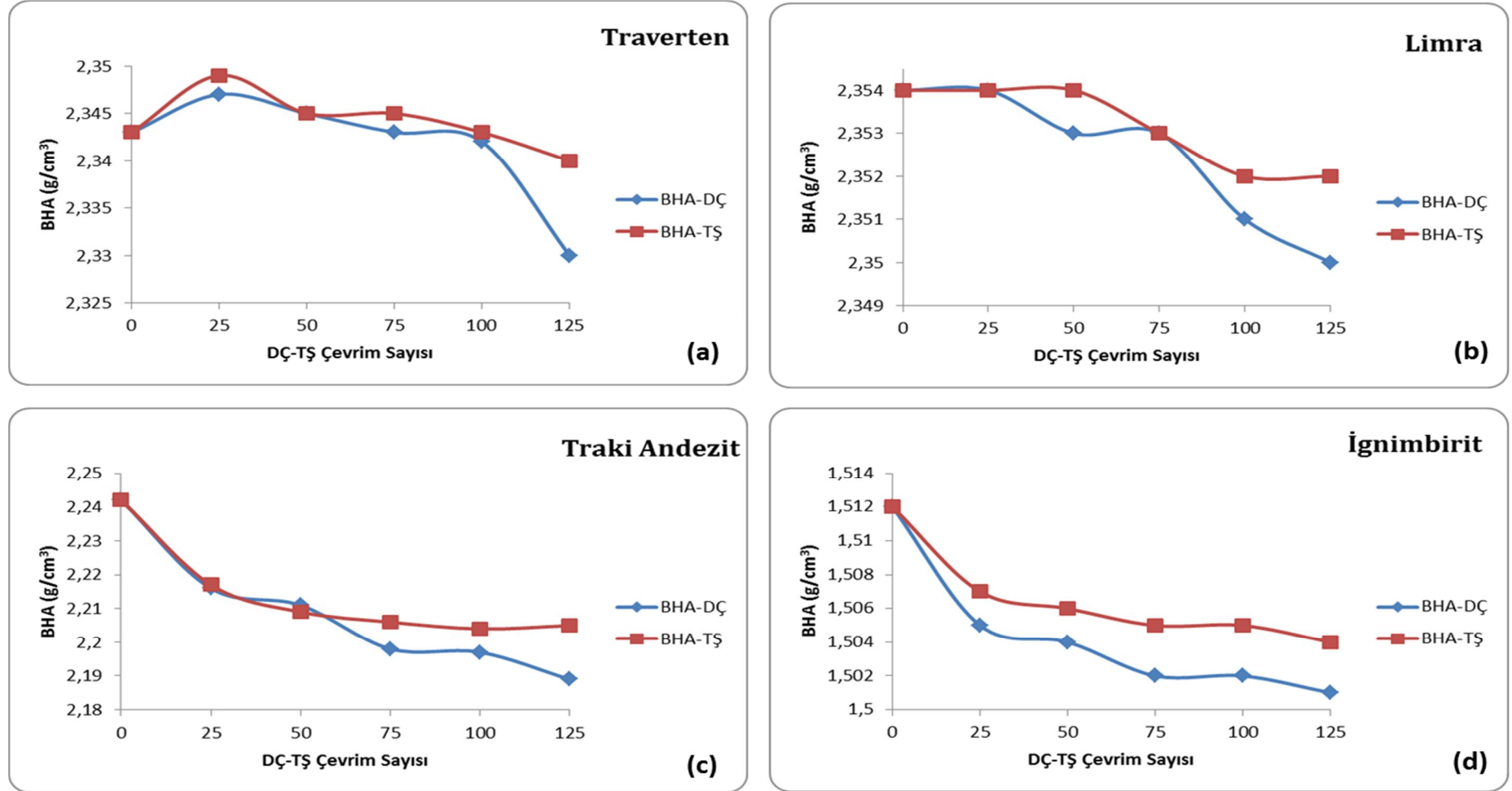
Numune Adı	Donma-Çözülme Deneyleri Öncesi BHA (g/cm ³)	Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası BHA (g/cm ³)				
		25.Çevrim	50.Çevrim	75.Çevrim	100.Çevrim	125.Çevrim
Traverten	2,343±0,038	2,347±0,036	2,345±0,020	2,343±0,001	2,342±0,004	2,330±0,004
Limra	2,354±0,014	2,354±0,020	2,353±0,010	2,353±0,001	2,351±0,004	2,350±0,003
Traki Andezit	2,242±0,150	2,216±0,081	2,211±0,049	2,198±0,027	2,197±0,029	2,189±0,028
İgnimbirit	1,512±0,015	1,505±0,038	1,504±0,018	1,502±0,019	1,502±0,019	1,501±0,018

Çizelge 4.3. Termal şok deneylerinin birim hacim ağırlığa etkisi

Numune Adı	Termal Şok Deneyleri Öncesi BHA (g/cm ³)	Termal Şok Deneyleri Sonrası BHA (g/cm ³)				
		25.Çevrim	50.Çevrim	75.Çevrim	100.Çevrim	125.Çevrim
Traverten	2,343±0,038	2,349±0,017	2,345±0,016	2,345±0,015	2,343±0,017	2,340±0,016
Limra	2,354±0,014	2,354±0,006	2,354±0,004	2,353±0,005	2,352±0,004	2,352±0,004
Traki Andezit	2,242±0,150	2,217±0,083	2,209±0,041	2,206±0,040	2,204±0,044	2,205±0,042
İgnimbirit	1,512±0,015	1,507±0,036	1,506±0,019	1,505±0,020	1,505±0,020	1,504±0,018

Tez çalışmasında kullanılan numunelerin birim hacim ağırlıklarının (BHA) donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden nasıl etkilendikleri ve birbiriyle kıyaslamaları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Çevrim sayısı arttıkça, BHA azalmaktadır. Malzemelerin bozunmaya başladıkları çevrimler Traki Andezit ve İgnimbirit için ilk 25 çevrim, Limra ve Traverten için ise 75. ve 100. çevrimdir. Donma-çözülme sürecinin malzeme içinde daha çok tahribata sebep olduğu ve buna bağlı olarak da daha fazla mikro çatlak oluşumu gerçekleştiği düşünülmektedir.





Şekil 4.1. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin birim hacim ağırlığa (BHA) etkisi

4.2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deney Bulguları

Çizelge 4.4 ve 4.5'te görüldüğü gibi su emme değeri en yüksek olan kayaç, fazlaca gözenekli bir yapıya sahip olduğu için İğnimbirit, en düşük su emme değerlerine sahip olan kayaç ise Travertendir. Buradan Traverten, Limra, Traki Andezit ve İğnimbirit arasından en az gözeneğe sahip olan kayaç türünün Traverten olduğu söylenebilmektedir. Başlangıç ve döngüler sonrası verilerin değişim oranları incelendiğinde ise, 125 çevrimlik donma-çözülme periyodlarından en fazla etkilenen ve ağırlıkça su emme değerlerinin yaklaşık olarak %87 oranında en fazla arttığı kayaç türünün Traki Andezit kayacı olduğu, bu oranın Travertende %25, Limrada %34 ve İğnimbiritte %14 olduğu belirlenmiştir. Termal şok süreci için ayrı değerlendirme yapılmış ve yüzdesel değişimleri Traki Andezite %75, Travertende 22, Limrada %32 ve İğnimbiritte ise %9 olarak elde edilmiştir. Hacimce su emme değerlerindeki yüzdesel değişimler incelendiğinde ise, en çok etkilenen kayaç çeşitinin Andezit, en çok ekileyen sürecin ise %20 oranında donma-çözülme olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilerin ısısal çevrimler sonucunda kayaçların bünyesinde var olan boşluk oranının artmasının doğal bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Başlangıç değerlerine bakıldığında her ne kadar İğnimbirit numunesi en yüksek gözeneğe ve su emme değerlerine sahip olsa da, değişimlerden en az (~%12) bu kayaç türü etkilenmiştir. Zaten çok gözenekli bir kayaç türü olan İğnimbirit başlangıçta gözeneklerine emeceği kadar suyu emmektedir. Daha sonraki süreçte ısısal döngüler sonucunda, yapısındaki ince duvarlar etrafında meydana gelen kılcal çatlakların, İğnimbiritin yapısını çok fazla etkilemediği düşünülmektedir.

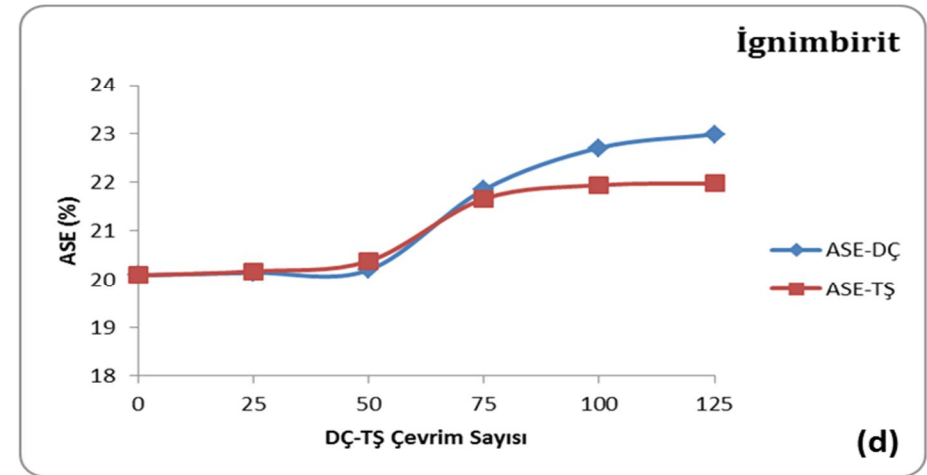
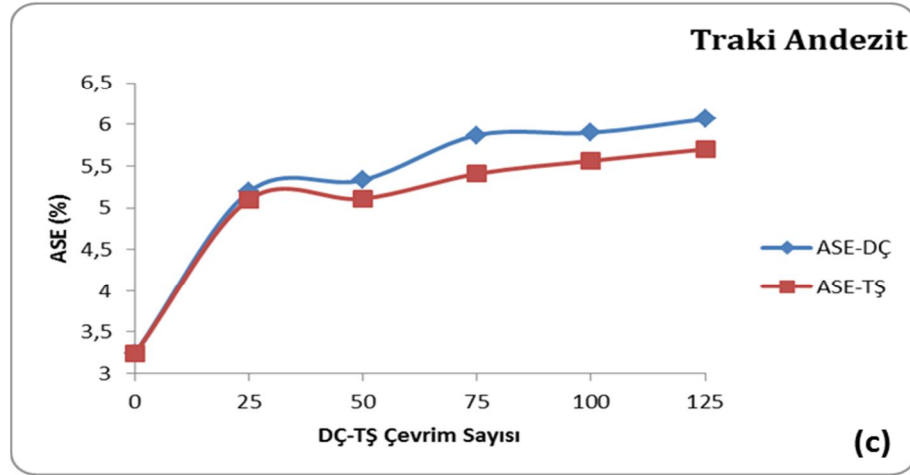
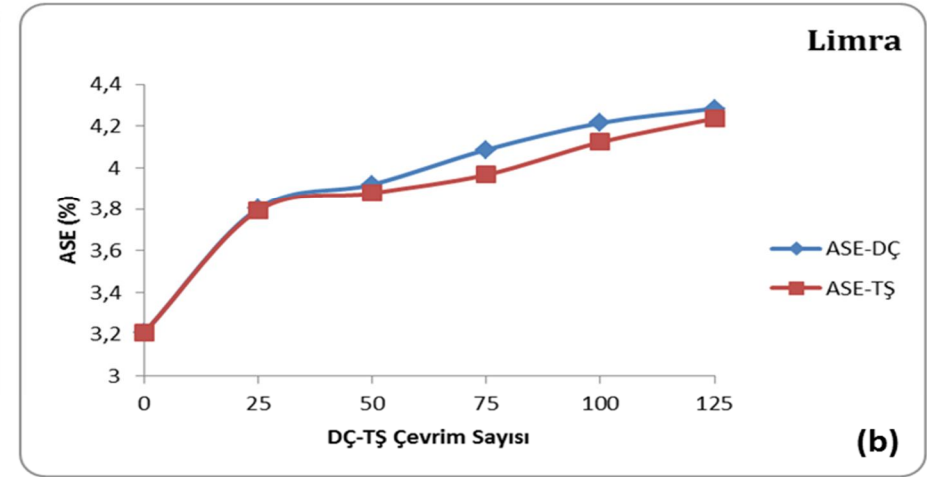
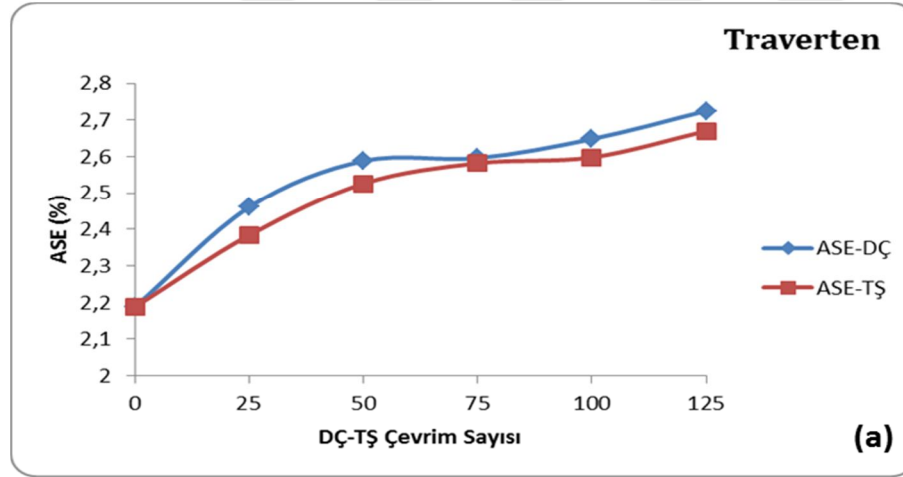
Çizelge 4.4. Donma-çözülme deneylerinin ağırlıkça ve hacimce su emmeye etkisi

Numune Adı	Donma-Çözülme Deneyleri Öncesi		Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası									
	ASE(%)	HSE(%)	25. Çevrim		50. Çevrim		75. Çevrim		100. Çevrim		125. Çevrim	
			ASE(%)	HSE(%)	ASE(%)	HSE(%)	ASE(%)	HSE(%)	ASE(%)	HSE(%)	ASE(%)	HSE(%)
Traverten	2,188±0,46	6,041±0,65	2,461±0,34	6,044±0,57	2,588±0,34	6,064±0,77	2,596±0,31	6,128±0,70	2,648±0,29	6,266±0,65	2,725±0,30	6,434±0,19
Limra	3,208±0,51	8,794±0,32	3,802±0,26	8,874±0,55	3,920±0,27	9,266±0,57	4,087±0,29	9,658±0,64	4,215±0,33	9,969±0,72	4,284±0,32	10,120±0,23
Traki Andezit	3,240±0,27	12,438±0,11	5,191±1,03	12,360±0,70	5,332±1,03	12,746±0,67	5,869±0,98	12,958±1,97	5,898±1,25	13,020±2,55	6,064±1,12	13,471±1,57
İgnimbirit	20,091±0,78	29,045±0,99	20,144±1,03	30,154±0,72	20,201±0,81	30,367±0,97	21,846±0,86	32,809±1,00	22,703±1,21	34,088±1,42	22,983±0,99	34,485±1,37

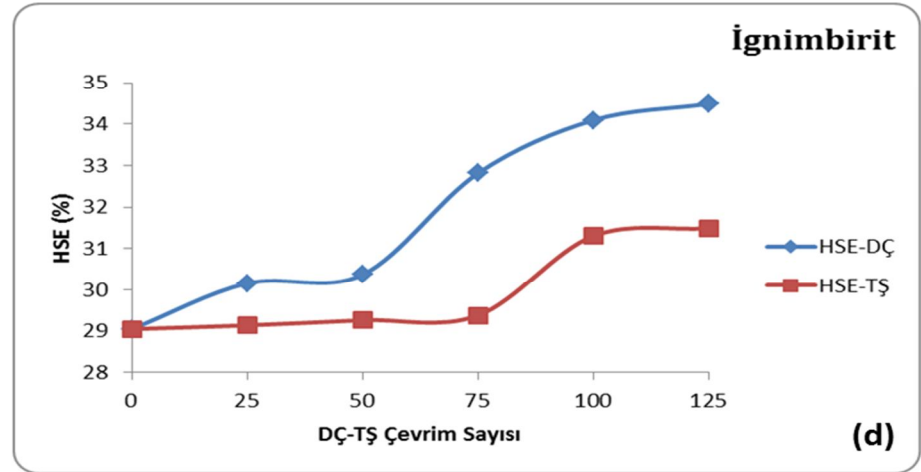
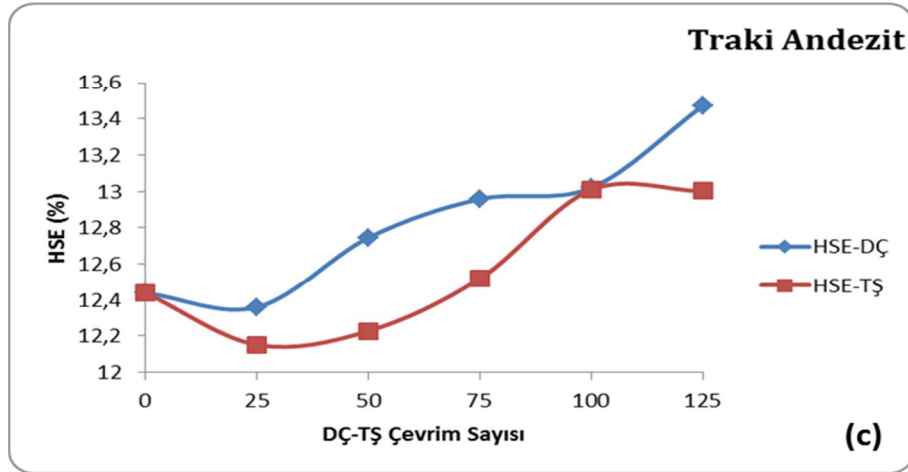
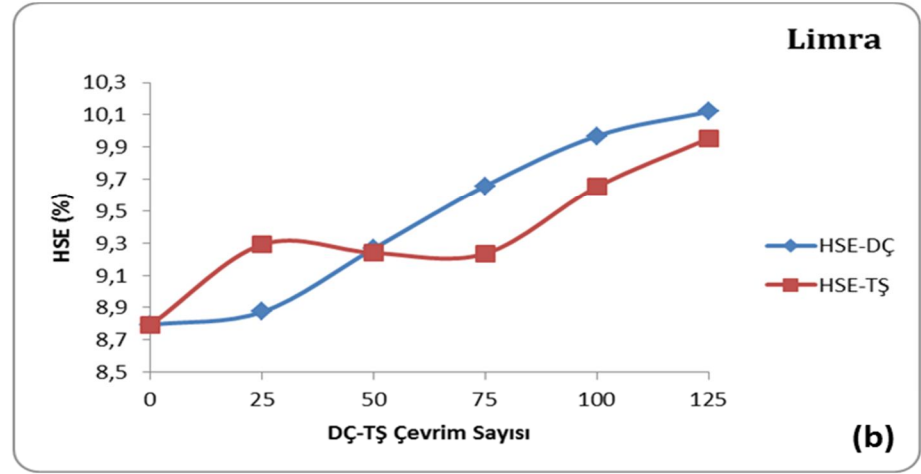
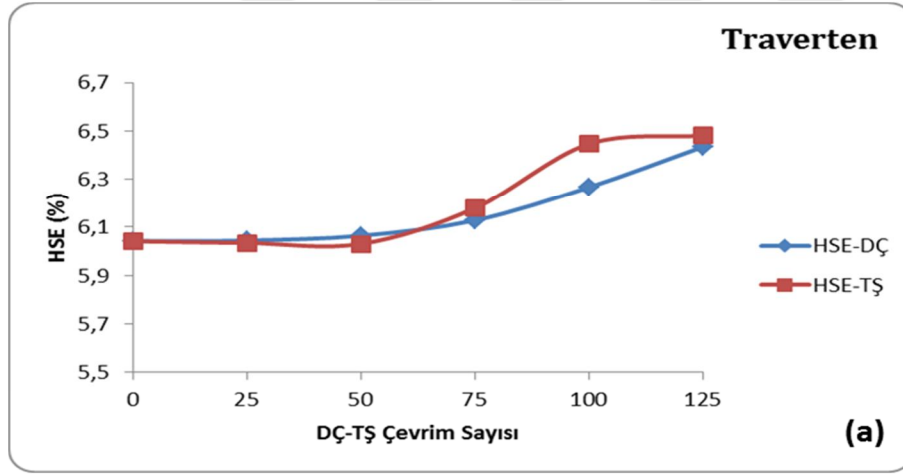
Çizelge 4.5. Termal şok deneylerinin ağırlıkça ve hacimce su emmeye etkisi

Numune Adı	Termal Şok Deneyleri Öncesi		Termal Şok Deneyleri Sonrası									
	ASE(%)	HSE(%)	25. Çevrim		50. Çevrim		75. Çevrim		100. Çevrim		125. Çevrim	
			ASE(%)	HSE(%)	ASE(%)	HSE(%)	ASE(%)	HSE(%)	ASE(%)	HSE(%)	ASE(%)	HSE(%)
Traverten	2,18±0,46	6,041±0,65	2,38±0,28	6,034±0,21	2,53±0,10	6,025±0,13	2,58±0,43	6,18±0,88	2,59±0,17	6,446±0,45	2,67±0,33	6,481±0,48
Limra	3,21±0,51	8,794±0,32	3,79±0,05	9,291±0,13	3,88±0,05	9,239±0,12	3,91±0,03	9,235±0,03	4,12±0,04	9,652±0,13	4,24±0,05	9,953±0,04
Traki Andezit	3,24±0,27	12,438±0,11	5,09±0,76	12,152±0,47	5,11±0,85	12,228±0,47	5,41±0,53	12,519±0,53	5,56±0,96	13,009±0,94	5,70±0,85	13,001±0,94
İğnimbirit	20,09±0,78	29,045±0,99	20,17±1,02	29,135±1,08	20,38±0,98	29,258±1,13	21,66±1,05	29,374±1,21	21,94±1,13	31,300±1,31	21,97±1,15	31,488±1,43

Çalışmada kullanılan numunelerin ağırlıkça (ASE) ve hacimce su emme(HSE) değerlerinin donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden ne derece etkilendikleri Şekil 4.3 ve 4.4'te gösterilmektedir. Buna göre su emme değerleri bakımından, İgnimbirit hariç bütün numuneler donma-çözülme ve termal şok döngülerinden en çok ilk 25 çevrimde etkilenmişlerdir, yani en hızlı bozunma ilk 25 çevrimde meydana gelmiştir. Buna göre bütün numunelerin ağırlıkça (ASE) ve hacimce su emme(HSE) değerlerini en çok etkileyen sürecin donma-çözülme olduğu belirlenmiştir. Donma-çözülme döngülerinde kayacın gözeneklerine suyun dolması ve daha sonra dolan suların donarak boşluk duvarlarına basınç uygulaması sonucu oluşan yeni bağlantılı ya da bağlantılı olmayan mikro çatlaklar, termal şok döngülerine nazaran porozimetrik parametrelerin değişimlerinde daha fazla artışlara sebep olmaktadır. Su emme deneylerinde her ne kadar görünür porozite daha fazla etkili olsa da, artan çevrim sayılarından kaynaklı bozunmaların etkisiyle, kapalı gözenek duvarları zamanla yıpranarak bağlantılı boşluk şeklini almaktadır. Bundan dolayı donma-çözülme ve termal şok sürecinin kayaçların su emme değerleri üzerindeki etkileri incelenirken, toplam gözenekliliğin önemi göz ardı edilmemelidir. Fiziksel bozundurma koşulları altında artan toplam gözeneklilik oranına paralel olarak, su emme değerleri de artmıştır. Elde edilen sonuçların Yavuz (2011)'de yaptığı çalışmayla paralel olduğu ve donma-çözülme sürecinin malzeme üzerinde termal şoktan daha yıkıcı etkilere sahip olduğu ve buna bağlı olarak da oluşan yeni mikro çatlak sayısının daha fazla olduğu düşünülmektedir. Yine Şekil 4.2 ve 4.3'den bu süreçten en çok etkilenen kayaç türünün Traki Andezit olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin ağırlıkça su emmeye (ASE) etkisi



Şekil 4.3. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin hacimce su emmeye (HSE) etkisi

4.3. Nokta Yük Dayanım Deney Bulguları

Isısal evrimler uygulanmış olan numunelerin dayanım özelliklerinin kıyaslanabilmesi amacıyla, başlangıç ve döngüler sonrası olmak üzere nokta yük dayanım indeksi deneyleri yapılmıştır. Donma-zlme ve termal şok çevrimleri sonucunda, bozunmanın doğal bir sonucu gözeneklilik ve boşluk oranının artmasına paralel olarak, nokta yük dayanımlarında önemli azalmalar grlmştr. Yapılan bu deneylerden elde edilen veriler ışığında, çevrimler öncesinde nokta yük dayanım değerinin en düşük olduğu kayaç türünün İğnimbirit, en yüksek olanın ise Traki Andezit olduğu gözlemlenmiştir. Yine nokta yük dayanım indeksi değerindeki değişim bütün numuneler için ayrı ayrı incelenmiş, donma-çözülme ve termal şok için sırasıyla en fazla düşüşün Traki Andezit (%57-55) ve İğnimbirit (%41-40) kayaçlarında meydana geldiği belirlenmiştir (izelge 4.6-4.7). Traki Andezitteki bu düşüşün ısısal çevrimler sonucunda içyapısında meydana gelen mikro çatlak aę yapısının sayısının oldukça fazla artması, İğnimbiritteki düşüşün nedeninin ise zaten oldukça gözenekli bir kayaç olduğundan dolayı ısısal döngülerden etkilenerek gittikçe zayıfladığı dşnlmektedir. Bu tür gözenekliliğin, matris yapısı boyunca yapay süreksizliklerin oluşmasına ve mekanik mukavemet değerlerinin düşmesine neden olabileceği kanısına varılmıştır.

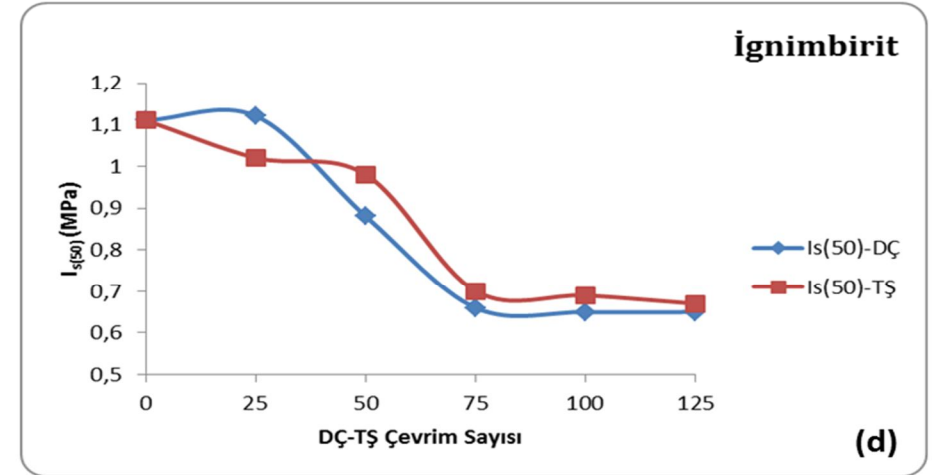
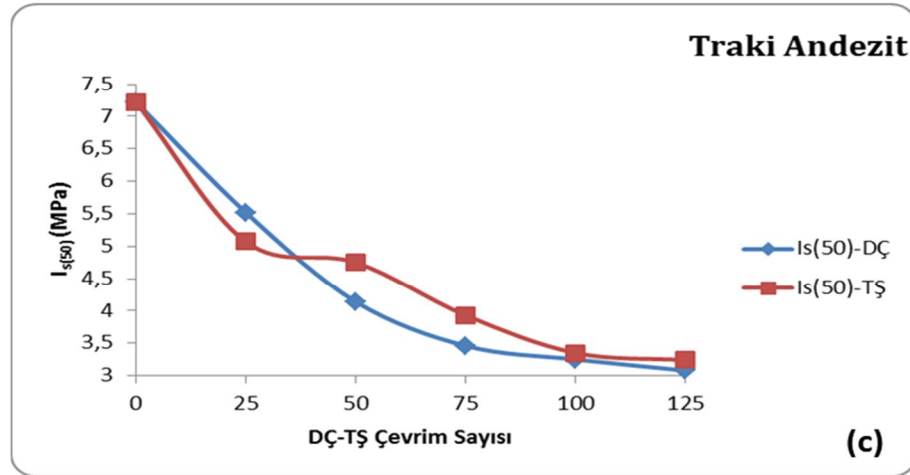
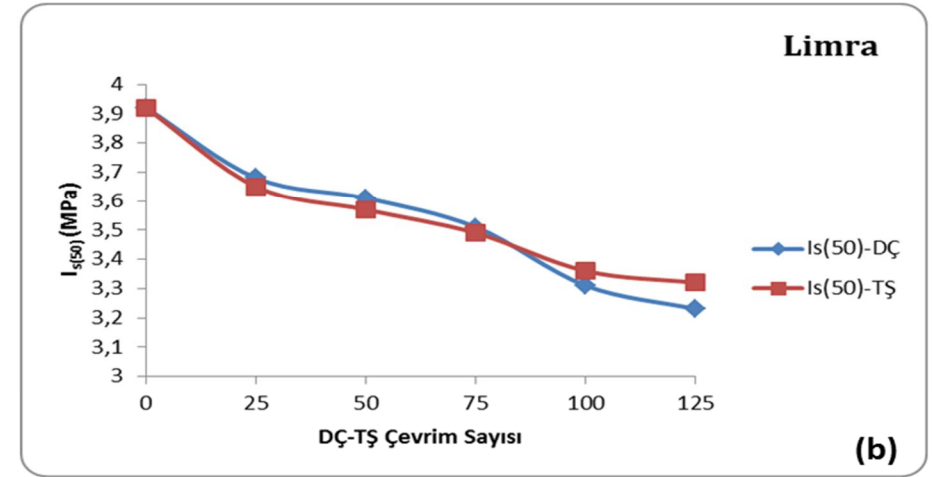
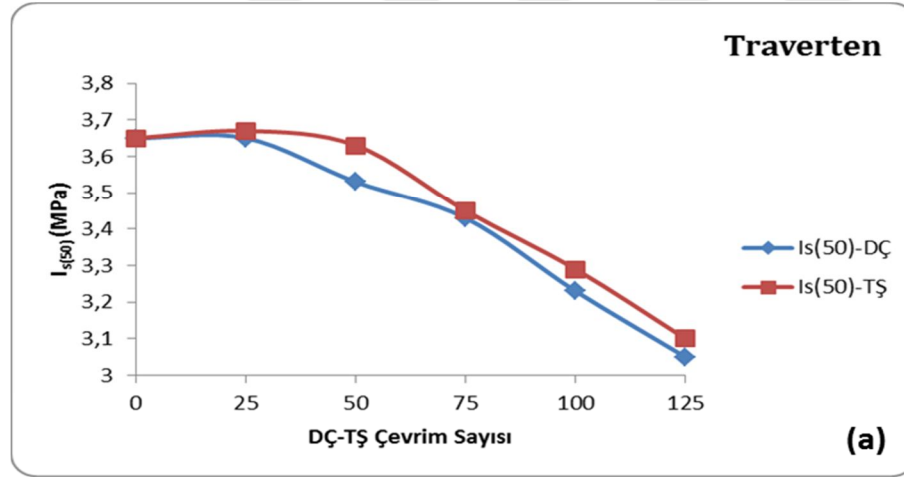
Çizelge 4.6. Donma-çözülme deneylerinin nokta yük dayanım indeksine etkisi

Numune Adı	Donma-Çözülme Öncesi $I_{s(50)}$ (MPa)	Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası $I_{s(50)}$ (MPa)				
		25.Çevrim	50.Çevrim	75.Çevrim	100.Çevrim	125.Çevrim
Traverten	3,65±0,65	3,65±0,39	3,53±0,46	3,43±1,06	3,23±0,61	3,05±0,39
Limra	3,92±0,42	3,68±0,52	3,61±0,27	3,51±0,43	3,31±0,11	3,23±0,74
Traki Andezit	7,22±0,47	5,52±0,35	4,14±1,03	3,46±0,69	3,25±0,56	3,08±0,47
İğnimbirit	1,11±0,15	1,12±0,13	0,88±0,47	0,66±0,08	0,65±0,17	0,65±0,12

Çizelge 4.7. Termal şok deneylerinin nokta yük dayanım indeksine etkisi

Numune Adı	Termal Şok Öncesi $I_{s(50)}$ (MPa)	Termal Şok Deneyleri Sonrası $I_{s(50)}$ (MPa)				
		25.Çevrim	50.Çevrim	75.Çevrim	100.Çevrim	125.Çevrim
Traverten	3,65±0,65	3,67±0,83	3,63±0,43	3,45±0,41	3,29±0,53	3,10±0,52
Limra	3,92±0,42	3,65±0,98	3,57±0,59	3,49±0,28	3,36±0,28	3,32±0,82
Traki Andezit	7,22±0,47	5,07±0,31	4,75±0,19	3,93±0,77	3,35±0,69	3,24±0,39
İğnimbirit	1,11±0,15	1,02±0,14	0,98±0,23	0,70±0,07	0,69±0,19	0,67±0,20

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerlerinin donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden etkilenme dereceleri ve beraber değerlendirilmeleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Buna göre donma-çözülme ve termal şok çevrim sayısının artmasıyla beraber dayanım değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Numunelerin çevrimler sonrası düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi değerinin, başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimi değerlendirildiğinde, artan gözenek oranına bağlı olarak düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi değerinin yüzdesel olarak azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, İnce (2013)'nin yaptığı çalışmalardan elde ettiği verilerle de paralellik göstermektedir. Bu azalma oranının donma-çözülme sürecinde Travertende %16, Limrada %17, Traki Andezitte %57, İgnimbiritte %41; termal şok sürecinde ise, Travertende %15, Limrada %15, Traki Andezitte %55 ve İgnimbiritte %40 olduğu belirlenmiştir. Değişim oranlarına tek tek bakıldığında, aşırı bir fark olmamakla birlikte, 125 çevrim donma-çözülme ve termal şok testi boyunca numunelerin nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerlerini en çok etkileyen sürecin donma-çözülme döngüleri olduğu belirlenmiştir. Bütün numuneler ısısal döngüler başladığı andan itibaren, çevrim sayısı ile orantılı olarak bozunmaya ve zayıflamaya başlamıştır. Buradan donma-çözülme sürecinin, kayacın dokusal özelliklerinde daha fazla değişim meydana getirdiği kanısına varılmıştır.



Şekil 4.4. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerine etkisi

4.4. Ultrasonik Hız Deney Bulguları

P dalga hızı ile kayacın yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir kayaçta, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir kayaçta, P dalga hızının kayacın bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle, kayacın içerisindeki boşluk miktarı arttıkça, P dalga hızı daha az olmaktadır. Çizelge 4.8 ve 4.9’da görüldüğü gibi en yüksek sismik hız değeri, tamamen bünyesindeki boşluk oranıyla ters orantılı olarak Traverten, en düşük sismik hız değeri ise İgnimbirit kayacında elde edilmiştir. Yine elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak, donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden en çok etkilenen kayaç numunesinin sırasıyla, donma-çözülme sürecinde %28 ve termal şok sürecinde %27’lik bir düşüşle Traki Andezit olduğu görülmektedir. Çevrimler sonrası gözeneklilik değerlerinin artmasıyla ters orantılı olarak P dalga hızı azalmaktadır. Elde edilen sonuçlar Chen vd. (2004) yılında yaptıkları çalışmadan elde ettikleri bulguları da desteklemektedir. Buradan ani ısı değişimlerinin yapısını en fazla değiştirdiği kayaç türünün Traki Andezit olduğu belirlenmiştir. Bu çevrimlerin, yeni mikro çatlakların oluşması veya mevcut olanların genişlemesine etki etmesi nedeniyle boşluk yapısındaki artışın P dalga hızında bir düşüşe yol açtığı düşünülmektedir.

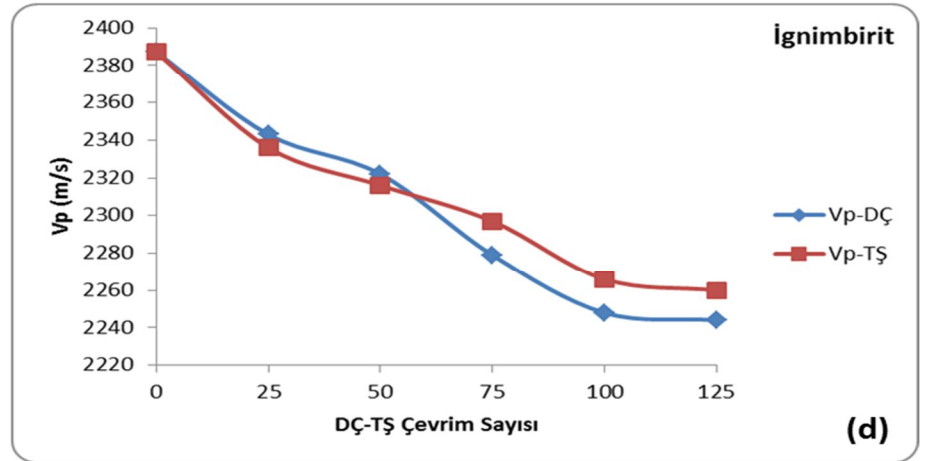
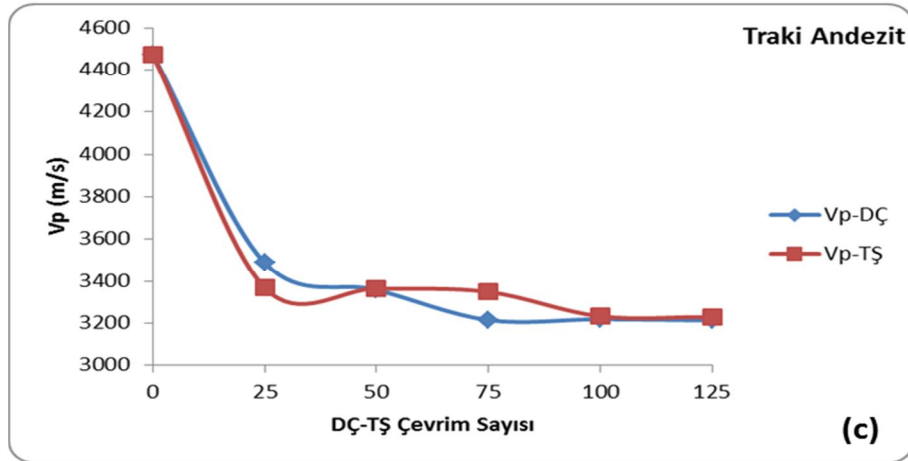
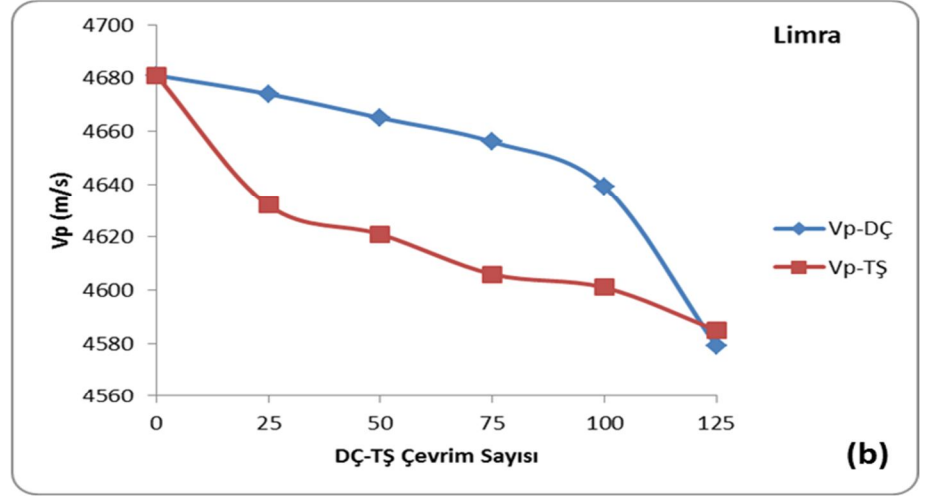
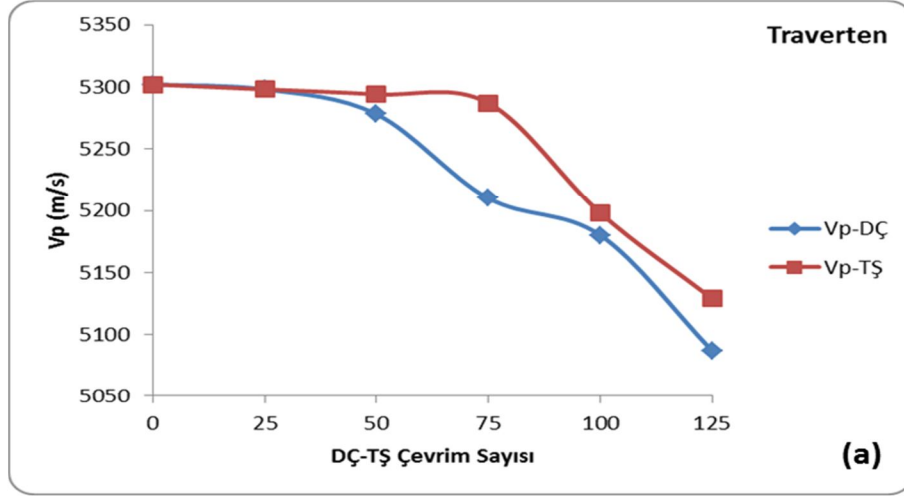
Çizelge 4.8. Donma-çözülme deneylerinin ultrasonik hız değerine etkisi

Numune Adı	Donma-Çözülme Deneyleri Öncesi V_p (m/s)	Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası V_p (m/s)				
		25.Çevrim	50.Çevrim	75.Çevrim	100.Çevrim	125.Çevrim
Traverten	5302±125	5298±68,00	5278±149,60	5210±106,91	5180±190,22	5087±121,83
Limra	4681±118	4674±93,28	4665±73,95	4656±53,30	4639±91,74	4579±105,57
Traki Andezit	4471±136	3488±99,96	3358±109,36	3214±136,57	3218±118,47	3212±141,21
İgnimbirit	2387±148	2343±98,47	2322±113,74	2279±118,61	2248±123,83	2244±108,93

Çizelge 4.9. Termal şok deneylerinin ultrasonik hız değerine etkisi

Numune Adı	Termal Şok Deneyleri Öncesi V_p (m/s)	Termal Şok Deneyleri Sonrası V_p (m/s)				
		25.Çevrim	50.Çevrim	75.Çevrim	100.Çevrim	125.Çevrim
Traverten	5302±125	5298±105,07	5294±84,47	5287±115,11	5198±127,62	5129±82,96
Limra	4681±118	4632±101,63	4621±73,57	4606±106,51	4601±30,81	4585±105,91
Traki Andezit	4471±136	3368±167,51	3364±172,55	3348±145,31	3232±120,74	3229±117,60
İgnimbirit	2387±148	2336±80,62	2316±95,90	2297±74,62	2266±106,38	2260±77,35

Tez çalışması boyunca kullanılan numunelerin ultrasonik hız (V_p) değerlerinin donma-çözülme ve termal şok çevrimleri boyunca nasıl değiştikleri Şekil 4.5’de gösterilmektedir. Buna göre donma-çözülme ve termal şok çevrim sayısının artmasıyla, P dalga hızının düştüğü gözlemlenmiştir. Başlangıç değerleri baz alındığında, donma-çözülme sürecinin termal şoka göre bütün numuneler üzerinde daha etkili olduğu ve yüzdesel olarak değişimin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu yüzdesel değişim donma çözülme sürecinde Travertende %4, Limrada %2, Traki Andezitte %28 ve İğnimbiritte %6, termal şok sürecinde ise sürecinde Travertende %3, Limrada %2, Traki Andezitte 27 ve İğnimbiritte %5 olarak belirlenmiştir. P dalga hızındaki bu düşüşler, ısısal değişimler sonucu oluşan bozunmalardan kaynaklı mikro-yapıdaki değişimlerin, mikro çatlakların oluşumunun veya malzemedeki mevcut mikro çatlakların genişlemesinin doğal bir sonucudur.



Şekil 4.5. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin ultrasonik hız (V_p) değerine etkisi

4.5. Termal Özelliklere Ait Deney Bulguları

Çizelge 4.10 ve 4.11’de verilen termal özellikler incelendiğinde ise; yine malzemelerin gözeneklilik oranının bir fonksiyonu olan ısı iletkenlik katsayısının en düşük İgnimbiritte, en yüksek Travertende elde edildiği görülmektedir. Donma-çözülme ve termal şok çevrim sayısının artmasıyla, ısı iletkenlik katsayısı değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden sonra ısı iletkenlik katsayısında en çok değişim gösteren kayaç türü, donma-çözülme için %42, termal şok için ise %38’lik bir düşüşle İgnimbirittir. Bu yüzdesel değişimin donma-çözülme ve termal şok olmak üzere Travertende %4 ve %3, Limrada %5 ve %4, Traki Andezitte ise %24 ve %19 olduğu görülmektedir. Yine ısı iletkenlik katsayısı ve kalınlığın bir fonksiyonu olan ısı dirençteki değişim incelendiğinde ise, aynı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Isıl dirençteki en fazla artış donma-çözülme sürecinde %75, termal şok sürecinde %60 olmak üzere İgnimbiritte elde edilmiştir. Yüzdesel değişim oranları donma-çözülme ve termal şok çevrimleri olmak üzere sırasıyla, Travertende %4 ve %9, Limrada %4 ve %8, Traki Andezitte ise %30 ve %24 olarak tespit edilmiştir. Bütün numuneler içinde çevrimlerden özgül ısı kapasitesi değeri en fazla etkilenen malzemenin İgnimbirit olduğu belirlenmiştir. Özgül ısı kapasitesi birim hacim ağırlık arttıkça artmakta, gözeneklilik arttıkça ise azalmaktadır. Elde edilen veriler, Uğur ve Demirdağ (2006)’ın yaptıkları çalışma ile de uyumluluk göstermektedir. Bütün numuneler ilk 50 çevrimde ciddi anlamda bozunmaya uğramış ve buna bağlı olarak da yüzdesel anlamda en fazla azalma ilk 50 çevrimde gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.10. Donma-çözülme deneylerinin termal özelliklere etkisi

Numune Adı	Donma-Çözülme Deneyleri Öncesi			25. Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası			50.Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası		
	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$
Traverten	2,22±0,12	0,024±0,002	1,485	2,17±0,24	0,024±0,002	1,399	2,16±0,035	0,024±0,002	1,238
Limra	2,23±0,14	0,023±0,001	1,377	2,20±0,08	0,023±0,001	1,448	2,16±0,091	0,023±0,002	1,040
Traki Andezit	1,27±0,10	0,040±0,001	1,614	1,14±0,09	0,044±0,002	1,439	1,00±0,014	0,050±0,003	1,448
İgnimbirit	0,90±0,07	0,056±0,002	1,493	0,56±0,001	0,091±0,003	1,524	0,54±0,021	0,094±0,002	1,402

Çizelge 4.10. Donma-çözülme deneylerinin termal özelliklere etkisi (Devam)

Numune Adı	75.Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası			100.Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası			125.Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası		
	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$
Traverten	2,14±0,21	0,025±0,003	1,24	2,14±0,11	0,024±0,002	1,22	2,14±0,087	0,025±0,003	1,21
Limra	2,15±0,19	0,024±0,002	1,10	2,14±0,026	0,024±0,002	1,09	2,13±0,022	0,024±0,002	1,08
Traki Andezit	1,02±0,034	0,050±0,003	1,54	0,99±0,049	0,051±0,003	1,44	0,97±0,052	0,052±0,002	1,42
İğnimbirit	0,53±0,002	0,097±0,003	1,40	0,52±0,003	0,098±0,003	1,36	0,52±0,011	0,098±0,003	0,53

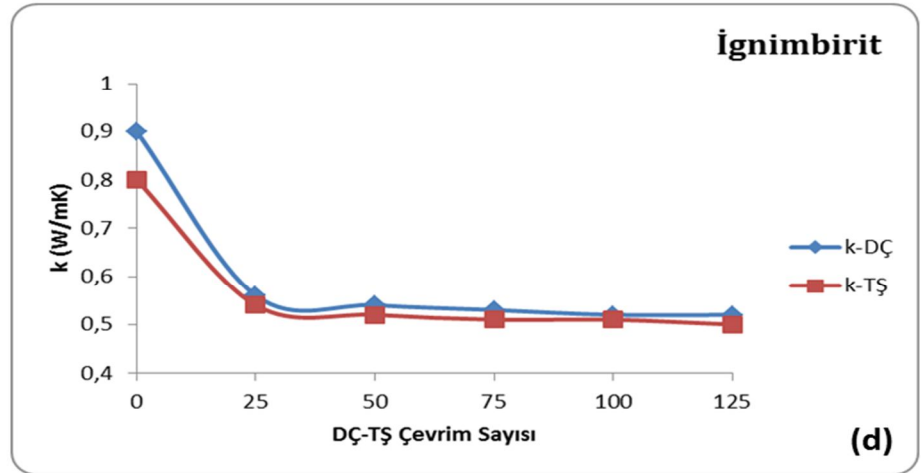
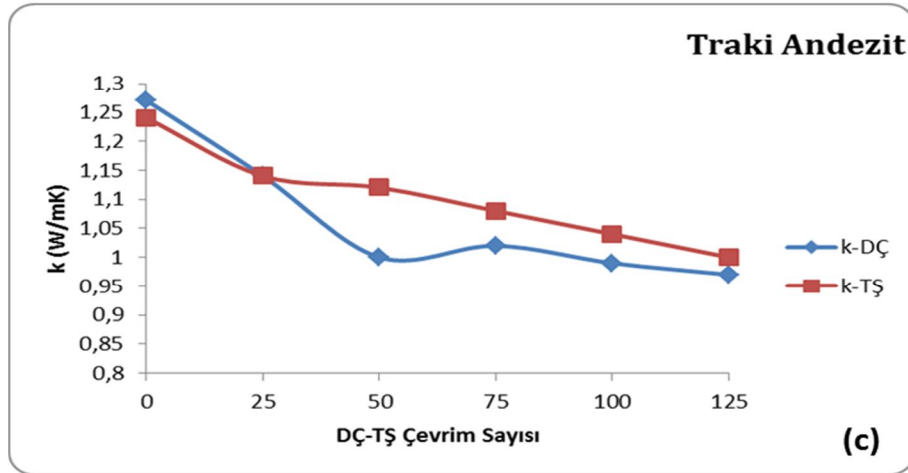
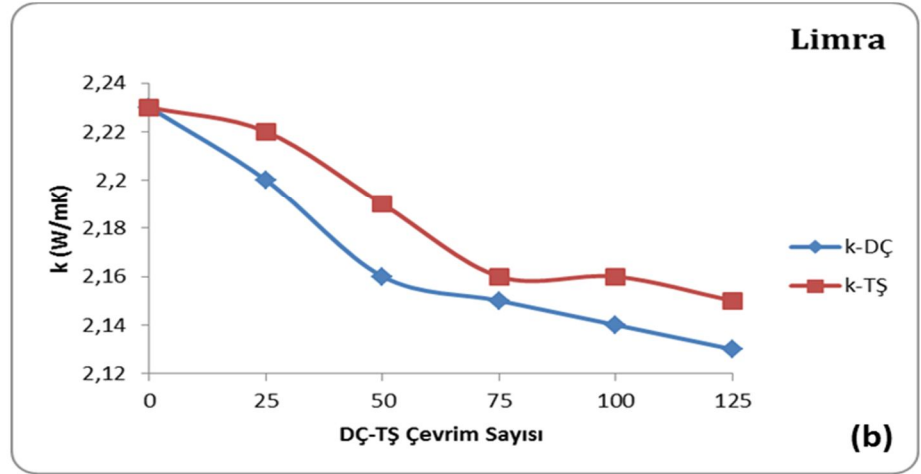
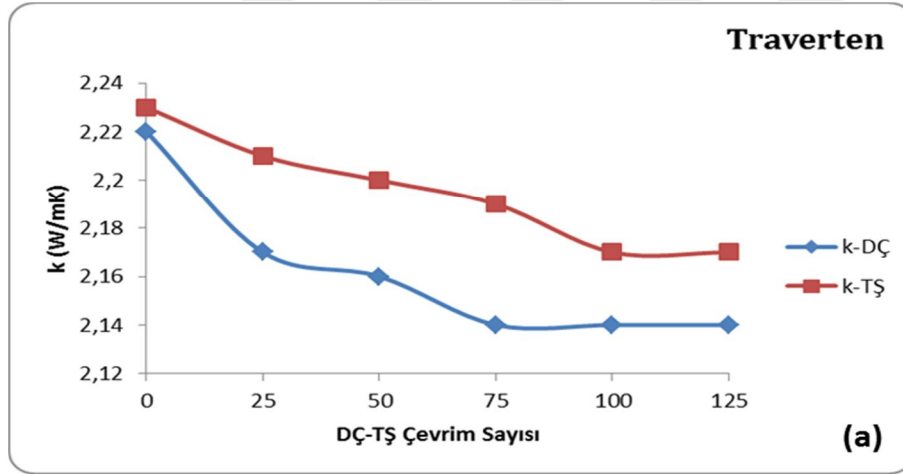
Çizelge 4.11. Termal şok deneylerinin termal özelliklere etkisi

Numune Adı	Termal Şok Deneyleri Öncesi			25. Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası			50.Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası		
	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$
Traverten	2,23±0,099	0,022±0,001	1,485	2,22±0,098	0,023±0,001	1,360	2,20±0,120	0,024±0,002	1,248
Limra	2,23±0,062	0,023±0,002	1,377	2,25±0,110	0,022±0,001	1,465	2,19±0,007	0,023±0,001	1,079
Traki Andezit	1,24±0,150	0,041±0,002	1,614	1,14±0,104	0,044±0,002	1,521	1,12±0,127	0,045±0,002	1,225
İğnimbirit	0,80±0,043	0,063±0,003	1,493	0,54±0,019	0,093±0,003	1,523	0,52±0,014	0,097±0,003	1,393

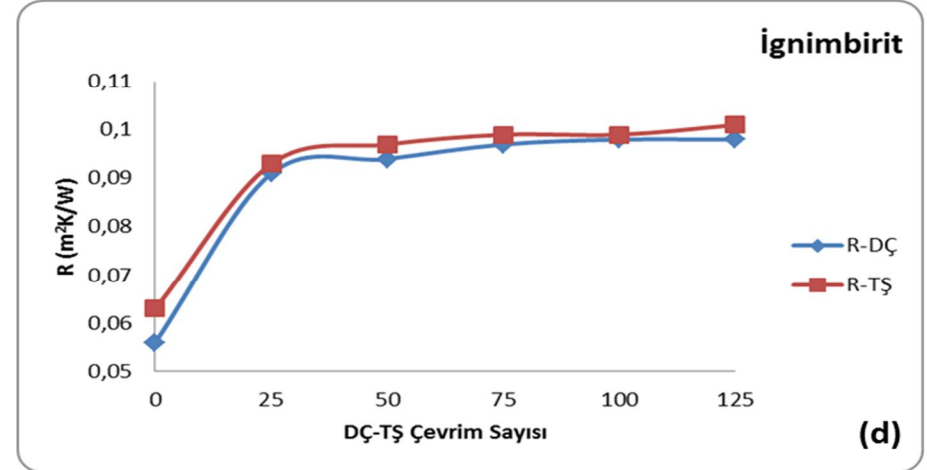
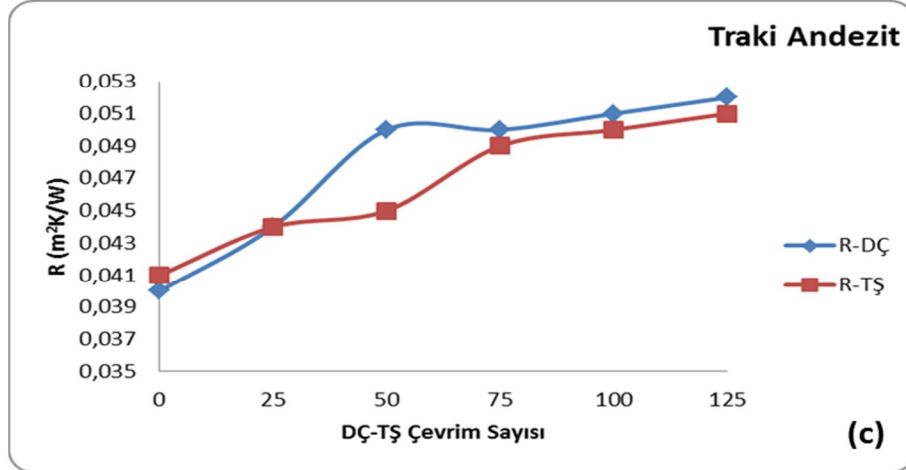
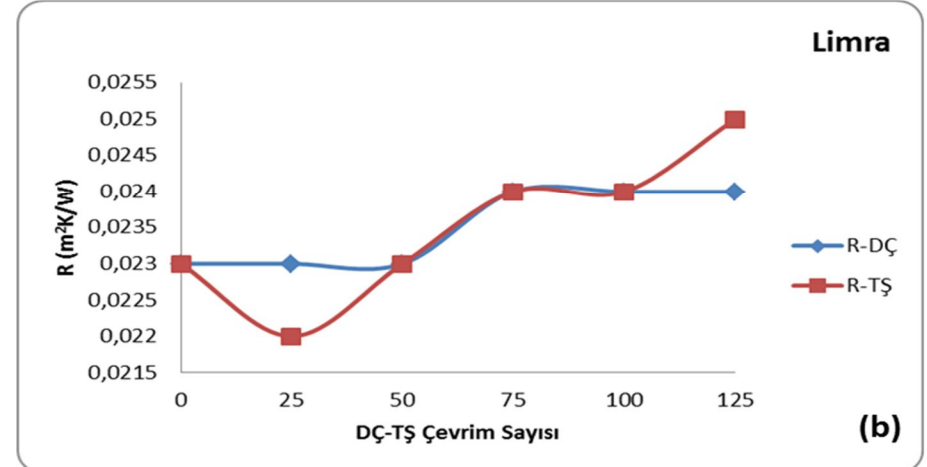
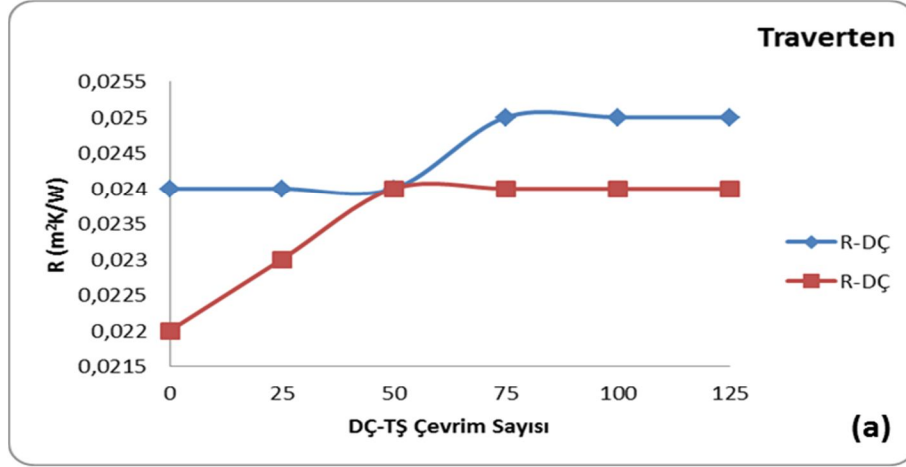
Çizelge 4.11. Termal şok deneylerinin termal özelliklere etkisi (Devam)

Numune Adı	75.Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası			100.Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası			125.Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası		
	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$	$k(W/mK)$	$R(m^2K/W)$	$C_p(J/gK)$
Traverten	2,19±0,068	0,024±0,002	1,221	2,17±0,078	0,024±0,002	1,207	2,17±0,086	0,024±0,002	1,201
Limra	2,16±0,021	0,024±0,002	1,152	2,16±0,009	0,024±0,002	1,158	2,15±0,057	0,025±0,002	1,102
Traki Andezit	1,08±0,003	0,049±0,002	1,208	1,04±0,051	0,050±0,003	1,460	1,00±0,021	0,051±0,003	1,406
İğnimbirit	0,51±0,022	0,099±0,003	1,405	0,51±0,013	0,099±0,003	1,351	0,50±0,017	0,101±0,003	0,55

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numunelerin ısı iletkenlik katsayısı (k) değerlerinin donma-çözölme ve termal şok çevrimlerine bağılı olarak nasıl değıştikleri Şekil 4.6'da gösterilmektedir. k değeriindeki azalma, ısısal çevrimlerden kaynaklı olarak artan gözeneklilik oranıyla doğrudan ilgilidir ve gözeneklilik arttıkça ısı iletkenlik katsayısı da düşmektedir. Şekilden ve hesaplanan yüzdesel değışimlerden ısı iletkenlik katsayısının düşmesinde, donma-çözölme sürecinin termal şoka göre daha etkili olduğı görölmektedir. Isı iletkenlik katsayısı ve kaplama malzemesi kalınlığının bir fonksiyonu olan ısı direnç ise, ısı iletkenlik katsayısı düştükçe, ters orantılı olarak artmaktadır (Şekil 4.7). Donma-çözölme koşullarının termal şoka göre, ani ısı değışimleri ve bunların oluşturduğı gerilmelerden kaynaklı olarak, kayaçların iç yapısında çok ince mikro çatlaklar oluşturduğı ya da gözeneklerin bağlantılı hale geçmesine sebebiyet verdiğı ve buna bağılı olarak da daha etkili bir süreç olduğı düşünölmektedir.

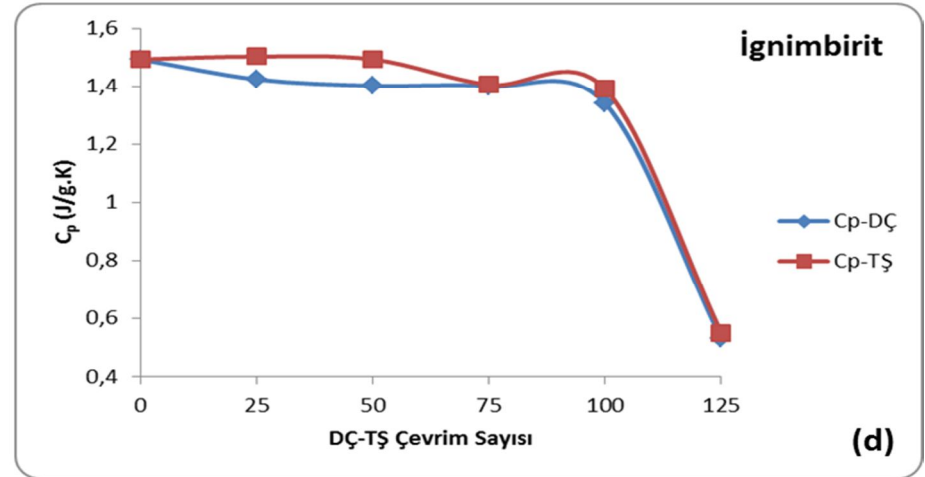
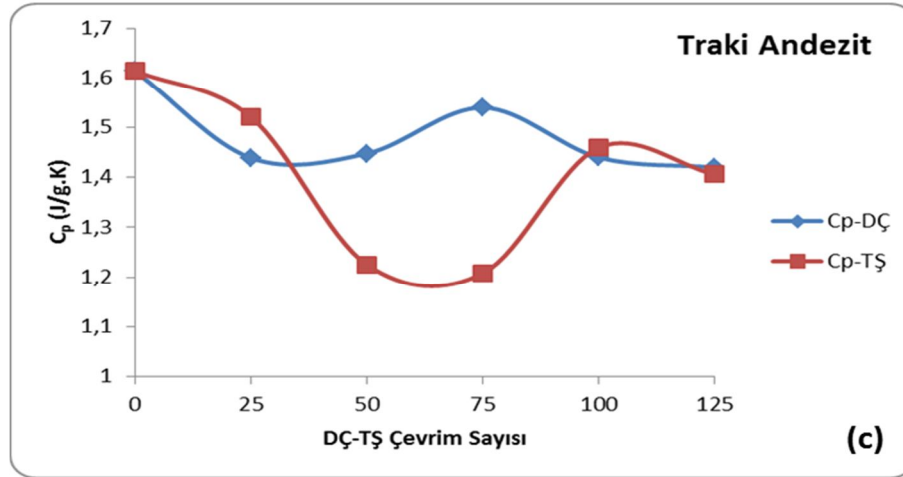
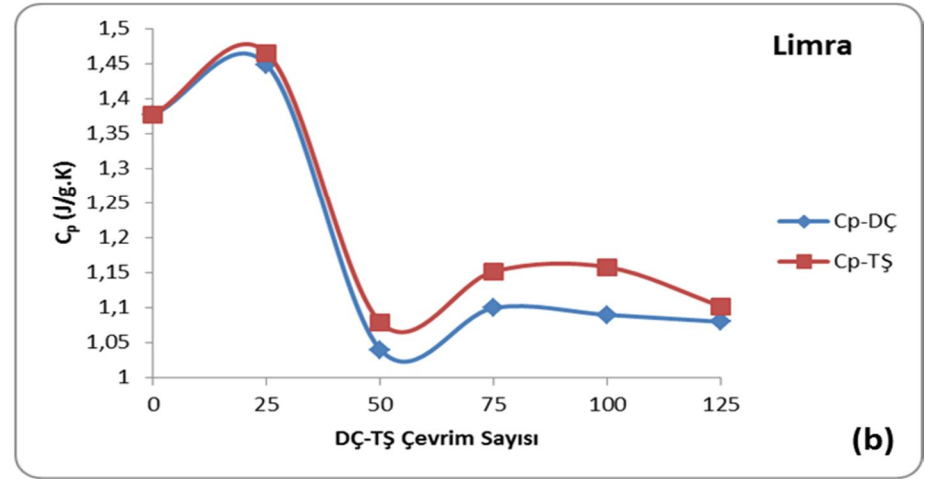
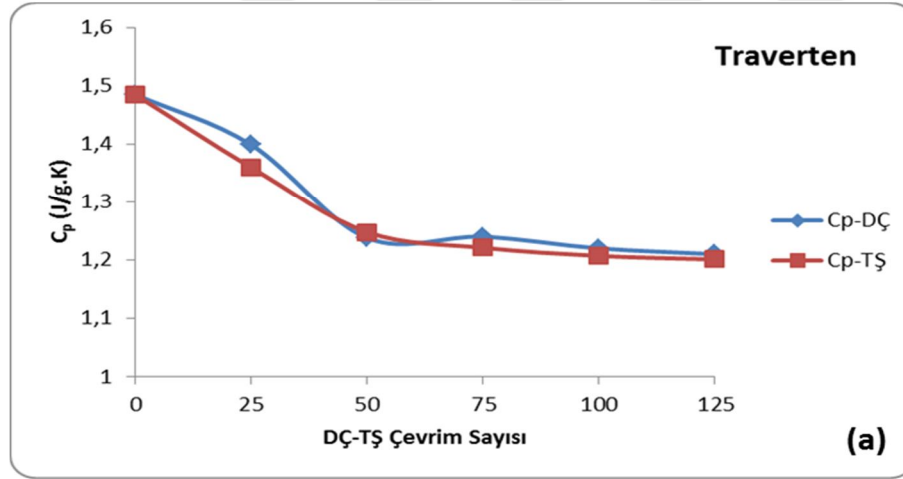


Şekil 4.6. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin ısı iletkenlik (k) değerine etkisi



Şekil 4.7. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin ısı direnç (R) değerine etkisi

Donma-çözölme ve termal şok çevrimlerinin kullanılan numunelerin özgül ısı kapasitesi değerlerini nasıl etkilediği ile ilgili bulgular Şekil 4.8' de verilmiştir. Buna göre özgül ısı kapasitesi değerinde düzenli bir düşüş olmasa da, çevrim sayısının artmasıyla azaldığı görölmektedir. Kayaçlara ait çevrim sayısına bağı özgül ısı kapasitesi grafiklerindeki bu düzensiz değişimlerin, kayaç yapısı ve açılım-kapanım gösteren boşluk karakteristiği ile ilgili olduğu düşünölmektedir. Bu değer de doğrudan gözeneklilik ve ısı iletkenlik değeri ile ilgilidir. Gözeneklilik oranı arttıkça ısı iletkenlik değeri azalmakta; ısı iletkenlik azaldıkça özgül ısı kapasitesi değeri de azalmaktadır. Yüzdesel oranlara bakılarak donma-çözölme ve termal şok bazında kıyaslama yapılacak olursa, bütün numuneler için en çok azalma 125 çevrim donma-çözölme çevrimlerinden sonra görölmektedir. Yüzdesel azalma oranları donma-çözölme çevrimlerinde Travertende %19, Limrada %22, Traki Andezitte %12, İgnimbiritte %65; termal şok çevrimlerinde ise bu oran Traverten %19, Limra %20, Traki Andezit %12 ve İgnimbirit %63 olarak belirlenmiştir. Isı iletkenlik değeri en fazla İgnimbirit kayacında düşme gösterdiği için özgül ısı kapasitesi değeri de en çok bu kayaçta değişim göstermiştir. Böylelikle sonuçlar birbirini desteklemektedir.



Şekil 4.8. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin özgül ısı kapasitesi (C_p) değerine etkisi

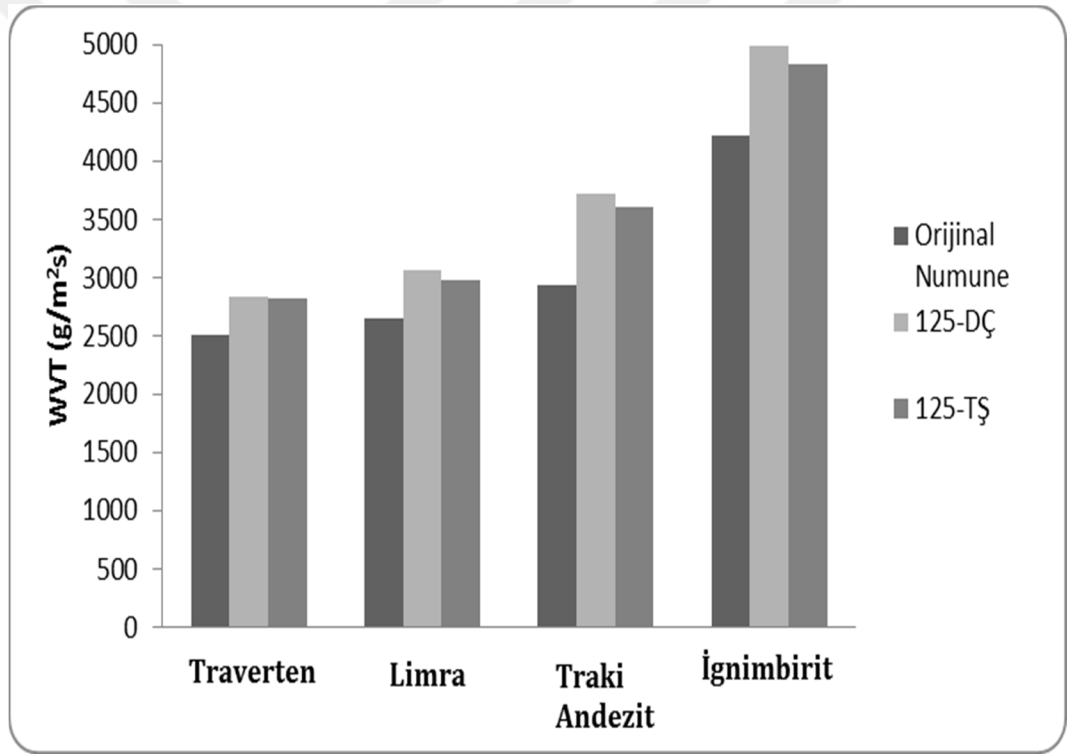
4.6. Su Buharı Aktarım Özelliklerine Ait Deney Bulguları

Malzemelerin su buharı geçirgenlik hızı değerleri ve bununla ters orantılı olarak su buharı difüzyon direnci faktörü boşluk yapılarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tez çalışması kapsamında ele alınan numunelerin içinden su buharı geçirgenlik hızı en yüksek, su buharı difüzyon direnci faktörü en düşük olan hem donma-çözülme hem de termal şok deney grupları içinde İğnimbirit kayacıdır. Yine aynı şekilde su buharı geçirgenlik hızı en düşük, su buharı difüzyon direnci faktörü en yüksek olan numune ise Traki Andezit'tir (Çizelge 4.12). Kayaçların su buharı geçirgenlik hızının ısısal çevrimlerden etkilenme dereceleri donma-çözülme sürecinde Travertende %13, Limrada %15, Traki Andezitte %26 ve İğnimbiritte %18; termal şok sürecinde ise Travertende %12, Limrada %13, Traki Andezitte %22 ve İğnimbiritte %14'tür. Çizelgeden görüldüğü gibi çevrimler sonucu su buharı geçirgenlik hızında yüzdesel olarak en fazla değişim Traki Andezitte meydana gelmiştir.

Çizelge 4.12. Donma-çözülme ve termal şok deneylerinin su buharı aktarım özelliklerine etkisi

Numune Adı	Donma-Çözülme Deneyleri Öncesi		125. Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası		125. Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası	
	Su Buharı Geçirgenlik Hızı (mg/m ² s)	Su Buharı Difüzyon Direnci Faktörü(μ) (s/m)	Su Buharı Geçirgenlik Hızı (mg/m ² s)	Su Buharı Difüzyon Direnci Faktörü(μ) (s/m)	Su Buharı Geçirgenlik Hızı (mg/m ² s)	Su Buharı Difüzyon Direnci Faktörü(μ) (s/m)
Traverten	2360±658	0,05±0,004	2841,66±691	0,05±0,019	2822±625	0,04±0,020
Limra	2280±566	0,05±0,009	3065±505	0,03±0,002	2981,67±523	0,02±0,002
Traki Andezit	3280±852	0,11±0,059	3720±821	0,07±0,011	3610±841	0,06±0,016
İgnimbirit	4160±903	0,02±0,002	4991,67±900	0,02±0,003	4830±863	0,01±0,002

Şekil 4.9'dan da anlaşılacağı üzere, donma-çözülme çevrimleri bütün numuneler üzerinde termal şoka göre daha etkili olmuştur. Donma-çözülmenin kayaçların iç yapısında artan boşluk miktarının bir sonucu olarak bozunmada daha fazla rol oynadığı görülmektedir. Kayaç içinde meydana gelen bozunmadan kaynaklı olarak yeni oluşan kılcal çatlaklarla açık gözeneklilik oranı artmaktadır. Böylelikle, su buharının taşınması için daha fazla alan olmakta ve yapı boyunca daha fazla su buharı taşınması meydana gelmektedir. Su buharı geçirgenlik (WVT) özelliklerindeki tüm bu değişikliklerin, gözenek yapısındaki değişikliklere ve özellikle çatlak tipi gözenekliliğin artmasına ve ayrıca gözenek yüzey alanının artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

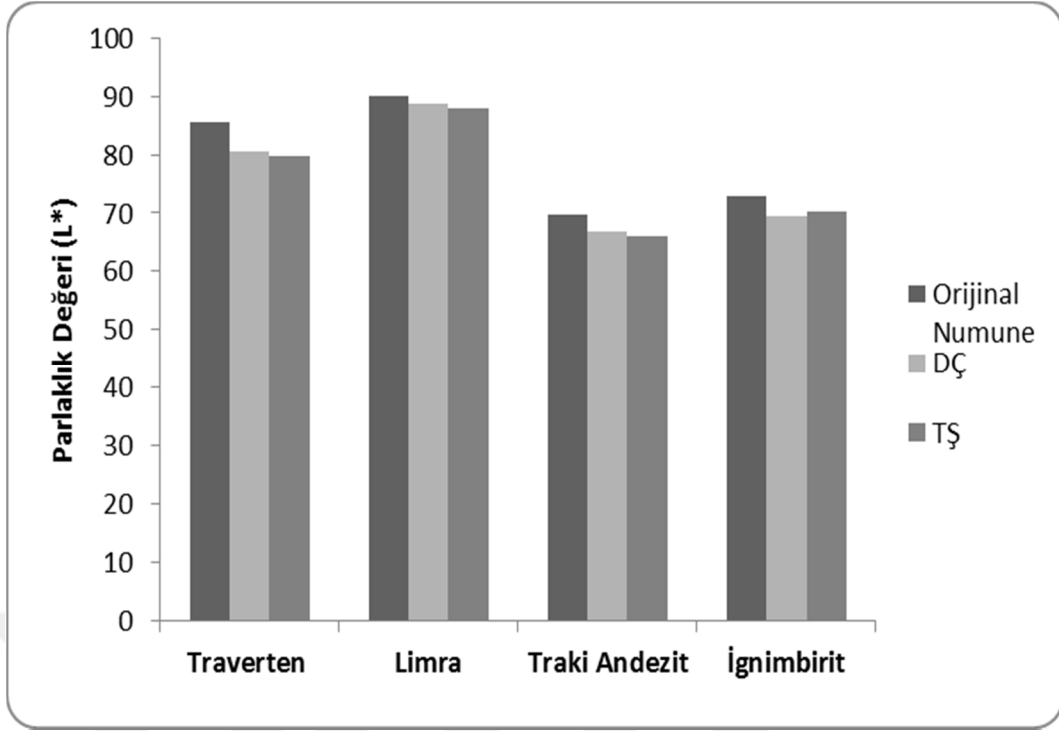


Şekil 4.9. Traverten, Limra, Traki Andezit ve İğnimbirit numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin su buharı geçirgenlik hızı (WVP) değerine etkisi

4.7. Renk Değişim Özelliklerine Ait Bulgular

Donma-çözülme ve termal şok döngülerinin Traverten, Limra, Traki Andezit ve İğnimbiritin renk değişimi üzerindeki etkileri Çizelge 4.13-4.14'de verilmektedir. Numunelerin toplam renk değişimleri incelendiğinde (ΔE^*) 125 çevrim donma-çözülme ve termal şok sonrası çok önemli bir değişiklik meydana gelmediği görülmektedir. $\Delta E^* < 5$ olduğu zaman renk değişiminin çıplak gözle seçilmesi zorlaşmaktadır (Garcia ve Malaga, 2012). Buna göre Limra, Traki Andezit ve İğnimbirit numunelerinin hızlandırılmış yaşlandırma testlerinden sonra az da olsa kabul edilebilir renk değişimi değerleri sergilediği varsayılmaktadır. Toplam renk değişimi oranlarına bakıldığında donma-çözülme süreci için ΔE^* Travertende 5,20; Limrada 2,35; Traki Andezitte 3,70; İğnimbiritte 4,04 iken termal şok süreci için bu değişim oranı Travertende 6,45; Limrada 3; Traki Andezitte 4,92 ve İğnimbiritte 4,21 olarak belirlenmiştir. Bütün numuneler içinden sadece Travertenin yüksek renk değişimi ($\Delta E^* = 5,20-6,45$) sergilediği açıkça görülmektedir. Bu hesaplamalara göre toplam renk değişimi üzerinde termal şok çevrimlerinin, donma-çözülmeden daha etkili olduğu belirlenmiştir. Termal şok esnasında uygulanan sıcaklık etkisinin renk üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

En yüksek parlaklık değeri Limra kayacında 90,15 olarak ölçülmüş ve donma-çözülme ve termal şok çevrimleri sonrası bu değer az da olsa azalma göstermiştir. Buna ek olarak, Limra kayacı çoğunlukla tek renkli yüzey tipine sahip olduğundan, diğer kayalara (Traverten, Traki Andezit ve İğnimbirit) göre çok az bir renk değişimi sergilemektedir. a^* ve b^* değerleri İğnimbirit kayacı için sırasıyla kırmızımsı ve sarımsı renklere daha fazla eğilim gösterirken; Traverten, Limra ve Traki Andezit için bu değerlerin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Traki Andezit kayacının a^* değerindeki artış, numunenin yeşilimsi renginin çevrimler sonrası azaldığının bir göstergesidir. Sonuç olarak yaşlandırma testleri ile bütün kayalar için L^* değerinde koyulaşma, a^* ve b^* değerlerinde ise çevrim sayısına paralel olarak artma olduğu görülmektedir ve elde edilen bu sonuçlar, İnigo vd. (2013)'nin yaptıkları çalışmayı da desteklemektedir. L^* değerindeki değişim Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Traverten, Limra, Traki Andezit ve İğnimbirit numuneleri üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin parlaklık (L*) değerine etkisi

Çizelge 4.13. Donma-çözülme deneylerinin renk değişimi üzerine etkisi

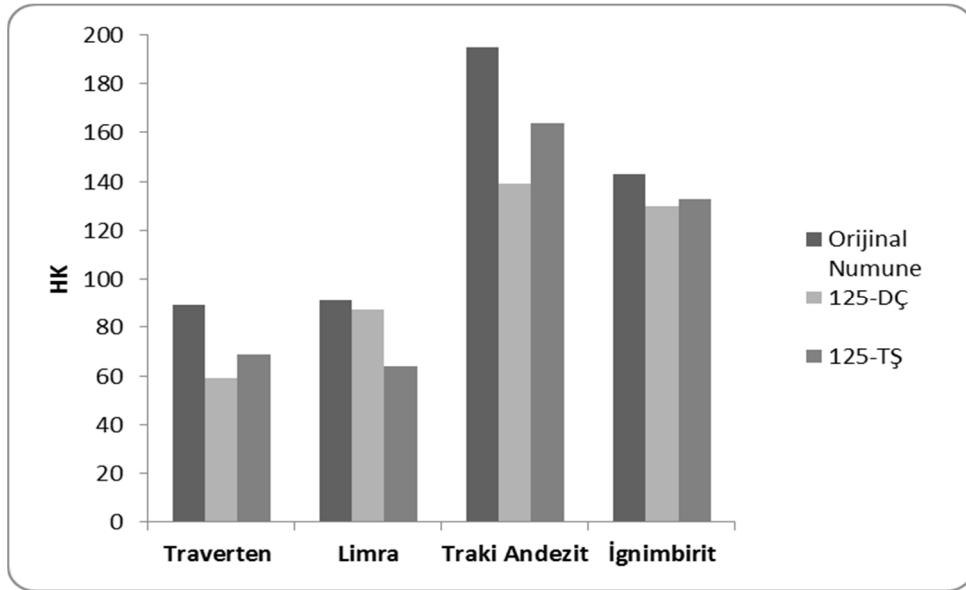
Numune Adı	Donma-Çözülme Deneyleri Öncesi			125. Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası			Renk Farkı			Toplam Renk Farkı
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Traverten	85,61±1,28	1,15±0,21	9,21±0,29	80,54±0,16	1,93±0,12	10,06±0,35	-5,07	0,78	0,85	5,20
Limra	90,15±0,12	0,48±0,02	8,09±0,04	88,65±0,086	0,45±0,04	9,90±0,11	-1,50	-0,03	1,81	2,35
Traki Andezit	69,81±0,33	1,06±0,06	2,15±0,60	66,72±0,74	0,64±0,04	4,15±0,075	-3,09	0,42	2,00	3,70
İgnimbirit	73,00±1,43	3,17±1,01	11,05±0,30	69,37±0,18	3,97±0,21	12,63±0,35	-3,63	0,80	1,58	4,04

Çizelge 4.14. Termal şok deneylerinin renk değişimi üzerine etkisi

Numune Adı	Termal Şok Deneyleri Öncesi			125. Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası			Renk Farkı			Toplam Renk Farkı
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Traverten	85,61±1,28	1,15±0,21	9,21±0,29	79,86±1,06	4,06±1,48	9,35±0,27	-5,75	2,91	0,14	6,45
Limra	90,15±0,12	0,48±0,02	8,09±0,04	87,90±0,19	1,32±0,51	9,90±0,27	-2,25	0,84	1,81	3,00
Traki Andezit	69,81±0,33	1,06±0,06	2,15±0,60	65,97±0,13	0,14±0,03	5,08±0,25	-3,84	0,92	2,93	4,92
İgnimbirit	73,00±1,43	3,17±1,01	11,05±0,30	70,24±1,00	6,32±0,23	11,51±0,88	-2,76	3,15	0,46	4,21

4.8. Knoop Sertlik Değerlerine Ait Bulgular

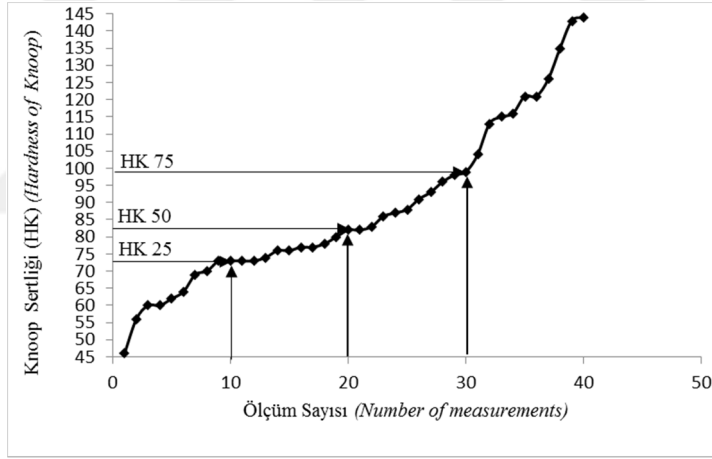
Çizelge 4.15’de görüldüğü gibi donma-çözülme ve termal şok çevrim sayısı arttıkça, artan bozunmanın bir sonucu olarak dayanımın azalması ile bağlantılı Knoop sertlik (HK) değerinde bir düşüş söz konusu olmuştur. Knoop sertlik değerinde en fazla düşüş, ortalama %29’luk bir yüzde ile Traki Andezitte meydana gelmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde donma-çözülme çevrimlerinin Traverten, Traki Andezit ve İğnimbirit kayaçlarının Knoop sertlik değerleri üzerinde termal şoka göre daha etkili olduğu, Limra kayacında ise termal şokun daha etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.11). Limra kayacında ani sıcaklık artışlarının donma-çözölmeye kıyasla kayacın yüzeyinde mikron düzeyinde daha fazla zayıflamaya sebep olduğu düşünülmüş ve bu nedenle termal şokun daha etkili olduğu kanısına varılmıştır. Doğaltaşların homojenite değeri ölçülen değerlerin küçükten büyüğe sıralanmasından sonra, sıralamadaki sertlik değerlerinin %25 inci değerinin %75 inci değerine (HK25/HK75) oranlanmasıyla belirlenmektedir. Bu oranın 1’e yaklaşması taşın homojen, 0’a yaklaşması ise taşın heterojen bir yapıya sahip olduğunu ifade etmektedir. Kayaçların homojenite ve mikrosertlik değerlerini gösteren grafikler Şekil 4.12-4.15’de verilmektedir.



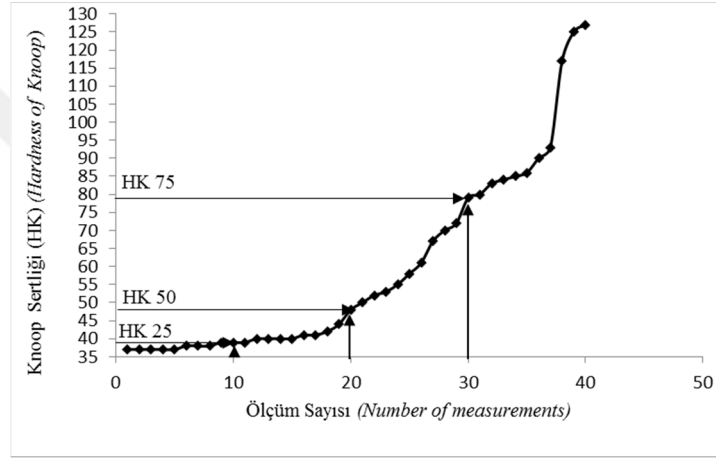
Şekil 4.11. Traverten, Limra, Traki Andezit ve İğnimbirit numuneleri üzerinde donma-çözölme ve termal şok çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi

Çizelge 4.15. Donma-çözülme ve termal şok deneylerinin Knoop ve mohs sertlik değeri üzerine etkisi

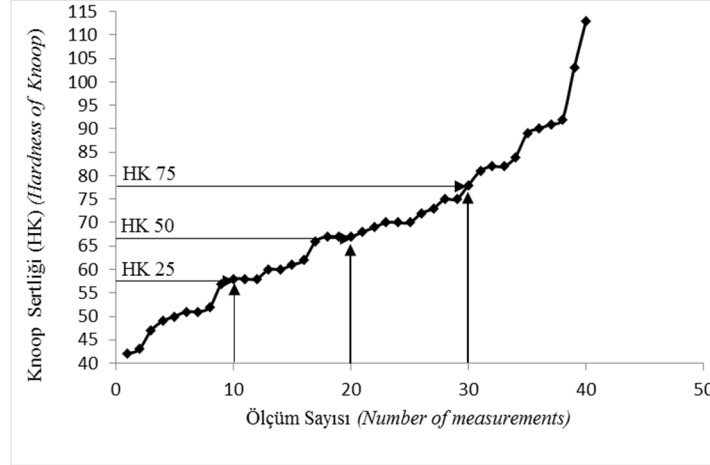
Numune Adı	Donma-Çözülme Deneyleri Öncesi		125. Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası		125. Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası	
	Knoop	Mohs	Knoop	Mohs	Knoop	Mohs
Traverten	89	2,5	59	2-2,5	69	2-2,5
Limra	91	2,5-3	87	2,5-3	64	2-2,5
Traki Andezit	195	4-4,5	139	3-3,5	164	4
İgnimbirit	143	3-3,5	130	3	133	3



(a)

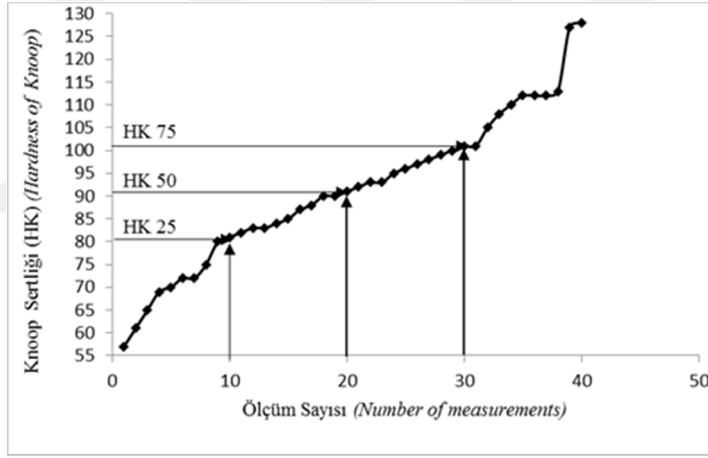


(b)

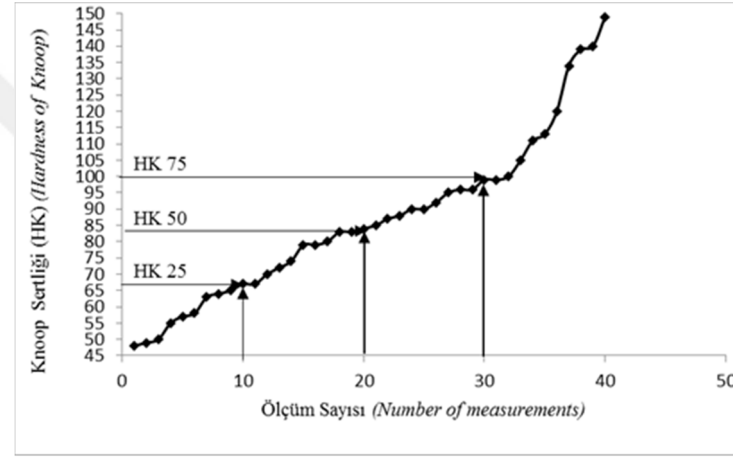


(c)

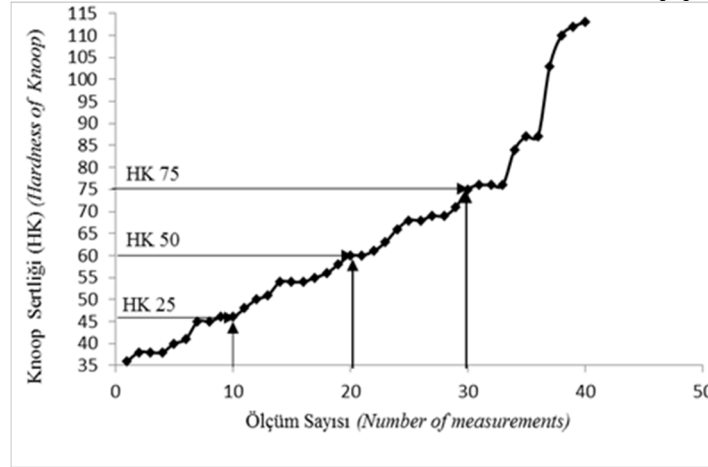
Şekil 4.12. Traverten (a) numunesi üzerinde donma-çözülme (b) ve termal şok (c) çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi



(a)

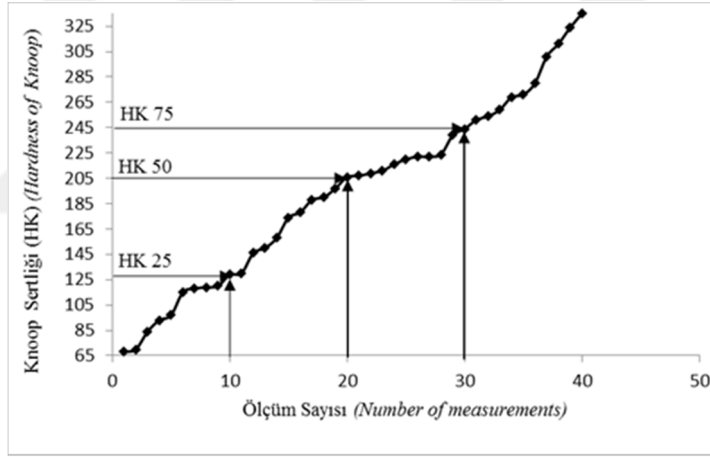


(b)

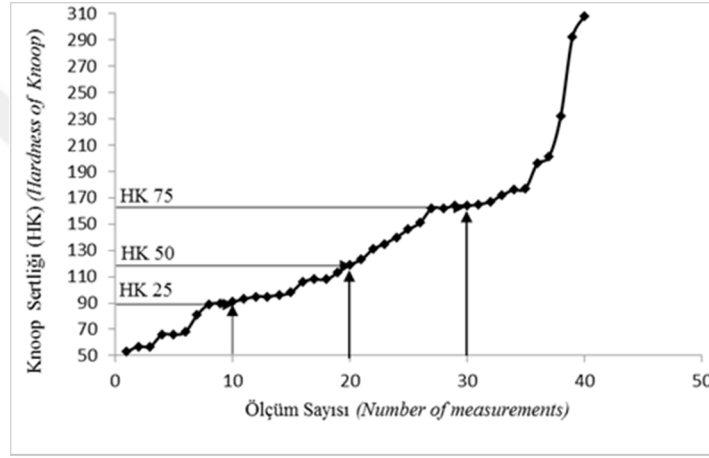


(c)

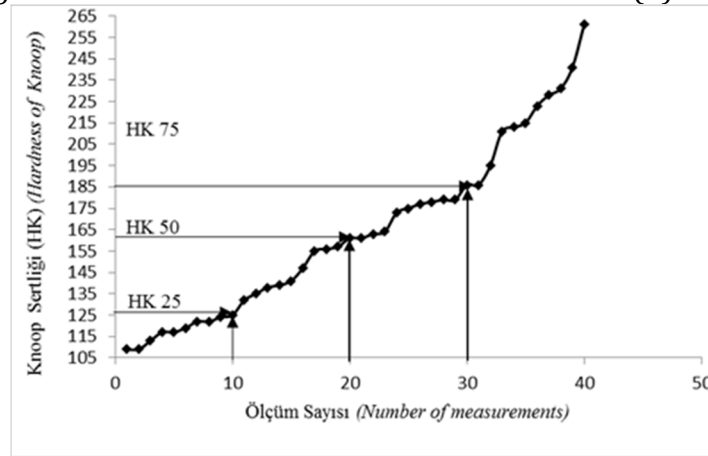
Şekil 4.13. Limra (a) numunesi üzerinde donma-çözülme (b) ve termal şok (c) çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi



(a)

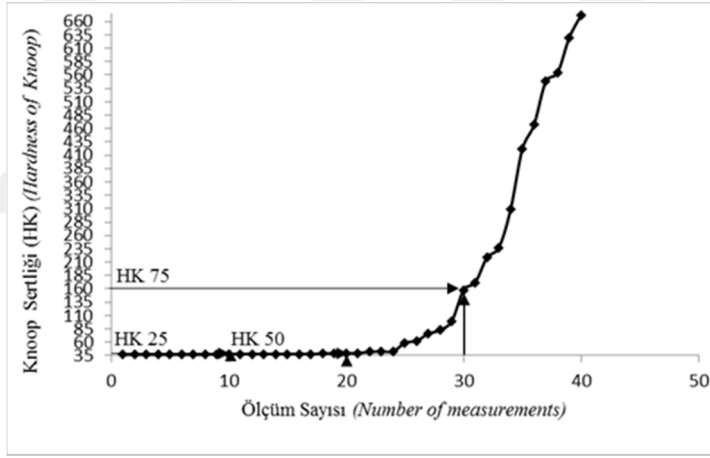


(b)

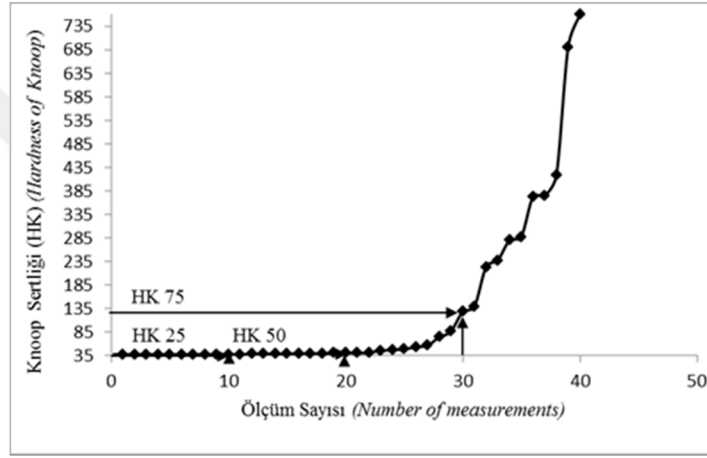


(c)

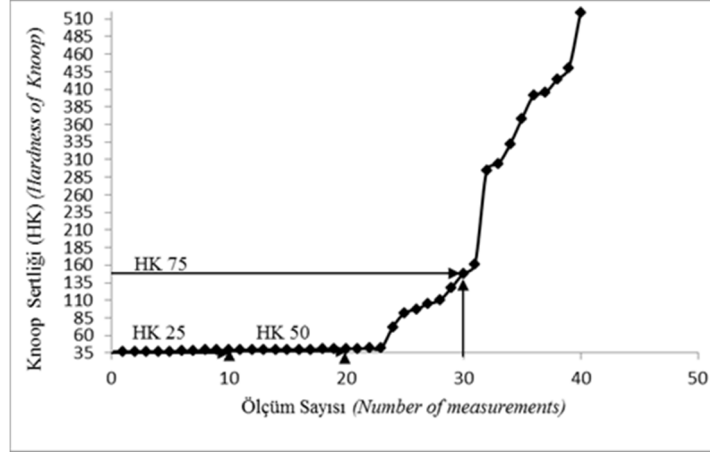
Şekil 4.14. Traki Andezit (a) numunesi üzerinde donma-çözülme (b) ve termal şok (c) çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.15. İğnimbirit (a) numunesi üzerinde donma-çözülme (b) ve termal şok (c) çevrimlerinin Knoop sertlik (HK) değerine etkisi

4.9. BET Yüzey Özelliklerine Ait Bulgular

Donma-çözülme ve termal şok sürecinde gelişen gerilmelerle kayaların bloklar halinde parçalanması kaya kütlesi içindeki süreksizliklere, kayacı oluşturan minerallerin parçalanması ise yeni tane sınırlarına veya yeni mineral çatlakları gibi mikro süreksizliklerin oluşumuna sebep olmaktadır. Kayaçta mikro ölçekte gerçekleşen değişiklikler kayaçların dokusal özelliklerinin değişimine sebep olmaktadır. Artan donma-çözülme ve termal şok çevrim sayısı ile birlikte numunelerin gözeneklilik değerlerinde de artış olmuştur. Bu durum, çatlakların boşlukların etrafında belli bir seviyeye kadar ilerlediğini ve çoğaldığını göstermektedir. Çizelge 4.16 ve 4.17’de görüldüğü gibi yüzey alanı değeri ısısal çevrimlerin etkisiyle, çevrim sayısı arttıkça yükselmektedir. Bu durum ısısal değişikliklerden kaynaklı bozunmanın sonucu olarak, boşluk oranının artmasıyla yakından ilgilidir.

Çizelge 4.16. Donma-çözülme deneylerinin gözeneklilik özelliklerine etkisi

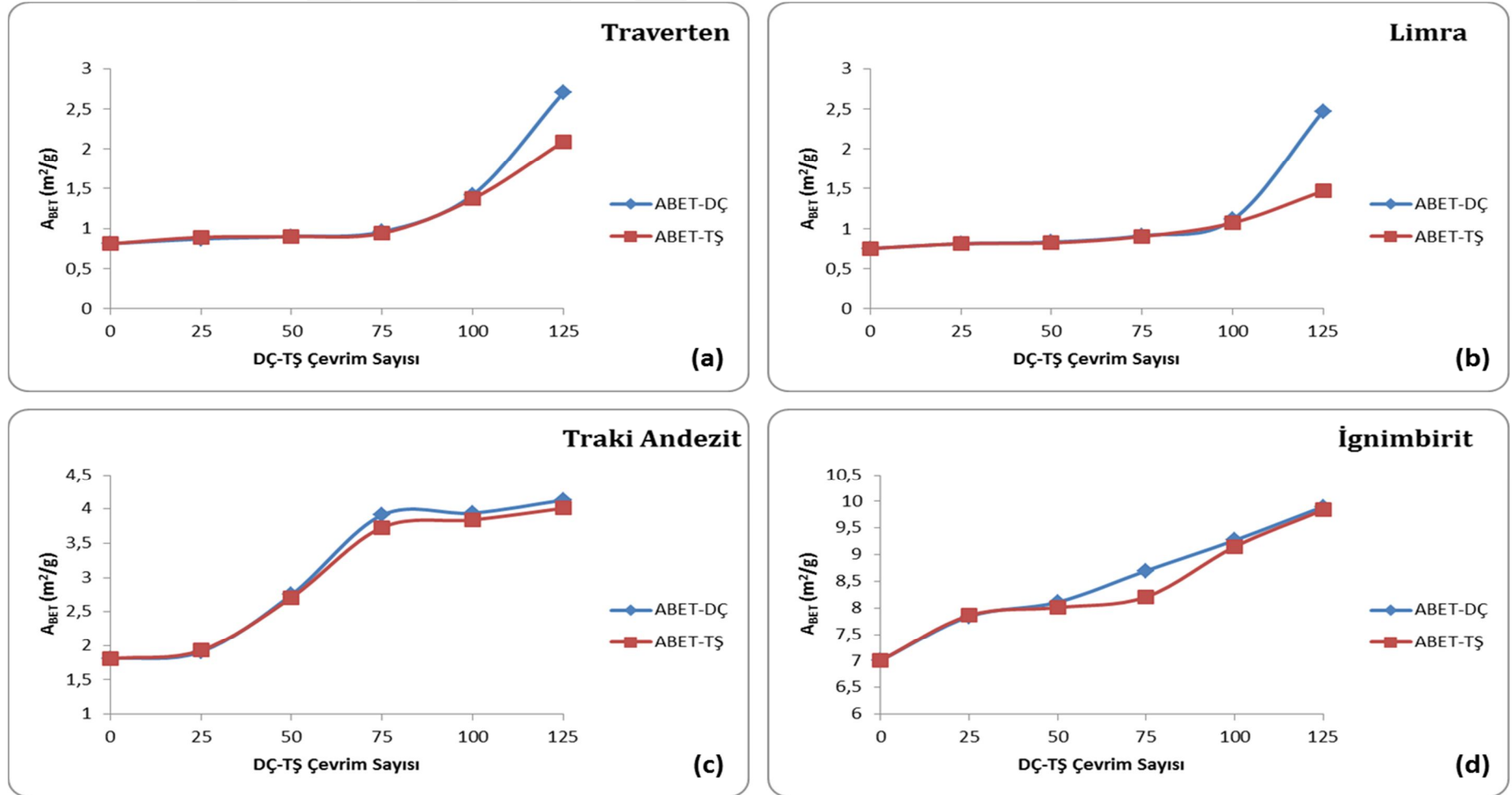
Numune Adı	Donma- Çözülme Deneyleri Öncesi	25. Çevrim Donma- Çözülme Deneyleri Sonrası	50.Çevrim Donma- Çözülme Deneyleri Sonrası	75.Çevrim Donma- Çözülme Deneyleri Sonrası	100.Çevrim Donma- Çözülme Deneyleri Sonrası	125.Çevrim Donma- Çözülme Deneyleri Sonrası
	A _{BET} (m ² /g)	A _{BET} (m ² /g)	A _{BET} (m ² /g)	A _{BET} (m ² /g)	A _{BET} (m ² /g)	A _{BET} (m ² /g)
Traverten	0,81	0,87	0,90	0,96	1,42	2,70
Limra	0,75	0,81	0,83	0,91	1,11	2,47
Traki Andezit	1,81	1,91	2,75	3,91	3,94	4,13
İgnimbirit	7,01	7,84	8,11	8,70	9,27	9,90

Çizelge 4.17. Termal şok deneylerinin gözeneklilik özelliklerine etkisi

Numune Adı	Termal Şok Deneyleri Öncesi	25. Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası	50.Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası	75.Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası	100.Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası	125.Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası
	$A_{BET} (m^2/g)$	$A_{BET} (m^2/g)$	$A_{BET} (m^2/g)$	$A_{BET} (m^2/g)$	$A_{BET} (m^2/g)$	$A_{BET} (m^2/g)$
Traverten	0,81	0,89	0,90	0,94	1,37	2,09
Limra	0,75	0,81	0,82	0,90	1,07	1,47
Traki Andezit	1,81	1,93	2,71	3,73	3,84	4,01
İğnimbirit	7,01	7,86	8,01	8,21	9,15	9,84

BET yüzey alanı üzerinde donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin etkilerinin belirlenmesi için BET yüzey alanı (A_{BET}) değerleri çevrim sayısı ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 4.16). Traverten, Limra ve İğnimbirit kayaçlarında bozunmaya bağlı yüzey alanı artışında son 25 çevrim daha etkili olurken, Traki Andezit kayacında ilk 75 çevrim en etkili olarak görülmektedir. Yüzey alanı artışında donma-çözülme çevrimlerinin termal şok çevrimlerine nazaran daha etkili olduğu görülmektedir. Donma-çözülmenin daha etkili olmasının, bu süreçte gözeneklere suyun dolması ve sonrasında gözeneklerdeki suyun donması sonucu boşluklarda oluşan gerilmelerin, mikro çatlak sayısını artırmasıyla doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir.

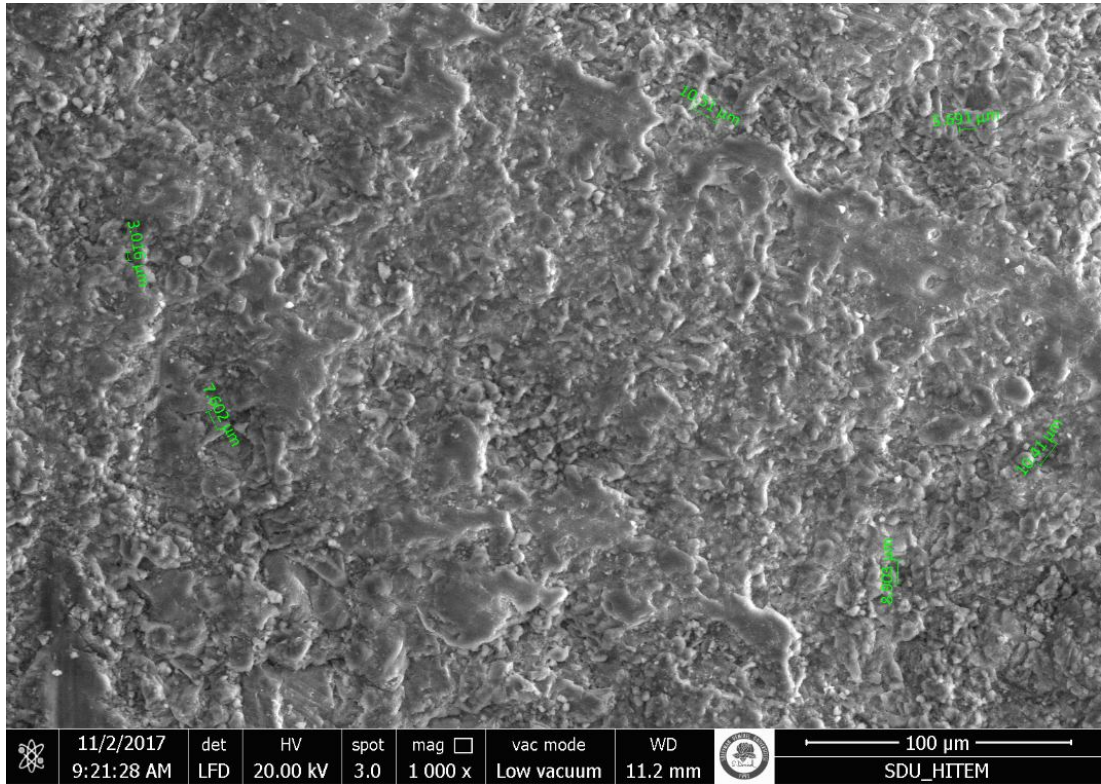




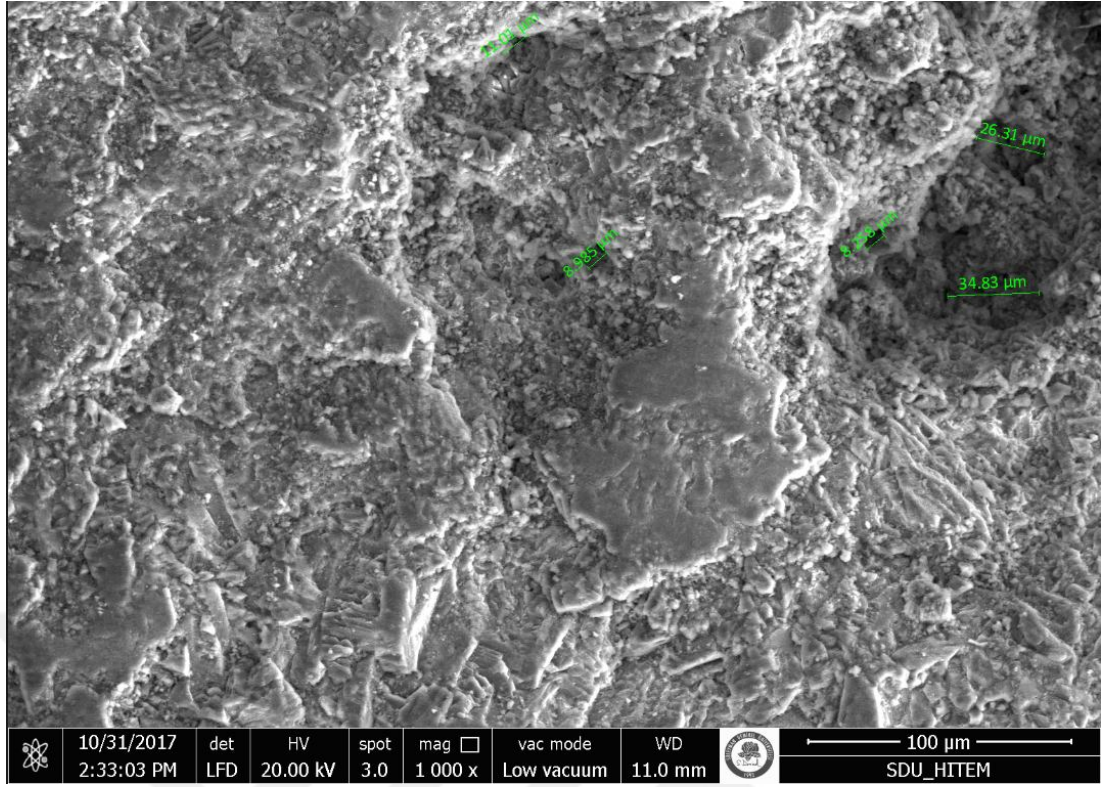
Şekil 4.16. Traverten (a), Limra (b), Traki Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) Numuneleri Üzerinde Donma-Çözülme ve Termal Şok Çevrimlerinin BET Yüzey Alanı (A_{BET}) Değerine Etkisi

4.10. SEM Görüntü Analizine Ait Bulgular

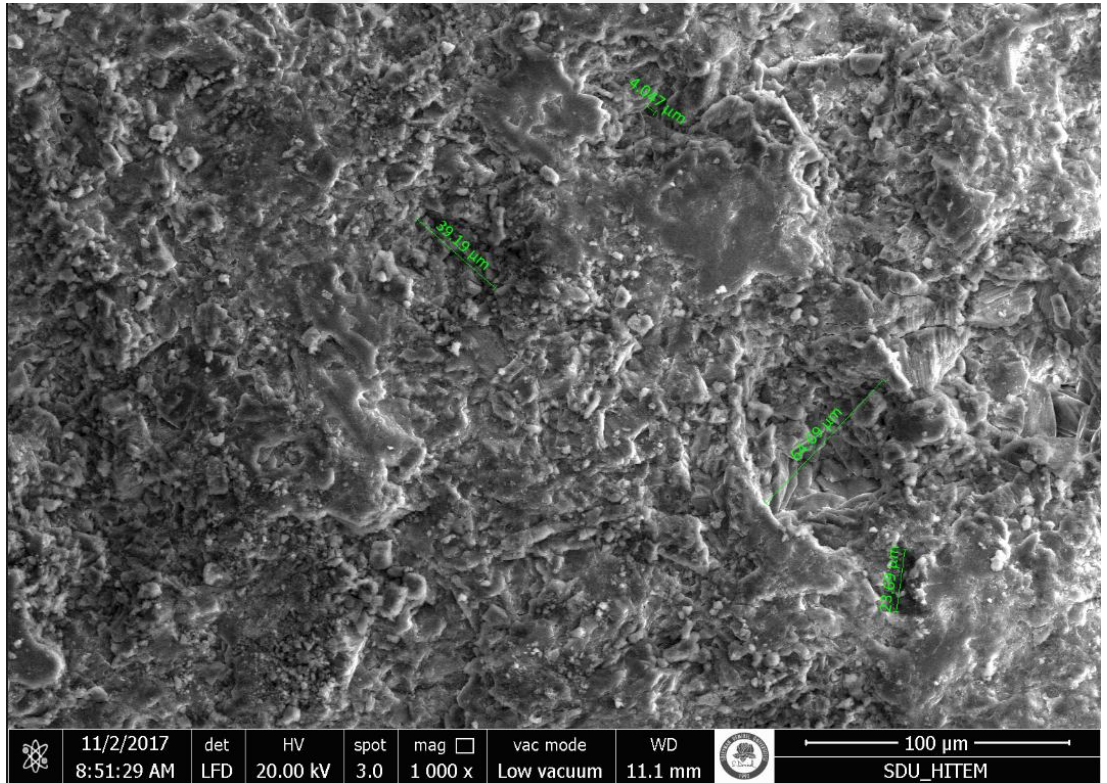
Şekil 4.17-4.20’de ısısal çevrimlere girmeden önce, 125 çevrim donma-çözülme ve 125 çevrim termal şok sonrası tez çalışması boyunca kullanılan numunelere ait, bazı boşluk yapılarının ölçeklendirilmiş SEM görüntüleri görülmektedir. SEM görüntüleri 1000 kez büyütülerek verilmiştir. Numunelerin çevrimlere girmeden önceki ve çevrimler sonraki görüntüleri kıyaslandığında, başlangıç görüntülerindeki yüzeylerdeki bütünsel dokunun, çevrimlerden sonra daha bozunmuş olduğu görülmektedir. Ayrıca ölçekli boşluk yapılarından yararlanarak, çevrimler sonrası ortalama gözeneklilik oranının, çevrimler öncesi ortalama gözeneklilik oranından fazla olduğu belirlenmiştir. SEM görüntülerinden, hem donma-çözülme hem de termal şok sonrası kayacın içyapısında bozunmanın ve gözenekliliğin arttığı açıkça görülmektedir. Bu görüntüler, kayaların ısısal değişimlerden etkilenerek bozunduğunu ve gözeneklilik oranının artmasına bağlı olarak elde edilmiş olan diğer parametrelerin de değişimlerini ispatlar niteliktedir.



(a)

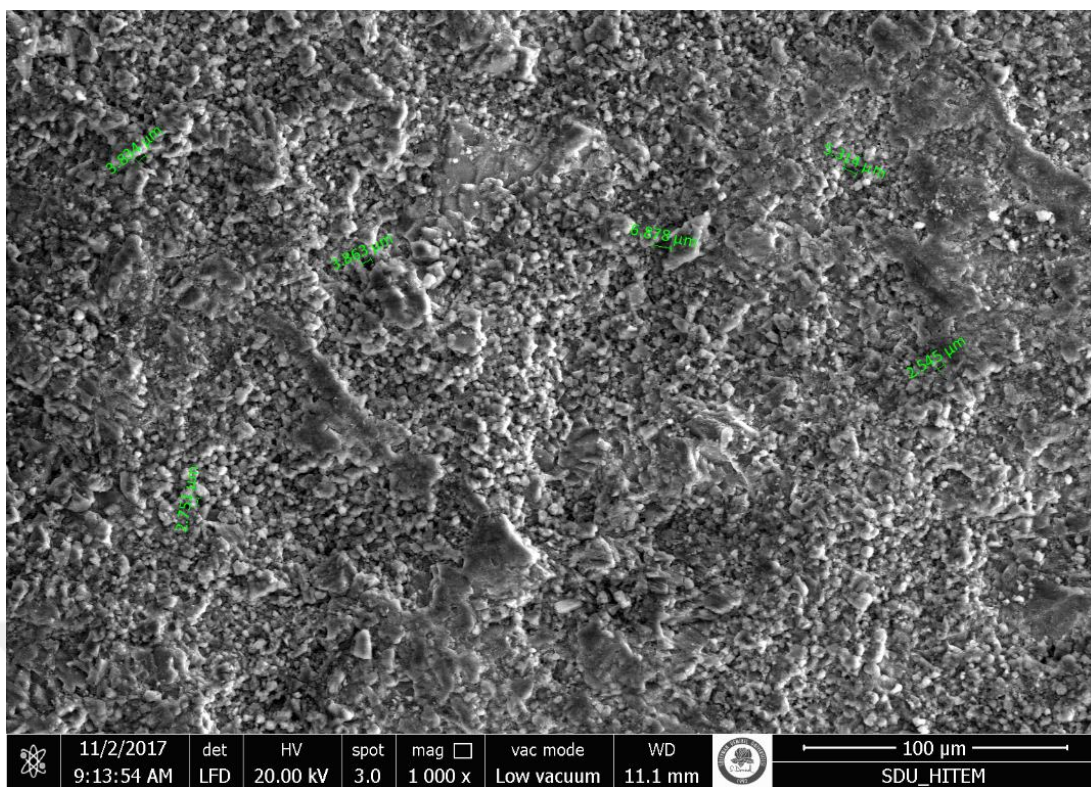


(b)

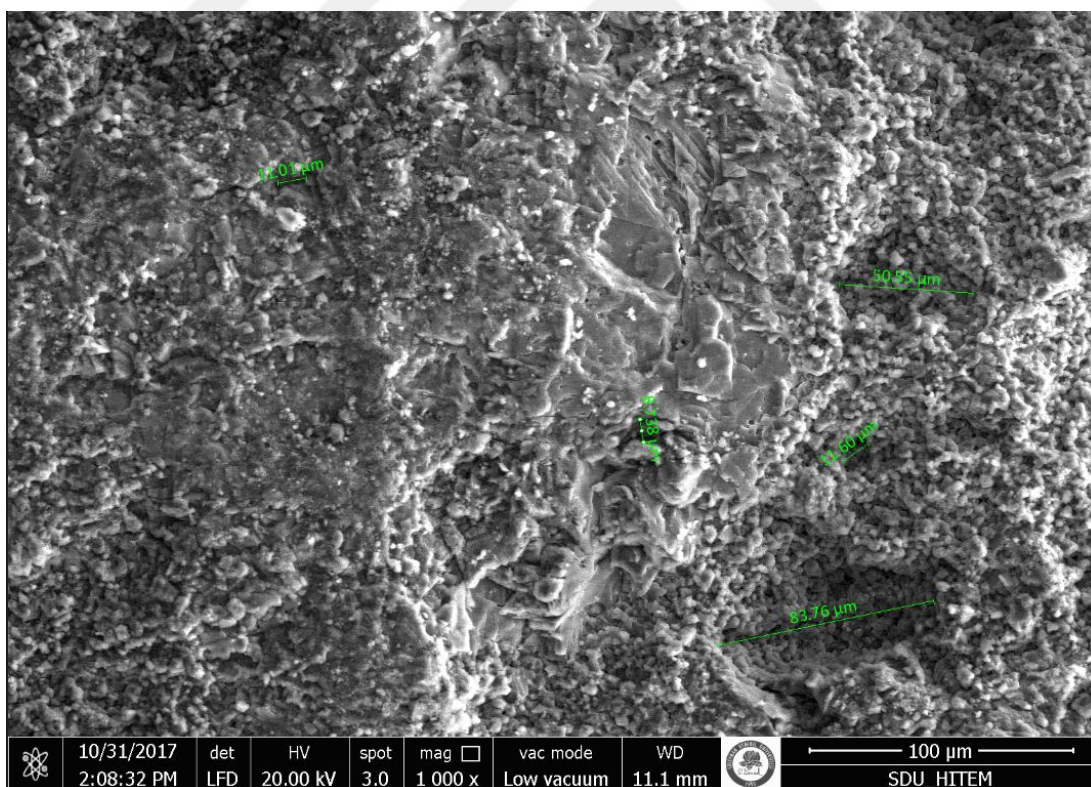


(c)

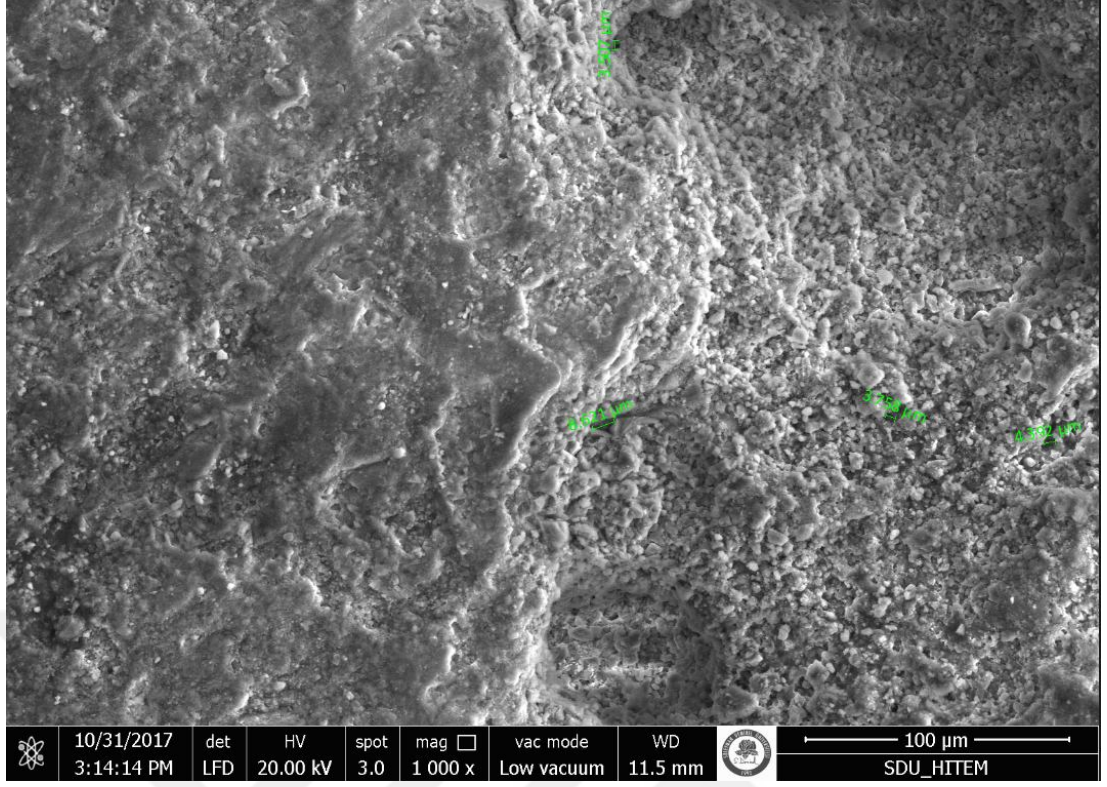
Şekil 4.17. Travertene ait SEM görüntüleri (orijinal (a), donma-çözülme (b), termal şok (c))



(a)

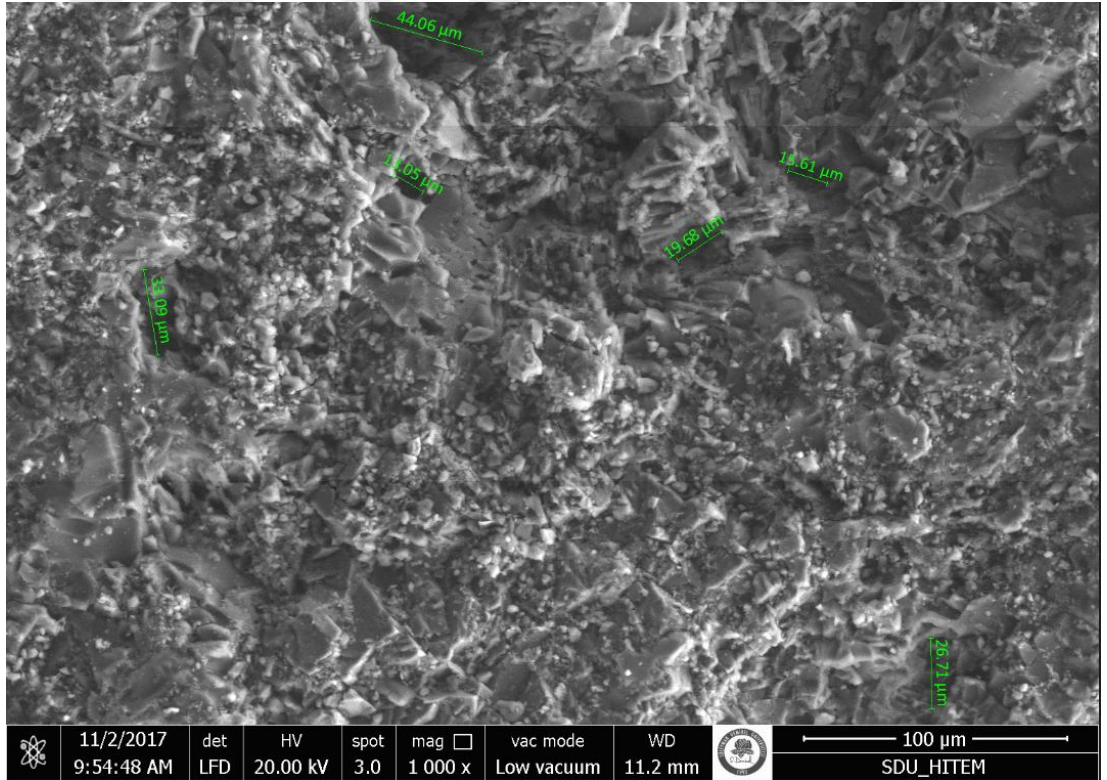


(b)

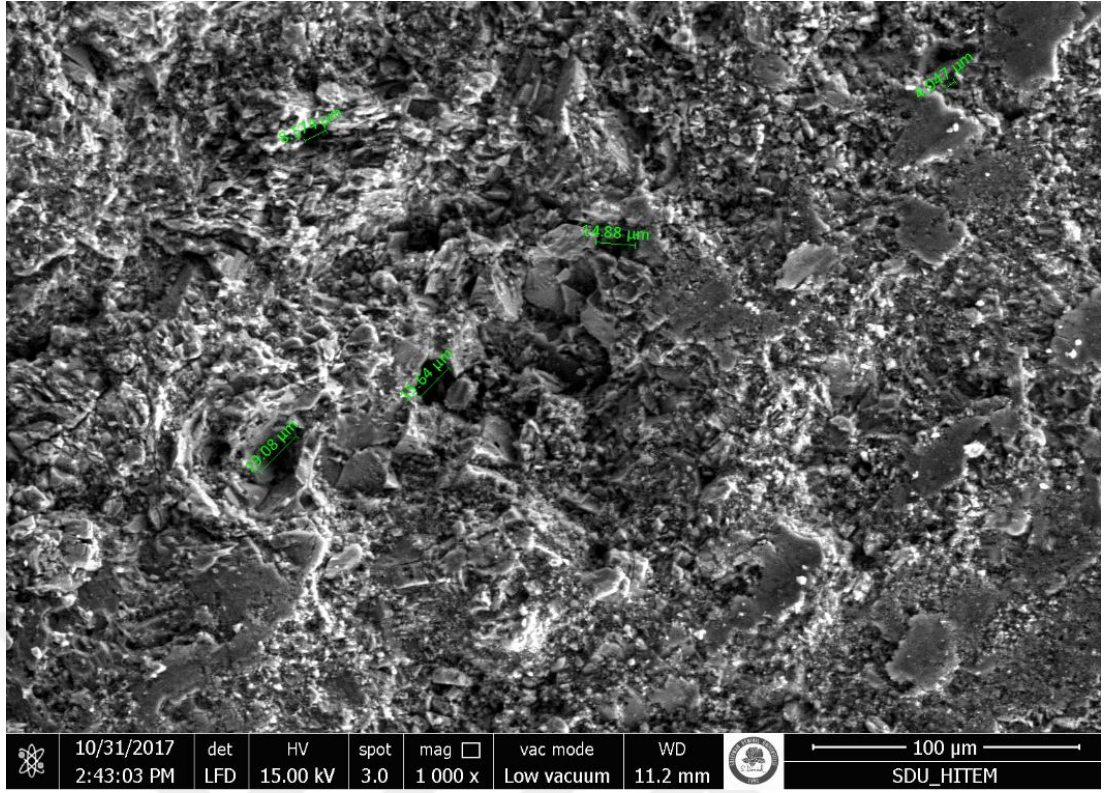


(c)

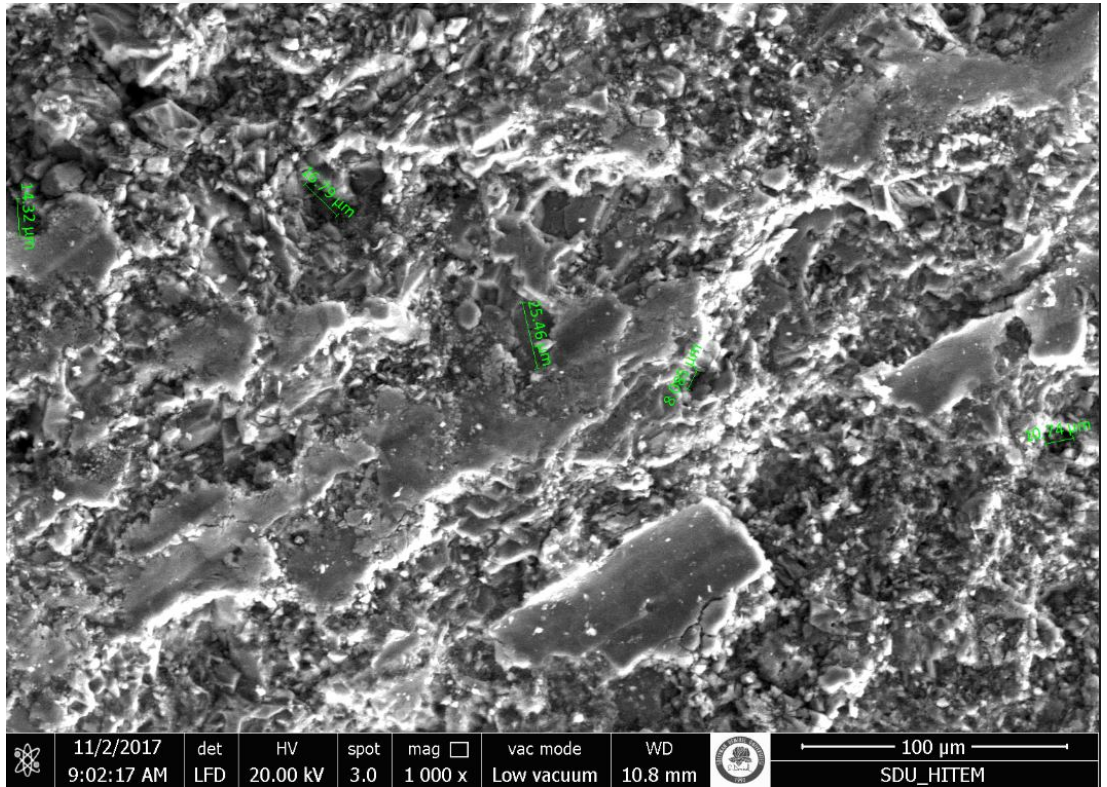
Şekil 4.18. Limraya ait SEM görüntüleri (orijinal (a), donma-çözülme (b), termal şok (c))



(a)

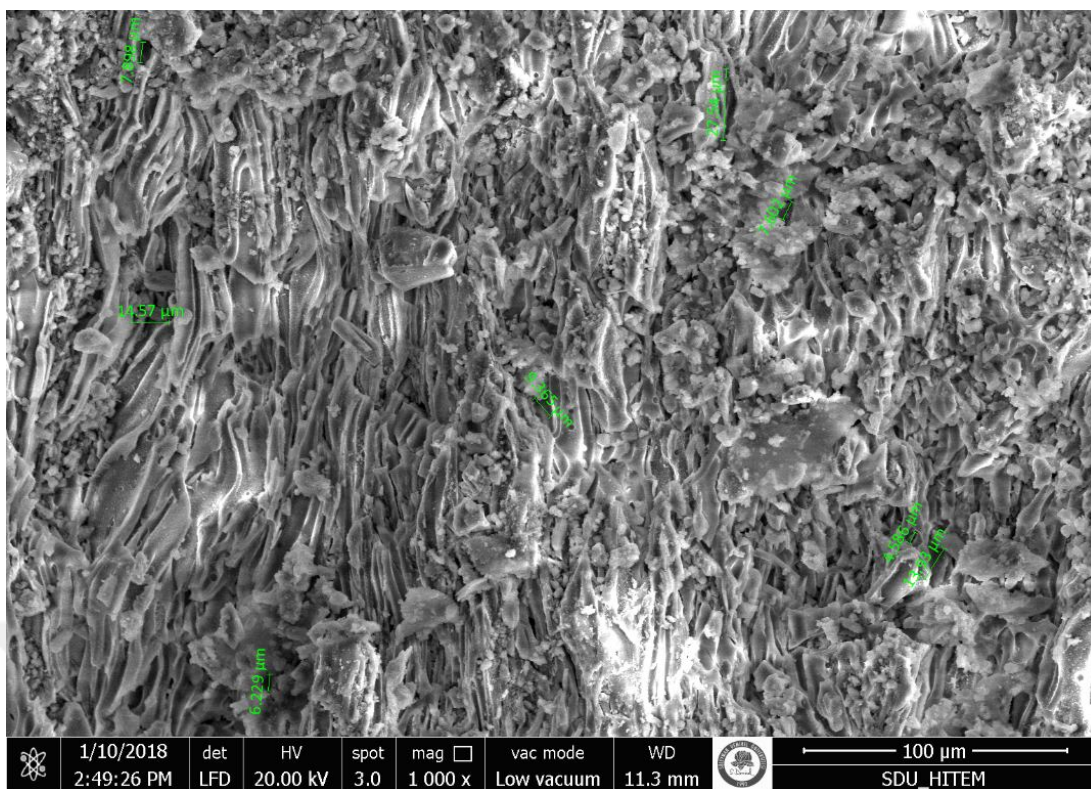


(b)

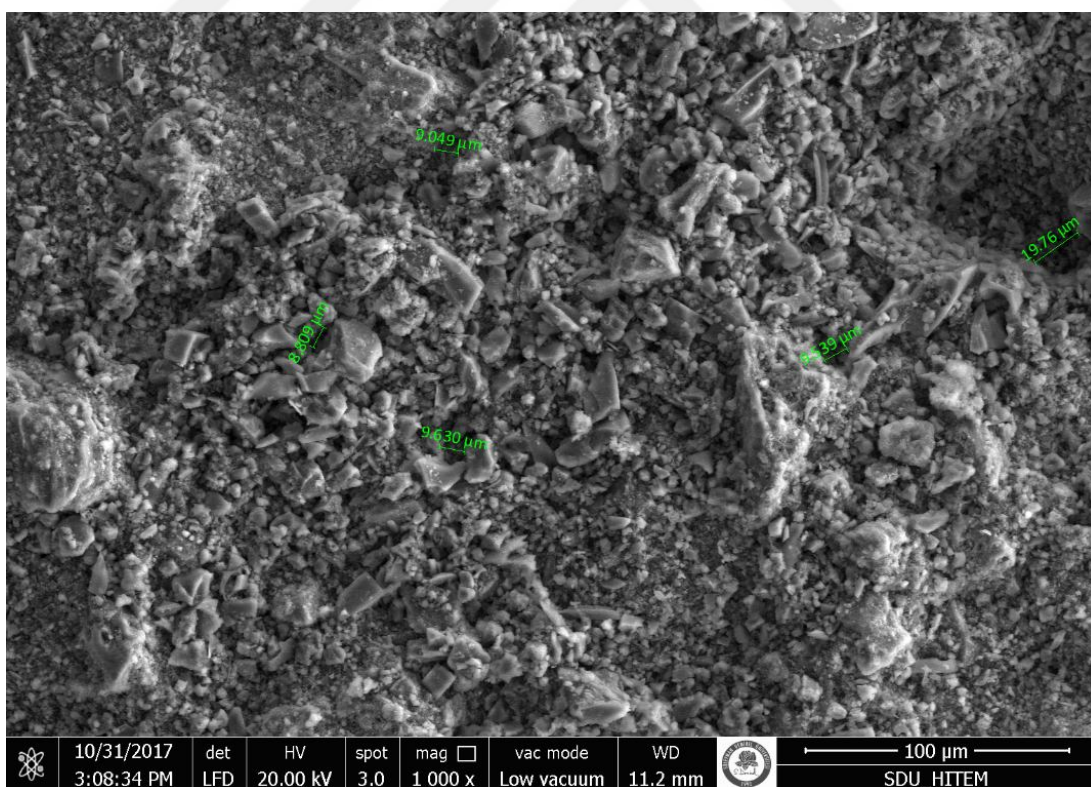


(c)

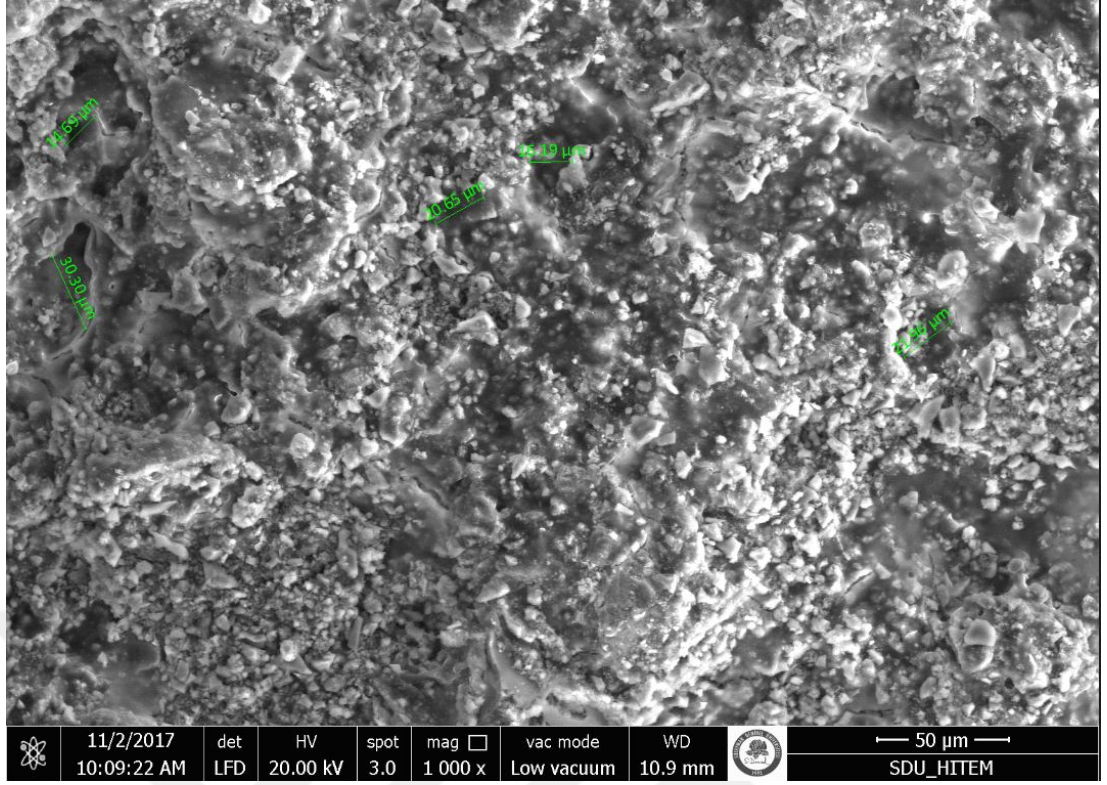
Şekil 4.19. Traki Andezite ait SEM görüntüleri (orijinal (a), donma-çözülme (b), termal şok (c))



(a)



(b)

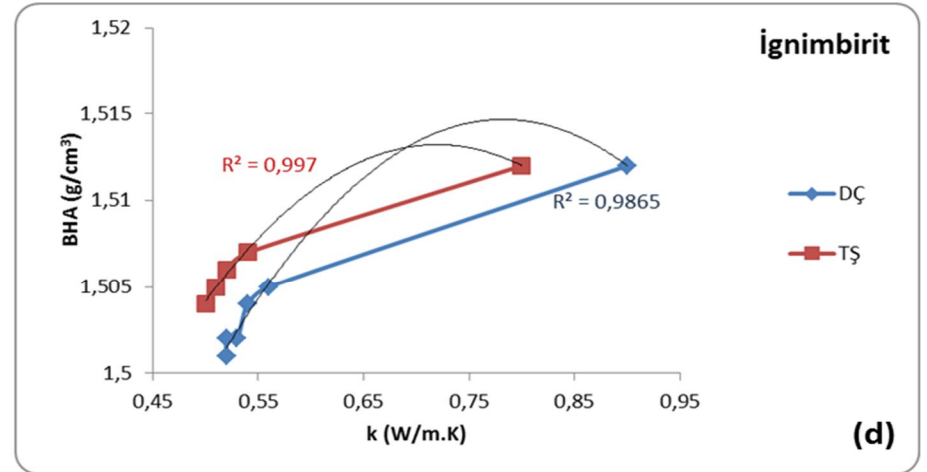
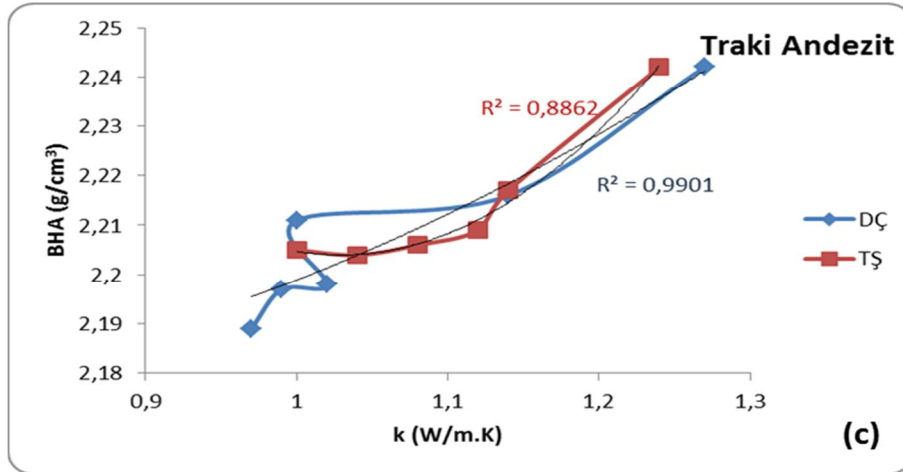
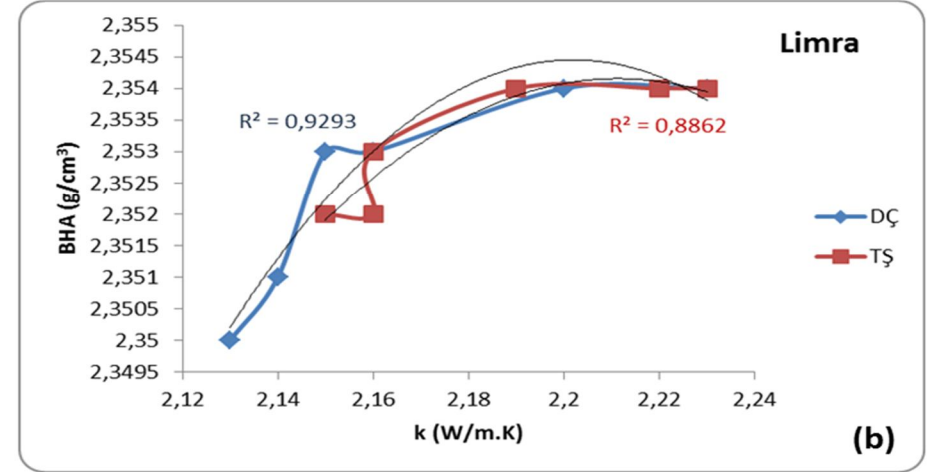
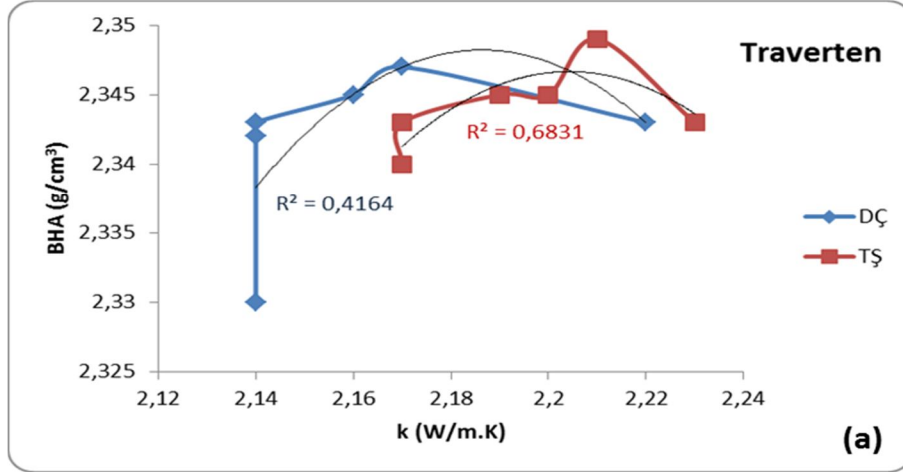


(c)

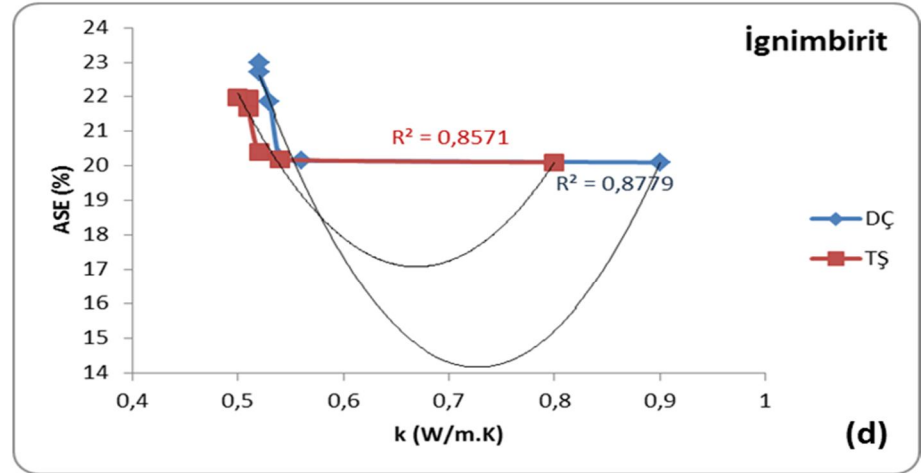
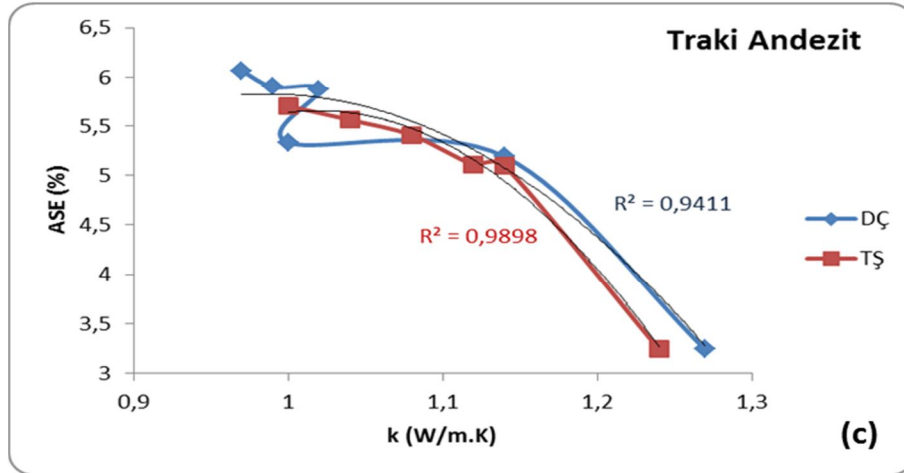
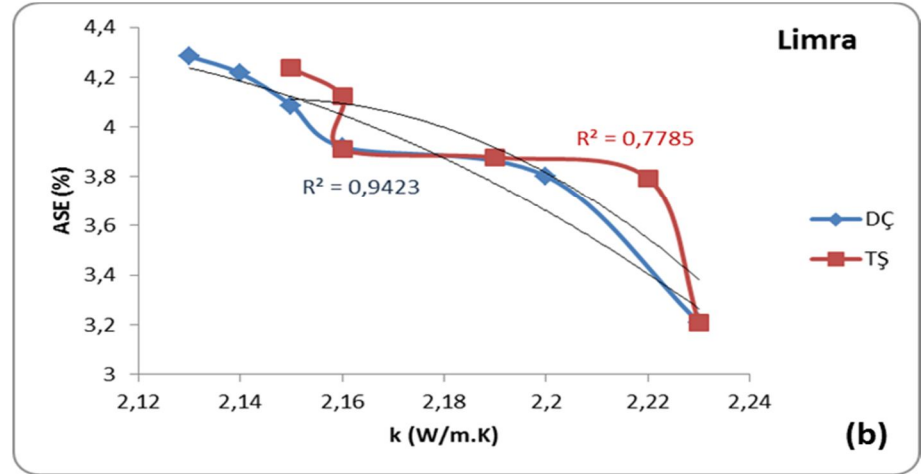
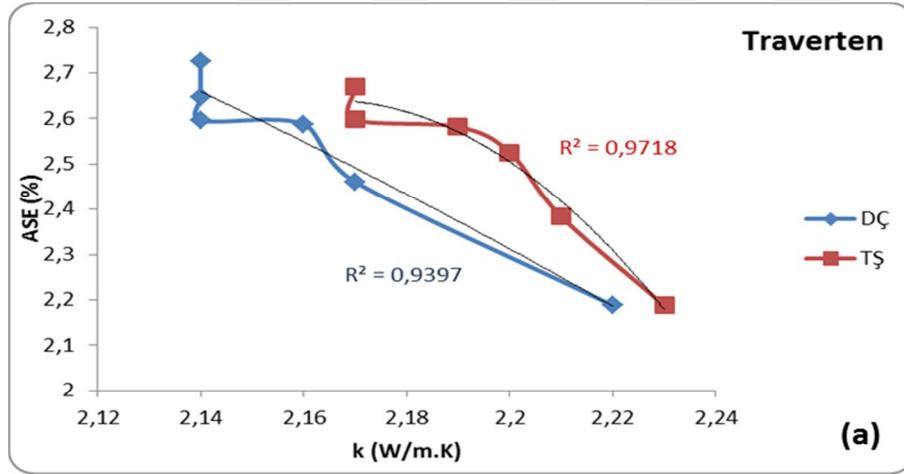
Şekil 4.20. İğnimbirite ait SEM görüntüleri (orijinal (a), donma-çözülme (b), termal şok (c))

4.11. Isı İletkenlik Katsayısı ile Fiziko-mekanik ve Isıl Parametreler Arasındaki İlişki

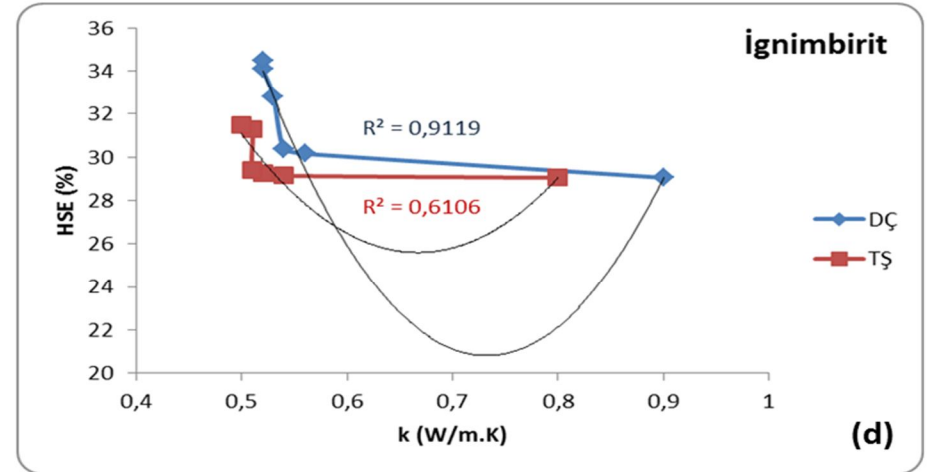
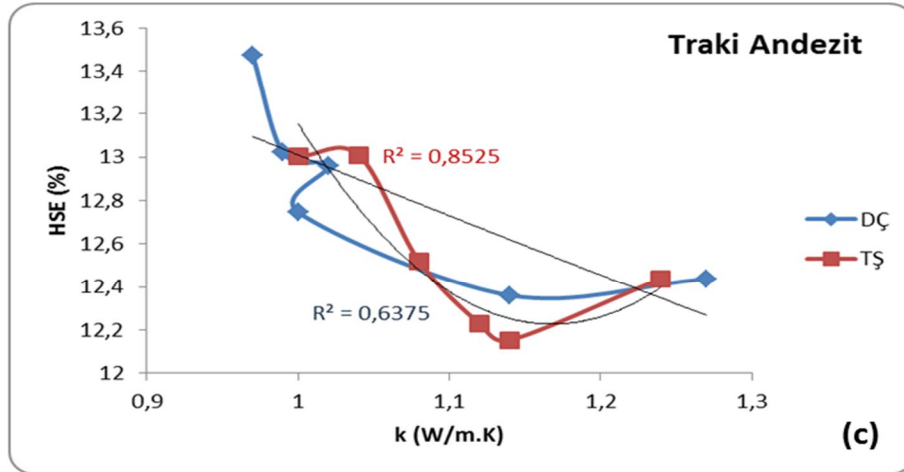
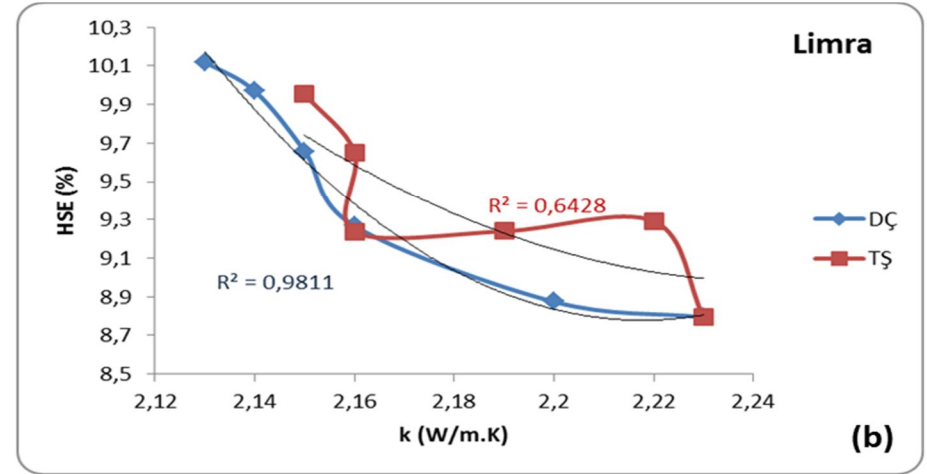
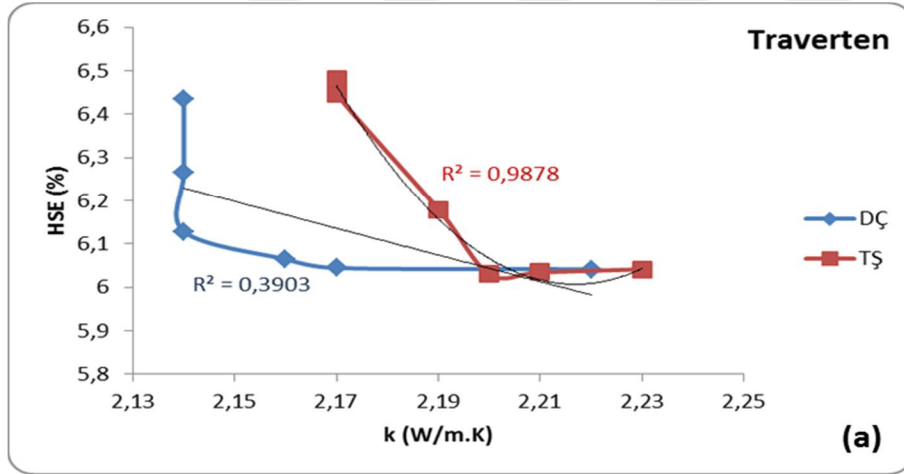
Tez çalışmasının bu kısmında ısı iletkenlik katsayısı ile diğer parametreler (birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, ultrasonik hız, nokta yük dayanım indeksi, özgül ısı kapasitesi ve BET yüzey alanı) arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir (Şekil 4.21-4.27). Elde edilen R^2 değerlerine göre bakıldığında deneylerin hemen hepsinde anlamlı ilişkiler olduğu, en yüksek R^2 değeri volkanik, en düşük R^2 değeri sedimanter kayalarda görülmüştür ve İnce (2013)'nin yaptığı çalışmayla desteklenmektedir. Kurulan ilişkilere göre donma-çözülme ve termal şok döngülerindeki çevrim sayısı ile orantılı olarak, ısısal değişimlerin etkisi ile bozunma derecesi arttıkça, numunelerin ısı iletkenlik değerleri azalmakta ve buna bağlı olarak da birim hacim ağırlık, P-dalga hızı, nokta yük dayanımı indeksi, özgül ısı kapasitesi değerleri azalırken, ağırlıkça ve hacimce su emme ve BET yüzey alanı değerleri artmaktadır.



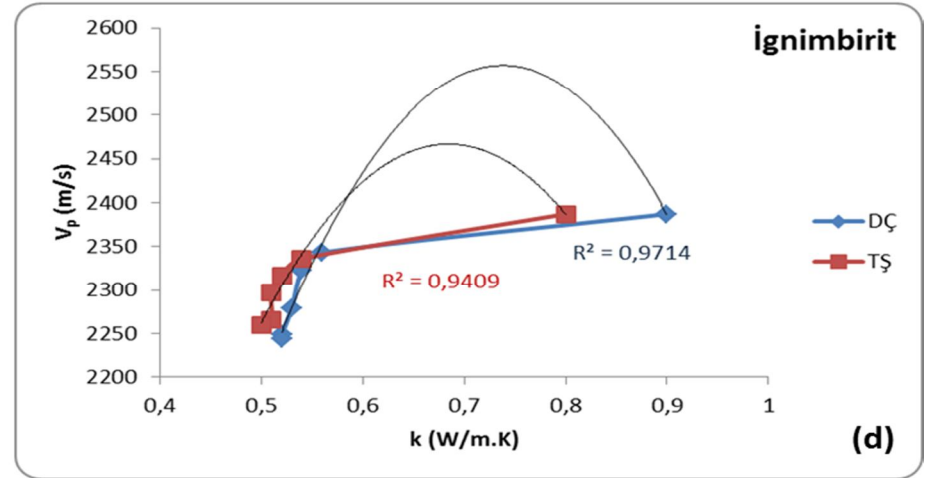
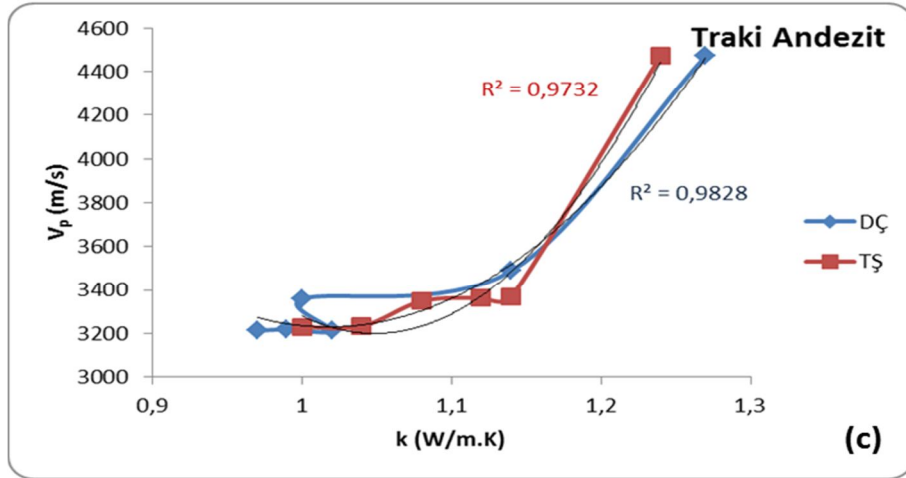
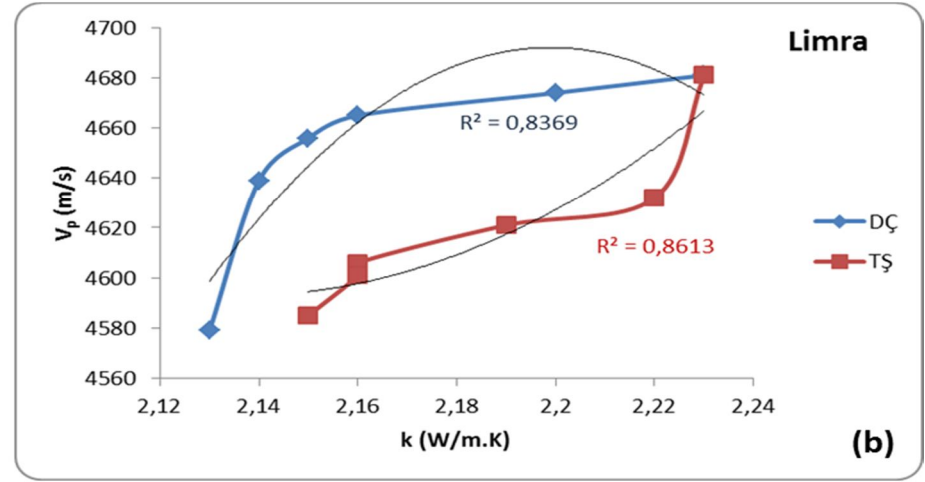
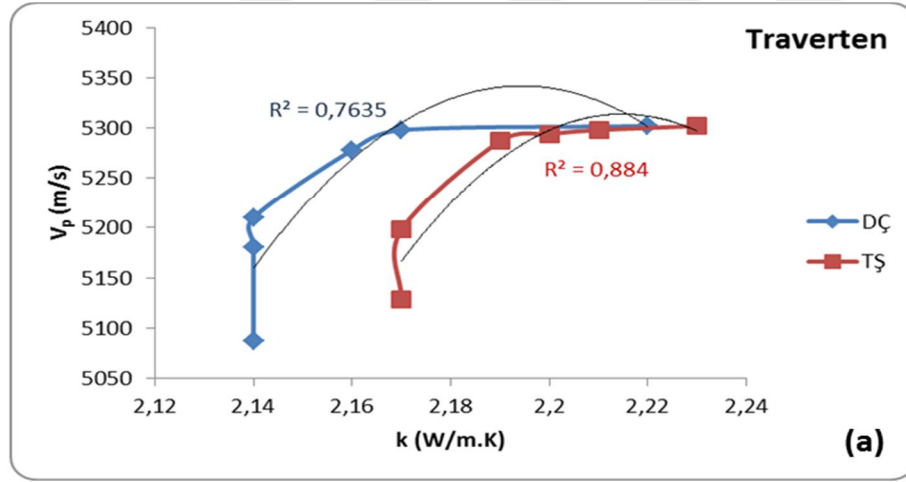
Şekil 4.21. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı (k) ve birim hacim ağırlık (BHA) arasındaki ilişki



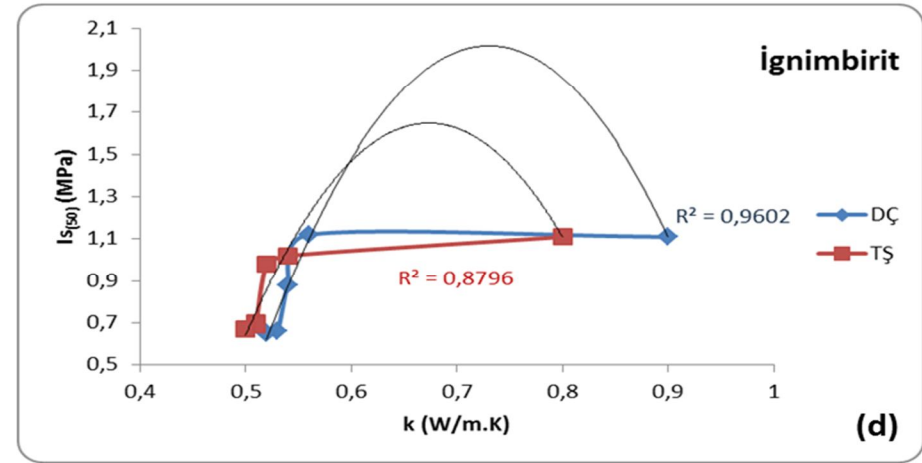
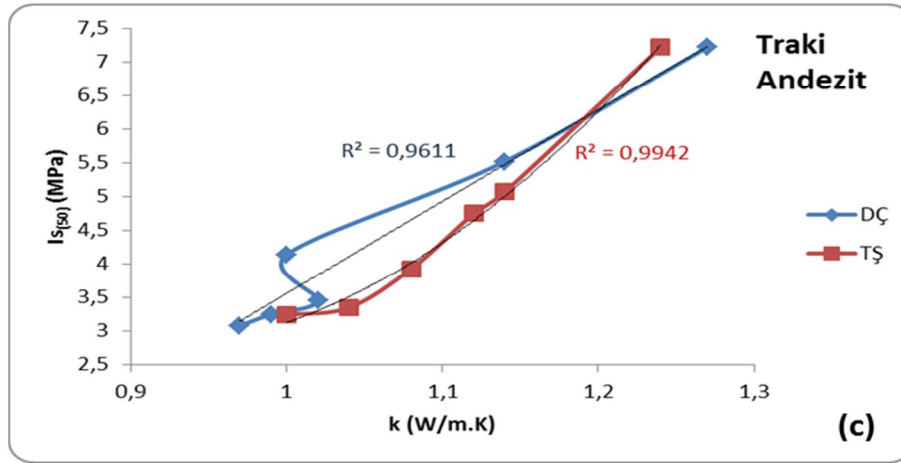
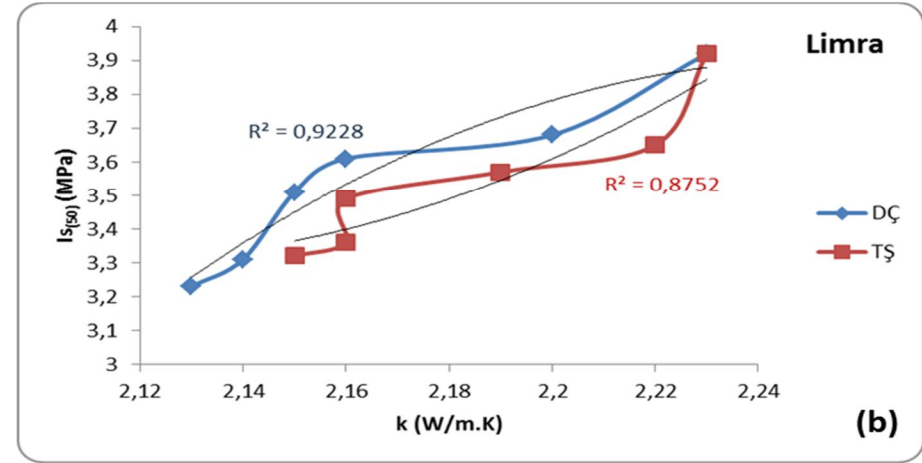
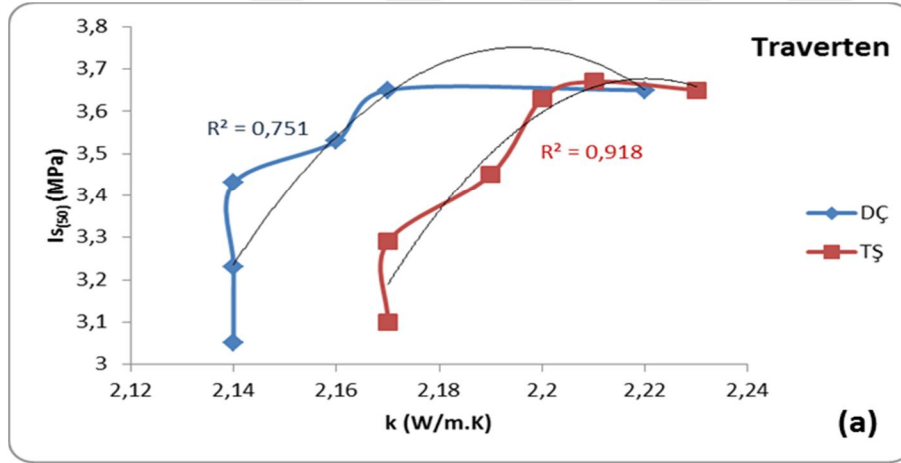
Şekil 4.22. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı (k) ve ağırlıkça su emme (ASE) arasındaki ilişki



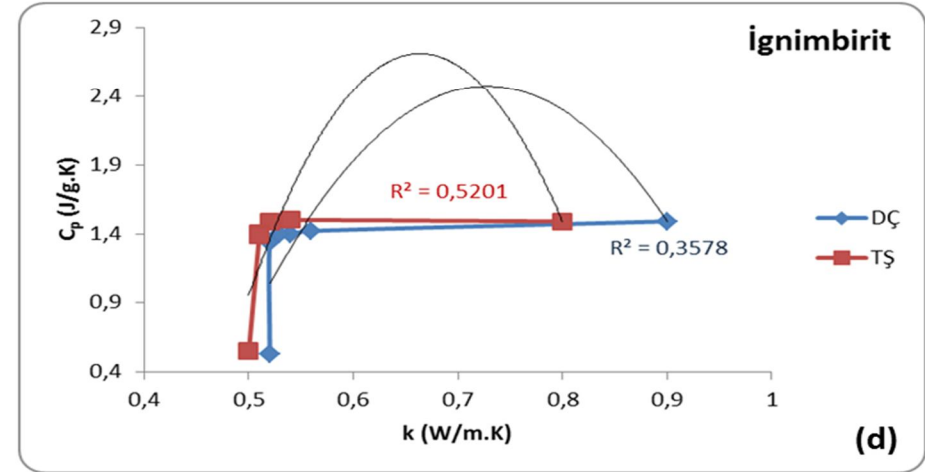
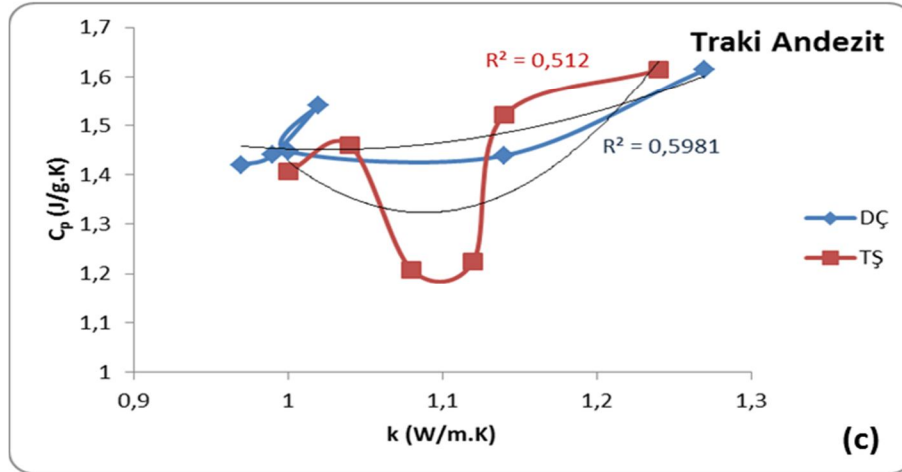
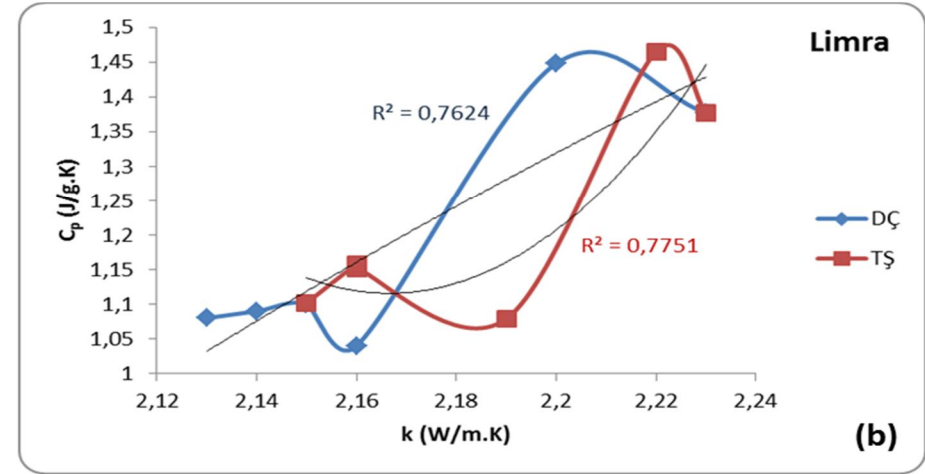
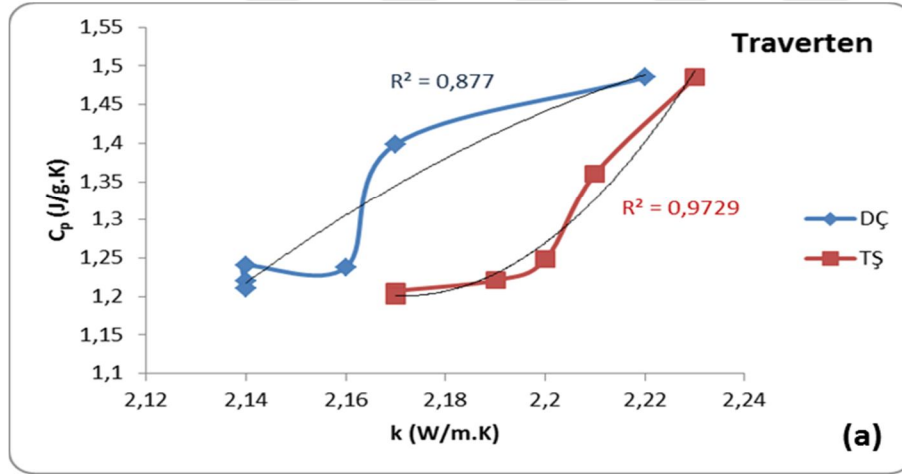
Şekil 4.23. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı (k) ve hacimce emme (HSE) arasındaki ilişki



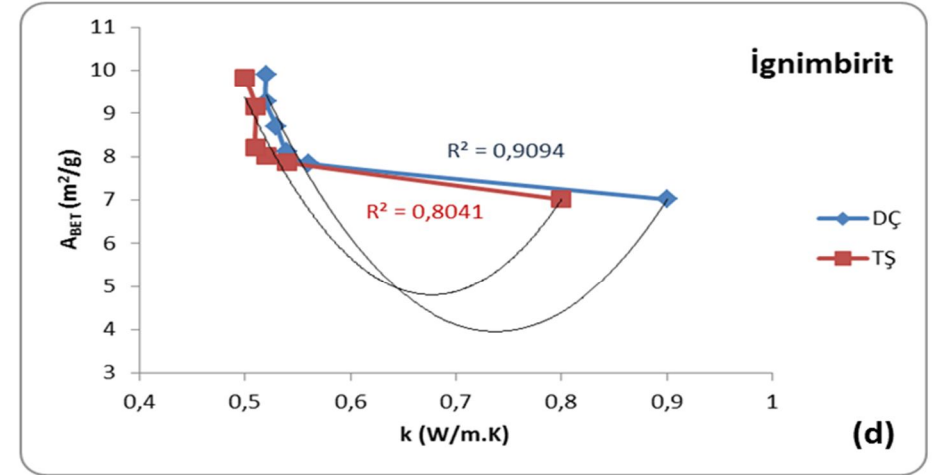
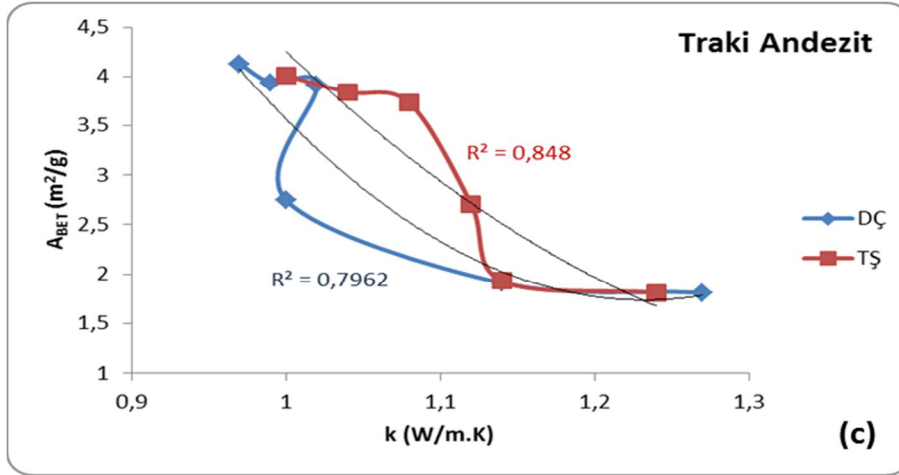
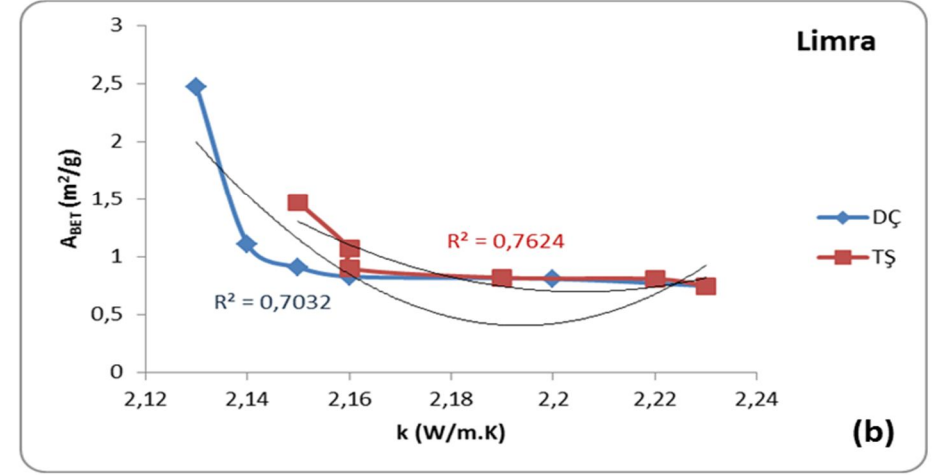
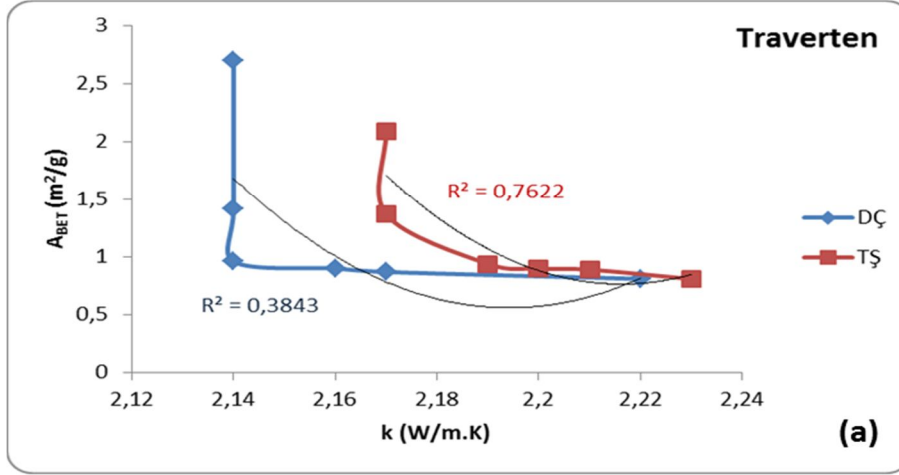
Şekil 4.24. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı (k) ve P-dalga hızı (V_p) arasındaki ilişki



Şekil 4.25. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı (k) ve nokta yük dayanım indeksi (IS₅₀) arasındaki ilişki



Şekil 4.26. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı (k) ve özgül ısı kapasitesi (C_p) arasındaki ilişki



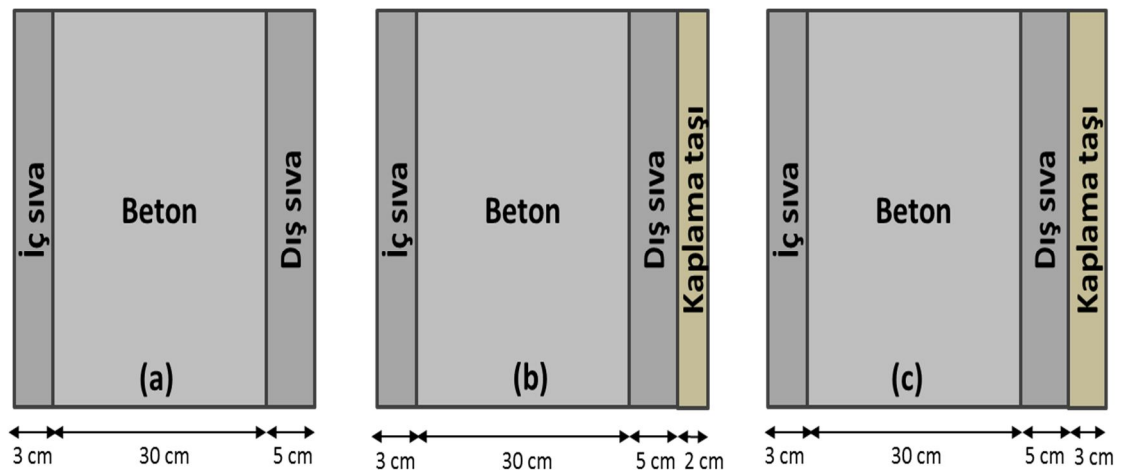
Şekil 4.27. Traverten (a), Limra (b), Traki Andezit (c) ve İğnimbirit (d) numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı (k) ve BET yüzey alanı (A_{BET}) arasındaki ilişki

4.12. Ekonomik Değerlendirme

Binaların yapı kabuğundan kaynaklanan ısı kayıplarında, dış ortam ile ilişkili olan duvarlar ve çatılar önemli rol oynamaktadır. Dolayısı ile duvar yapısı yalıtım uygulamaları, enerji kayıplarının azaltılması ve iç mekan konforunun sağlanmasında en etkili yöntemlerden biridir. Ayrıca enerjinin korunumu, yakıt tüketimini ve çevreye verilen emisyonları azaltmaktadır. Uygun duvar malzemesi ve yalıtım kalınlığı kullanımı ile ısı yalıtım sisteminin performansı artırılarak enerji verimliliği sağlanabilmektedir.

Doğal taşların kaplama taşı olarak kullanılması, binalarda hem ısı yalıtımı sağlamakta hem de binaya estetik bir güzellik kazandırmaktadır. Sıvayla kıyaslandığında daha uzun ömürlü olup, iklimsel değişikliklere karşı dayanımı daha yüksektir. Enerji tüketiminin sektörel dağılımında en büyük payı alan binalarda etkin ısı yalıtımı uygulamaları yapıldığı takdirde enerjide tasarruf sağlanacağı bir gerçektir.

Bu çalışmada, binalarda sadece beton duvar yerine, beton duvarın üzerine 2 cm ve 3 cm kalınlığında doğal taş kaplanması durumunda sağlanacak enerji tasarrufu Traverten, Limra, Traki Andezit ve İğnimbirit kayalar için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 4.28a, 4.28b, 4.28c).



Şekil 4.28. Hesaplamalarda kullanılmış olan duvar kesitleri a) Kaplama yapılmamış beton duvar, b) 2 cm kaplama yapılmış beton duvar, c) 3 cm kaplama yapılmış beton duvar

Duvarların ısı dirençlerinin hesaplanmasında TS 825'te verilen formüller ve değerler kullanılmıştır. Buna göre kaplama malzemesi uygulanmamış betonun toplam ısı direnç değeri aşağıdaki Eşitlik 4.1'den hesaplanmıştır.

$$R_B = \frac{L_i}{k_i} + \frac{L_b}{k_b} + \frac{L_d}{k_d} \quad (4.1)$$

Burada;

L_i , iç sıva kalınlığı (m)

k_i , iç sıvanın ısı iletkenlik değeri (W/mK)

L_b , betonun kalınlığı (m)

k_b , betonun ısı iletkenlik değeri (W/mK)

L_d , dış sıva kalınlığı (m)

k_d , dış sıvanın ısı iletkenlik değeri (W/mK)

R_B , betonun toplam ısı direnç değeri (m^2K/W)'dir.

Hesaplamalarda TS 825 standardına göre, iç ve dış sıvanın ısı iletkenlik değeri 1,60 W/mK, betonun ısı iletkenlik değeri ise 1,65 W/mK olarak alınmıştır. Buna göre değerler Eşitlik 4.1'de yerine yazılarak;

$$R_B = \frac{0,03}{1,60} + \frac{0,3}{1,65} + \frac{0,05}{1,60}$$

Betonun toplam ısı direnci 0,23 m^2K/W olarak bulunmuştur. Betonun toplam ısı geçiş katsayısı ise Eşitlik 4.2'den hesaplanmış ve 4,31 W/m^2K olarak bulunmuştur.

$$U_B = \frac{1}{R_B} \quad (4.2)$$

Burada;

R_B , betonun toplam ısı direnç değeri (m^2K/W)

U_B , Betonun toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)'dır.

Aynı eşitlik betonun üzerine kaplama malzemesi uygulandıktan sonra Eşitlik 4.3 kullanılarak, her kayaç için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$R_K = \frac{L_i}{k_i} + \frac{L_b}{k_b} + \frac{L_d}{k_d} + \frac{L_k}{k_k} \quad (4.3)$$

Burada;

L_i , iç sıva kalınlığı (m);

k_i , iç sıvanın ısı iletkenlik değeri (W/mK)

L_b , betonun kalınlığı (m)

k_b , betonun ısı iletkenlik değeri (W/mK)

L_d , dış sıva kalınlığı (m)

k_d , dış sıvanın ısı iletkenlik değeri (W/mK)

L_k , kaplama malzemesi kalınlığı (m)

k_k , kaplama malzemesinin ısı iletkenlik değeri (W/mK)

R_K , kaplama malzemesi uygulanmış betonun toplam ısıl direç değeri (m^2K/W)'dir.

Isıtma gün-dereceleri, 24 saatlik periyodun ne kadarının soğuk geçtiğini ölçmeye yarayan bir birimdir. Isıtma Gün Dereceleri (Heating Degree Days - HDD) Belirli bir zamanda (gün, ay, yıl) dış ortam ve oda sıcaklığını hesaba katarak soğğun şiddetini açıklar. Birçok ülke gün derecenin hesabı için farklı tanımlar kullanır. Karşılaştırılabilir ve ortak bir kullanım oluşturmak için Avrupa Birliği İstatistik Ofisi (Eurostat) HDD'nin hesabı için Eşitlik 4.4'teki metodu önermektedir (Gikas ve Keenan, 2006).

$$HDD = (18^{\circ}C - T_m) \times d \quad (4.4)$$

Burada;

T_m = Günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}C$),

d = Gün sayısıdır.

Eğer $T_m > 15^{\circ}C$ (ısıtma eşiği) ise HDD, 0'dır. Hesaplamalar günlük bazda yapılarak, daha sonra aylık ve yıllık gün derece toplamaları bulunmaktadır..

Bir iklimin sertliği derece-gün cinsinden hassasiyetle karakterize edilebildiğinden, derece gün yöntemi ile bir binanın ısıtma veya soğutma enerji ihtiyacını belirlemek mümkündür. Farklı bölgelerdeki farklı iklim koşulları

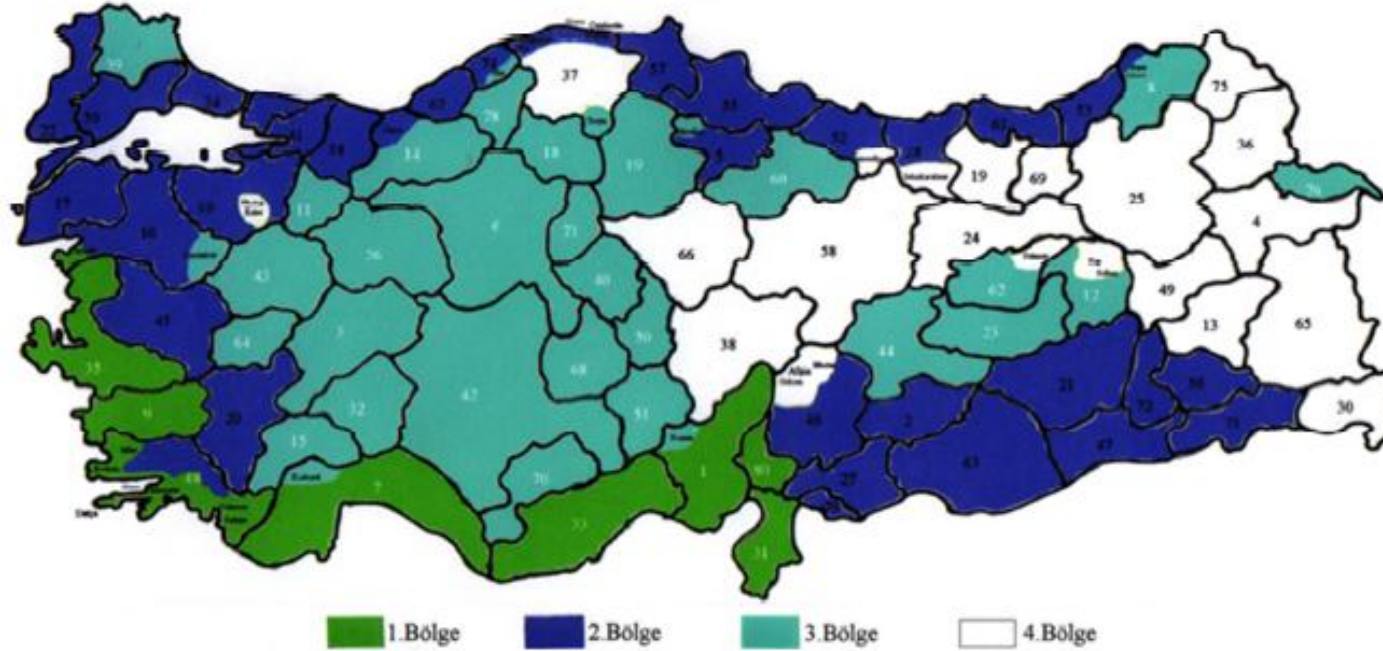
ısıtma veya soğutma enerjisi ihtiyacını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Tüm dünyada özellikle ısıtma ve ısı yalıtımı uygulamaları için derece-gün sayıları kullanılarak coğrafik bölgelerden farklı olarak derece-gün bölgeleri tespit edilmektedir (Bulut vd., 2007).

Günümüzde binalarda enerji analizi için karmaşık ve gelişmiş yöntemler mevcut olmasına rağmen en basit enerji tahmin tekniklerinden olan derece-gün yöntemi önemini korumaktadır. Derece-gün yönteminde bir binanın enerji ihtiyacı temelde, binanın iç ortam sıcaklığı ile ilgili denge noktası sıcaklığı ve binanın bulunduğu yerin dış hava sıcaklığı arasındaki fark ile doğru orantılıdır. Eğer binanın iç ortam sıcaklığı ve iç ısı kazançları sabit ise derece-gün yöntemlerinden elde edilen değerlerle, binanın ısıtma veya soğutma ihtiyacı için gerekli enerji iyi bir hassasiyetle tahmin edilebilir (Büyükalaca vd., 2000; 2001).

Çizelge 4.18'de TS 825 - Binalarda ısı yalıtım kuralları standardına göre ısıtma derece-gün bölgeleri verilmektedir. Isıtma derece-gün bölgelerine göre Isparta ili III. Bölgede yer almaktadır. Isıtma Derece-gün bölgelerine göre illerimiz Şekil 4.29'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.18. Isıtma derece-gün bölgeleri (TS 825)

Bölge	TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı
I	Adana, Antalya, Aydın, Hatay, İzmir, Mersin, Osmaniye
II	Adapazarı, Adıyaman, Amasya, Balıkesir, Bartın, Batman, Bursa, Çanakkale, Denizli, Diyarbakır, Düzce, Edirne, Gaziantep, Giresun, İstanbul, Kahramanmaraş, Kilis, Kocaeli, Manisa, Mardin, Muğla, Ordu, Rize, Samsun, Siirt, Sinop, Şanlıurfa, Şırnak, Tekirdağ, Trabzon, Yalova, Zonguldak
III	Afyon, Aksaray, Ankara, Artvin, Bilecik, Bingöl, Bolu, Burdur, Çankırı, Çorum, Elazığ, Eskişehir, Iğdır, Isparta, Karabük, Karaman, Kırıkkale, Kırklareli, Kırşehir, Konya, Kütahya, Malatya, Nevşehir, Niğde, Tokat, Tunceli, Uşak
IV	Ağrı, Ardahan, Bayburt, Bitlis, Erzincan, Erzurum, Gümüşhane, Hakkari, Kars, Kastamonu, Kayseri, Muş, Sivas, Van, Yozgat



01- ADANA	10- BALIKESİR	19- ÇORUM	28- GİRESUN	37- KASTAMONU	46- K. MARAŞ	66- SAMSUN	84- UŞAK	73- SİRNAK
02- ADIYAMAN	11- BİLEÇİK	20- DENİZLİ	29- GÜMÜŞHANE	38- KAYSERİ	47- MARDİN	68- SİİRT	85- VAN	74- BARTIN
03- AFYON	12- BİNGÖL	21- DİYARBAKIR	30- HAKKARİ	39- KIRKLARELİ	48- MUĞLA	67- SİNOP	86- YOZGAT	75- ARDAHAN
04- AĞRI	13- BİTLİS	22- EDİRNE	31- HATAY	40- KIRŞEHİR	49- MUŞ	68- SİVAS	87- ZONGULDAK	76- IĞDIR
05- AMAŞYA	14- BOLU	23- ELAZIĞ	32- İSPARTA	41- KOCAELİ	50- NEVŞEHİR	69- TEKİRDAĞ	88- AKŞARAY	77- YALOVA
06- ANKARA	15- BURDUR	24- ERZİNCAN	33- İÇEL	42- KONYA	51- NİĞDE	80- TOKAT	89- BAYBURT	78- KARABÜK
07- ANTALYA	16- BURSA	25- ERZURUM	34- İSTANBUL	43- KÜTAHYA	52- ORDU	81- TRABZON	70- KARAMAN	79- KİLİS
08- ARTVİN	17- ÇANAKKALE	26- ESKİŞEHİR	35- İZMİR	44- MALATYA	53- RİZE	82- TUNCELİ	71- KIRIKKALE	80- OSMANİYE
09- AYDIN	18- ÇANKIRI	27- GAZİANTEP	36- KARŞ	45- MANİSA	54- SAKARYA	83- ŞANLIURFA	72- BATMAN	81- DÜZCE

Şekil 4.29. İllere göre derece-gün bölgeleri (TS 825)

Isparta ilinin III. Derece-gün bölgesinde olduğu belirlendikten sonra, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 2007-2017 yıllarına ait ısıtma derece gün değerleri alınmıştır. Buna göre hesaplamalarda Çizelge 4.19'da verilen 10 yıllık ısıtma derece gün değerleri baz alınmış ve Isparta ili için ortalama ısıtma derece gün değeri (HDD) 2387 °C.gün olarak belirlenmiştir. (www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx).

Çizelge 4.19. 10 yıllık ısıtma derece gün (HDD) değerleri (°C.gün)

Yıl	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Derece-Gün Sayısı	2418	2393	2281	2005	2675	2524	2413	2283	2420	2320	2527

Duvarın birim yüzeyinde meydana gelen yıllık ısı kaybı hesaplanırken Eşitlik 4.5 kullanılmaktadır. Bu eşitliğe göre beton duvarın yıllık ısı kaybı Isparta ili için 889.648.941 J/m².yıl olarak bulunmuştur.

$$q_A = 86.400 \times HDD \times U \quad (4.5)$$

Burada;

HDD, ısıtma derece-gün değeri

U, ısı geçiş katsayısı (R⁻¹)

q_A, yıllık ısı kaybını (J/m²Yıl) ifade etmektedir.

Eşitlik 4.2-4.3-4.5 kullanılarak bütün numuneler için, çevrimlerden önce ve sonra olmak üzere ısı direnç (R_K), ısı geçiş katsayısı (U) ve yıllık ısı kaybı (q_A) değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.20'de verilmiştir. Piyasada 2 cm'lik ve 3 cm'lik plaka şeklinde ürünler olduğu için, hesaplamalarda bu kalınlık değerleri kullanılmıştır. Hesaplanan verilere göre; donma-çözülme ve termal şok döngüleri olmadığı varsayılarak, beton duvar ile doğal taş kaplama yapılmış duvar arasındaki ilişki değerlendirilecek olursa, hem 2 cm kaplama kalınlığı şartlarında hemde 3 cm kaplama kalınlığı şartlarında, en fazla ısı kaybı azalması İğnimbirite görülmektedir. Bu yüzdesel oranlar 2 cm kaplama kalınlığı için; Traverten ve Limrada %4, Traki Andezitte %6, İğnimbirite %9; 3 cm kaplama kalınlığı için ise Traverten ve Limrada %5,5,

Traki Andezitte %9, İğnimbiritte % 13 olarak belirlenmiştir. Yani elde edilen sonuçlara göre, beton duvarın üzerine 3 cm'lik İğnimbirit kayacı kaplaması yapıldığı takdirde, sadece beton duvara kıyasla %13 ısı kaybı azalması olacağı tespit edilmiştir.

Elde edilmiş olan veriler donma-çözülme (D-Ç) ve termal şok (T-Ş) çevrimlerinden sonra olmak koşulu ile kaplama elemanı yapılmamış beton duvarın sonuçları ile kıyaslandığında ise, 2 cm kaplama kalınlığı şartlarında ısı kaybı azalmasının en yüksek İğnimbiritte (~%14) ve Traki Andezitte (~%8) olduğu belirlenmiştir. 3 cm doğaltaş kaplaması yapıldığı takdirde, donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden sonraki değerlere göre yine ısı kaybı azalmasının en yüksek olduğu kayaç İğnimbirit (~%12) ve Traki Andezit (~%20) kayalarındadır. Yani 3 cm İğnimbirit kaplanmış duvar için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, İğnimbiritin bozunmadan kaynaklı daha geçirgen bir yapı kazanması ve ısı iletkenlik katsayısındaki azalma sebebiyle, yaklaşık %20 oranında ısı kaybını önlediği ve tasarruf sağladığı belirlenmiştir. Donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinin hangisinin daha etkili olduğuna bakılacak olursa, ısı kaybı azalması açısından çok belirgin farklılıklar gözlemlenememiştir.

Çizelge 4.20. Donma-çözülme ve termal şok deneyleri için ısı parametrelerindeki değişim

Kaplama Kalınlığı	Numune	Donma-Çözülme/Termal Şok Deneyleri Öncesi			125 Çevrim Donma-Çözülme Deneyleri Sonrası			125 Çevrim Termal Şok Deneyleri Sonrası		
		R_K (m ² K/W)	U (W/m ² K)	q_A (J/m ² Yıl)	R_K (m ² K/W)	U (W/m ² K)	q_A (J/m ² Yıl)	R_K (m ² K/W)	U (W/m ² K)	q_A (J/m ² Yıl)
2 cm	Beton+Traverten	0,24	4,15	856.368.416	0,24	4,15	855.172.498	0,24	4,15	855.630.906
	Beton+Limra	0,24	4,15	856.512.098	0,24	4,15	855.016.938	0,24	4,15	855.326.667
	Beton+T. Andezit	0,25	4,04	833.057.133	0,25	3,96	816.984.094	0,25	3,97	818.990.903
	Beton+İgnimbirit	0,25	3,94	811.826.767	0,27	3,70	763.049.480	0,27	3,68	758.730.702
3 cm	Beton+Traverten	0,25	4,08	840.644.743	0,25	4,07	838.917.275	0,25	4,07	839.579.162
	Beton+Limra	0,25	4,08	840.852.440	0,25	4,07	838.692.740	0,25	4,07	839.139.840
	Beton+T. Andezit	0,26	3,91	807.377.917	0,26	3,81	784.928.360	0,26	3,82	787.710.000
	Beton+İgnimbirit	0,27	3,77	777.807.360	0,29	3,45	712.363.826	0,29	3,43	706.730.467

Yıllık ısı kaybı azalmasını birim fiyat (\$) bazında değerlendirmek için, Eşitlik 4.6'dan yararlanılmış ve kaplama yapılmamış beton duvar ile donma-çözülme/termal şok çevrimlerine girmemiş 2 cm ve 3 cm kaplama taşı uygulanmış beton duvarın sonuçları Çizelge 4.21'de verilmiştir. Dolar fiyatı 31.05.2018 kuru kullanılarak 4.5 TL ve kwh fiyatı ise 0,461 TL olarak alınmıştır (<https://gazelektrik.com/enerji-piyasaları/elektrik-fiyatları>).

$$q_{AD} = \left(\frac{\frac{q_A}{3600000} \times 0,461}{4,5} \right) \quad (4.6)$$

Burada;

q_A , Yıllık ısı kaybı (J/m²Yıl)

q_{AD} , Yıllık ısı kaybı (\$/m²Yıl)'dır.

100 m²'lik bir yapı için yıllık dolar bazındaki ısı tasarrufunu hesaplamak için, Eşitlik 4.7'den yararlanılmış ve sonuçlar Çizelge 4.21'de verilmiştir.

$$\phi = 100 (m^2) \times q_{AD} \text{Değişim} \quad (4.7)$$

Burada;

ϕ , Yıllık ısı tasarrufu (\$/Yıl)

$q_{AD} \text{Değişim}$, Kaplama yapılmış beton duvar ile kaplama yapılmamış beton duvar arasındaki fark (\$/m²Yıl)'tır.

Çizelge 4.21. Donma-çözülme ve termal şok deneyleri için yıllık ısı tasarrufu değerlendirme sonuçları

Kaplama Kalınlığı	Numune	q_A (J/m ² Yıl)	q_{AD} (\$/m ² Yıl)	q_{AD} Değişim	Beton X Beton+Kaplama	Beton X 125 DÇ- Beton+Kaplama	Beton X 125 TŞ- Kaplama
					Φ (\$/Yıl)	Φ (\$/Yıl)	Φ (\$/Yıl)
2 cm	Sadece Beton	889.648.941	25,32	-	-	-	-
	Beton+Traverten	856.368.416	24,37	0,95	95	98	97
	Beton+Limra	856.512.098	24,37	0,94	94	98	98
	Beton+T. Andezit	833.057.133	23,71	1,61	161	207	201
	Beton+İgnimbirit	811.826.767	23,10	2,21	221	360	372
3 cm	Sadece Beton	889.648.941	25,32	-	-	-	-
	Beton+Traverten	840.644.743	23,92	1,39	139	144	142
	Beton+Limra	840.852.440	23,93	1,39	139	145	144
	Beton+T. Andezit	807.377.917	22,98	2,34	234	298	290
	Beton+İgnimbirit	777.807.360	22,13	3,18	318	504	520

Üretici firmalardan tez çalışmasında kullanılan numunelere ait 2 cm ve 3 cm'lik plakalar için birim fiyatlar alınarak, amortisman süreleri belirlenmiştir. 100 m²'lik bir yapı için, çevrimlerden önce ve sonra olmak üzere tüm kayalara ait amortisman süreleri Eşitlik 4.8'den yararlanılarak hesaplanmış ve buna göre hem 2 cm hemde 3 cm'lik kaplama yapılması durumunda kendini en kısa sürede amorti eden kayaç grupları, İgnimbirit ve Traki Andezit olarak belirlenmiştir. 2 cm'lik kaplama yapılması durumunda İgnimbiritin 2,5 yılda, Traki Andezitin ise 6 yılda; 3 cm'lik kaplama yapılması durumunda İgnimbiritin 2 yılda, Traki Andezitin ise 4 yılda kendini amorti ettiği hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.22'de verilmektedir.

$$\text{Amortisman Süresi} = \frac{100 \times \text{Birim Fiyat}}{\Phi} \quad (4.8)$$

Burada;

Amortisman süresi, Yıl

Birim fiyat, \$/m²

Φ , Yıllık ısı tasarrufu (\$/Yıl)'dur.

Çizelge 4.22. 2 cm ve 3 cm kaplama yapılmış 100 m² bir yapıya ait yıllık amortisman değerleri

Kaplama Kalınlığı	Numune	m ² Fiyatı (\$)	D-Ç/T-Ş Deneyleri Öncesi
			Amortisman Süresi (Yıl)
2 cm	Beton+Traverten	33	34,8
	Beton+Limra	30	31,8
	Beton+T. Andezit	9,2	5,7
	Beton+İgnimbirit	5,5	2,5
3 cm	Beton+Traverten	42,9	30,8
	Beton+Limra	39	28,1
	Beton+T. Andezit	10	4,3
	Beton+İgnimbirit	7,2	2,3

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında kullanılan doğal taşların uzun süreli kullanımda atmosferik şartlardan (donma-çözülme ve termal şok çevrimleri) etkilenme dereceleri ile bazı termofiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla, periyod sayılarına bağlı olarak birim hacim ağırlığı, su emme ve gözeneklilik özellikleri, BET'e özgü iç yüzey alanı, P-dalga hızı, kolorimetrik ölçümler, su buharı iletim hızı, Knoop sertlik değeri, nokta yük indeksi, ısı iletkenlik, ısı direnç ve özgül ısı kapasitesi değerlerinin elde edildiği deneyler yapılmıştır. Parametrelerde elde edilen değişimler incelenerek, malzemelerin yalıtım amaçlı kaplama malzemesi olarak kullanımında enerji tasarrufuna olan etkisi belirlenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır. Traverten, Limra, Traki Andezit ve İgnimbirit olmak üzere dört farklı doğal taş çeşidi (iki karbonat ve iki magmatik kayaç), bazı içsel özelliklerinde meydana gelen değişiklikler ile bozunma özelliklerini incelemek için donma-çözülme ve termal şok döngülerine tabi tutulmuştur. Her bir kaya örneğinin karakterizasyonu, donma-çözülme ve termal şok testlerinden önce ve sonra gerçekleştirilmiştir. Kaya karakterizasyonu için hem fiziko-mekanik hem de termal özelliklere odaklanılmıştır. Isısal çevrimlerin kayacın içyapısında bozunmaya sebep olduğunu göstermek için ek olarak, kayaç örneklerine ait SEM görüntüleri çekilmiştir.

- Yapılmış olan deney ve analizlerde belirtilen standart ve ölçüm değerlerine göre, deneylerde kullanılmış olan tüm doğal taşlar için ısıl değişimlerden kaynaklı olarak birim hacim ağırlık ve su emme, gözeneklilik, BET yüzey alanı, renk özellikleri, Knoop sertlik değeri, nokta yük dayanımı, sismik hız, termal özellikler (ısı iletkenlik, ısı direnç, özgül ısı kapasitesi) ve su buharı aktarım değerlerinde anlamlı değişimler gözlenmiştir.
- Kayaçların ısı iletkenlik katsayısı, molekül ve gözenek yapısı ile gözeneklilik oranının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Belli bir gözeneklilik oranına sahip kayaçlarda, gözenek duvar kalınlığı etken

bir faktör olup, gözenek yarıçapı ne kadar küçük ise ısı iletkenlik katsayısı da o kadar düşüktür. Isıl direnç, ısı geçişini azaltmada ısı yalıtım yeteneğinin bir ölçüsüdür. Yüksek ısıl dirençli (düşük ısı iletim katsayılı) malzemeler etkin birer yalıtıkandır. Donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden sonra, ısı iletkenlik katsayısında en çok değişim gösteren kayaç türü, donma-çözülme için %42, termal şok için ise %38'lik bir düşüşle İgnimbirittir. Isıl dirençteki en fazla artış ise donma-çözülme sürecinde %75, termal şok sürecinde %60 olmak üzere İgnimbiritte elde edilmiştir.

- Isı iletim katsayısı kurutulmuş örnekler üzerinde belirlenmiştir. Ancak, kayaç az miktarda suyu gözeneklerinde bulundurabileceği gibi, daha çok miktardaki su da gözenekleri doldurabilmektedir. Bu nedenle, gözeneklerde ısı iletkenlik katsayısı düşük olan hava ile ısı iletkenlik sayısı yüksek olan suyun yer değiştirmesi, ısı iletkenlik katsayısını yükseltecektir.
- Doğal taş kaplama elemanlarındaki ısı geçirimsizlik olgusu genelde iletim yolu ile olmaktadır. Tabakalı, lifsi, hücreli ve tanecikli şeklindeki boşluklara sahip kütleli malzemelerde ısı iletkenliği, malzemenin birim ağırlığı ile değişmektedir. Isı, hava boşluğu içeren düşük birim ağırlıktaki malzemelerde, bir yüzeyden diğer bir yüzeye daha kolayca geçebilmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak da, birim ağırlık arttıkça gözeneklilik azalacağı için, katı malzemelerin ısı iletkenliği de artmaktadır. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi, ısı iletkenlik katsayısı ve birim hacim ağırlık düşmüştür. Çevrimlerinden en çok etkilenen kayacın, donma-çözülme için %3 ve termal şok için ise %2'lik bir düşüşle Traki Andezit kayacı olduğu tespit edilmiştir.
- Donma-çözülme ve termal şok deneylerindeki ısı farkı sebebiyle kayaçların içerisinde meydana gelmiş olan deformasyonun, ısı iletkenlik katsayısının düşmesinde çok büyük bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Ancak çevrimlerden sonra malzemelerin iç yapısında meydana gelen

değişimlerle, kayaçların su emme değerlerinde de bir artış söz konusu olmuştur. Yani malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı düşmüş (bu yalıtım malzemesi için istenen bir durumdur), fakat buna karşılık su emme değerleri de artmıştır. Başlangıç ve döngüler sonrası verilerin değişim oranları incelendiğinde, 125 çevrimlik donma-çözülme ve termal şok periyodlarından en fazla etkileyen sürecin donma-çözülme olduğu, en çok etkilenen ve ağırlıkça su emme değerlerinin yaklaşık olarak %87 ve hacimce su emme değerinin %20 oranında en fazla arttığı kayaç türünün ise Traki Andezit kayacı olduğu belirlenmiştir.

- Bütün kayaçlarda meydana gelmiş olan ısı iletimindeki düşüşün, donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden dolayı, kayaç yapısında meydana gelen gözenek ve mikro-çatlakların artarak kayaç yapısının daha geçirgen bir duruma gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kayaçların geçirgenliği arttıkça, su buharı aktarım özellikleri de etkilenmektedir. Su buharı geçirgenlik hızının ısısal çevrimlerden etkilenme dereceleri en fazla donma-çözülme sürecinde meydana gelmiş ve yüzdesel oranlara bakılarak en çok %26'lık değişim oranıyla Traki Andezitin etkilendiği tespit edilmiştir.
- Nokta yük dayanım indeksi değerindeki değişim bütün numuneler için ayrı ayrı incelenmiş, donma-çözülme sürecinin termal şoktan daha etkili olduğu, dayanım değerlerindeki en fazla düşüşün %57 oranıyla Traki Andezit ve %41 oranıyla İgnimbirit kayaçlarında meydana geldiği belirlenmiştir. Kayaç numunelerinin mikrosertlik değerlerinin çevrimlerden nasıl etkilendiklerini belirlemek amacıyla, kayaçlara ait Knoop sertlik değerleri (HK) ölçülmüş ve en fazla düşüşün donma-çözülme sürecinde, ortalama %29'luk bir yüzde ile Traki Andezit kayacında meydana geldiği belirlenmiştir.
- P-dalga hızındaki değişim incelenmiş, donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinden en çok etkilenen kayaç numunesinin donma-çözülme sürecinde %28 ve termal şok sürecinde %27'lik bir düşüşle Traki

Andezit olduğu tespit edilmiştir. Başlangıç değerleri baz alındığında, donma-çözölme sürecinin termal şoka göre bütün numuneler üzerinde daha etkili olduğu ve yüzdesel olarak değişimin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

- Donma-özölme ve termal şok süreci boyunca yapılan makroskobik ve mikroskobik kayaç gözlemlerinde en çok etkilenen kayaç grubunun gözenekliliği yüksek ve dayanımı düşük piroklastik kayaçlar olduğu belirlenmiştir. Kayaçta makroskobik boyutta gözlenen kusurlar (atlak, damar vb.) kayacın donma-çözölme sürecinden etkileneceği zayıflık zonlarını oluşturmaktadır. Kayacın dokusunu oluşturan rijit minerallerin tane boyutu büyüdükçe, donma-çözölme ve termal şok sürecinden etkilenmeleri için geçen çevrim sayısı azalmaktadır. Mineralin bünyesinde var olan süreksizlikler (atlak, dilinim vb.) donma-çözölme ve termal şok süresinden etkilenme ivmesinin artmasına sebep olmaktadır.
- Isı iletiminde meydana gelen azalmanın, kayaçların ısıl değişimlerden etkilenerek bozunduğunun ve daha boşluklu bir yapı kazandığının kanıtı olarak, bozunma olgusunu destekleyici veriler sunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak ısı iletimindeki bu değişim istenilen bir durum gibi görünse de, uzun vadede kayaçların dayanımlarında da bir düşüş söz konusu olmaktadır.
- Doğal taşlar dış mekanlarda kaplama elemanı olarak kullanılırken, görüntü ve sağlamlığının yanı sıra, ısı yalıtım malzemesi olarak da düşünülecekse, uzun vadede bozunmalardan kaynaklı ortaya çıkabilecek değiştirme masraflarını bertaraf etmek adına, kayacın su emmesini önlemek gerekmektedir. Bu sayede, hem kayaç içerisindeki boşluk yapısının su alarak ısı iletim katsayısındaki artış, hem de donma çözölme ve termal şok çevrimleri sonucunda kayacın fiziksel olarak bozunarak bütünlüğünü kaybetmesi engellenmiş olacaktır. Bu durumun da, uygulanacak olan bazı kimyasallarla kayaç yüzeyine su itici (hidrofobik)

bir özellik kazandırılması ile sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu şekilde bir uygulama ile su emme özelliği yüksek gözenekli birçok kayaç türünün, inşaat sanayinde yaygın bir uygulama alanı ile etkin bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir.

- Kaplama malzemesi kalınlığı, piyasada 2 cm ve 3 cm'lik ürünler kullandığı için, ekonomik analizlerde bu kalınlık değerleri kullanılmıştır. Sadece beton duvara kıyasla, kaplama yapılmış beton duvar için, kayaçlar donma-çözülme ve termal şok çevrimlerine girmeden önce ve girdikten sonra olmak üzere ekonomik olarak bir hesaplama yapılmıştır. Buna göre hem 2 cm hemde 3 cm'lik doğal taş kaplaması sonuçları ele alındığında, ısı kaybı azalması (q_A) ve yıllık ısı tasarrufu (Φ) bakımından en fazla değişimin İğnimbirit ve Traki Andezit kayaçlarında meydana geldiği belirlenmiştir. Kaplama kalınlığı değeri arttıkça, ısı kaybı azalmasının ve yıllık ısı tasarrufunun arttığı görülmüş ve buna göre de uygulamalarda bu kayaç grupları için 3 cm'lik bir kaplama kalınlığının seçilmesinin daha faydalı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.
- Binalarda doğal taşların kaplama malzemesi olarak kullanımında doğrudan beton duvarın üzerine doğal taş uygulandığı gibi, duvar ve kaplama malzemesi arasında belirli bir mesafede boşluk bırakılarak da yapılmaktadır. Bu şekilde boşluklu uygulama yapılarak havanın ısı iletim katsayısı değerinden kaynaklı olarak tasarrufta artış olacağı düşünülmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda aynı kaplama taşlarının kalınlığı değiştirilerek, en iyi kalınlığın, ayrıca duvarla kaplama malzemesi arasında değişik mesafelerde boşluk bırakılarak en iyi boşluk mesafesinin ve kalınlığın enerji tasarrufu üzerindeki etkilerinin araştırılmasının Türkiye ekonomisine ve literatüre fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, atmosferik değişim koşulları altında kayaçların bozunma kabiliyetinin, büyük ölçüde mikro çatlakların ve kayaların birbirine bağlı gözenek ağının varlığına bağlı olduğunu açıkça göstermektedir. Bu mikro

çatlaklar, gözeneklerin içindeki buzun kristalleşmesinin neden olduğu mekanik gerilmeler ve ısı değişimleri tarafından meydana gelmektedir. Kritik bozunma derecesinin her bir kayaç türünde, farklı donma-çözülme ve termal şok çevrimlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Traverten ve Limra kayaçları, döngülerin çoğunda daha az bozunmaya uğrarken, Traki Andezit ve İgnimbirit kayaçları, mikro çatlakların düzensiz yayılmasından dolayı sadece birkaç çevrim içinde bozunma göstermiştir. Isısal değişimlerin etkisinden dolayı boşluk oranındaki artış, özellikle Traki Andezit ve Limra kayaç çeşitleri için, parçacıklar arasındaki temas alanını azaltarak, matriks yapılarının kütlelerinde dramatik bir düşüşe neden olmuştur. Bu yapay yaşlanma sürecinin etkisi altında bu kayaç çeşitleri için artan donma-çözülme ve termal şok çevrimleri ile gözeneklilik derecesi artmış ve buna bağlı olarak hem mekanik özellikler hemde termal özellikler etkilenmiştir. Bununla birlikte, gözenekler su ile dolduğunda, bu yapı elemanlarının termal performanslarında, artan ısı iletkenlik değerleri ile önemli ölçüde azalmaya neden olmaktadır. Bu nedenle, gözenekli kayaçların bozulma kabiliyetini tahmin etmek için, termal iletkenliğin belirlenmesi çalışması birincil öneme sahiptir. Isısal değişimlerden kaynaklı meydana gelen bozunma nedeniyle ısı iletkenliğindeki değişiklikler, gelecekteki modern binaların tasarımı için gerekli olan önemli bilgi yöntemlerinden biri olarak kullanılabilir. Isıl iletkenlik değerlerinin belirlenmesi, donma-çözülme ve termal şok çevrimleri gibi fiziksel hava koşullarının etkisi altında meydana gelen bozunma derecesinin belirlenmesinde çok büyük bir öneme sahiptir.

Yapı malzemesi olarak tercih edilecek kaya malzemesinin bozunmasına sebep olan en önemli faktör olan donma-çözülme ve termal şok sürecine karşı davranışının daha önceden belirlenmesi, inşaat firmalarına prestij, kişi ve ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacaktır. Tarihi yapılarda rekonstrüksiyon yapılırken, kullanılacak yapı taşlarının donma-çözülme ve termal şok sürecinden etkilenmeyen veya en az etkilenenlerin tercih edilmesi kültürel mirasın daha uzun süreyle korunmasına yardımcı olacaktır. Ülkemizde ve dünyada mevcut kültürel mirasın korunabilmesi için yapı taşında donma-çözülme ve termal şok süreci sonrası bozunmaya neden olan yeraltı ya da yüzey sularının mimari yapılardan uzaklaştırılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abid, M., 2012. Thermophysical Properties of a Moist Porous Material. Von der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Ph. D. thesis, 130 syf.
- Acar, K., 2009. Floresans Renkler İçeren Boyama Reçetesi Tahmin Algoritmalarında Başarının Artırılmasına Yönelik Yeni Bir Yöntem. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Accardo, G., Massa, S., Rossi-Doria, P., Sammuri, P., Tabasso Laurenzi, M., 1981. Artificial weathering of Carrara marble: relationships between the induced variations of some physical properties. International Symposium The Conservation of Stone II, Bologna, Vol. I, pp.243-273.
- Andrianov, V. Danishevskiy, S., Tokarzewski, 1996. Twopoint quasifractional approximants for effective conductivity of a simple cubic lattice of spheres. J. Heat Mass Transfer, vol. 39, No. 11 pp. 2349-2352.
- Akbay, D., Efe, T., Şengün, N., Demirdağ, S., Altındağ, R., and Koççaz, C. E., 2012. Donma-Çözülme ve Termal Şok Koşullarının Bazı Mermerler Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Uluslararası 8. Mermer ve Doğal Taş Kongresi, Afyon.
- Altındağ, R., Alyıldız, I.S., 2004. Donma-çözülme periyotlarının tüfün (Isparta-Dereboğazı) fiziko-mekanik özellikleri üzerine etkisi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye, s. 255-262.
- Alyıldız, I. S., 2003. Isparta-Dereboğazı tüflerinde donma-çözülme periyotlarının fiziko-mekanik davranışlarına etkisi. Y. Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 63 s.
- Arikan, F., Ulusay, R., Aydın, N., 2007. Characterization of weathered acidic volcanic rocks and a weathering classification based on a rating system. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 66 pp. 415-430.
- Ashworth, E., Ashworth, S. D., 1979. A Simple Apparatus for Thermal Conductivity Measurements Rocks and Similar Poor Conducting Materials. 20th US Rock Mechanics Symposium, Proceedings, 27-33, Texas.
- Ashworth, E., 1992. The Variation of the Thermal Conductivity of Tuff with Moisture Experimental Results and Proposed Model. Rock Mechanics Proceedings of the 33rd US Symposium, 41, 859-868, Santa Fe New Mexico.
- ASTM E96, 1941. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials using Gravimetric Method.

- ASTM 1113-90, 2013. Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique)
- Babacan, A.E., Ersoy, H., Gelişli, K., 2009. Determination of physical and mechanic properties of rocks with direct and indirect methods: A case study on the beige limestones in the Eastern Pontides, Proceedings of the 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 123-130.
- Babacan, A.E., Ersoy, H., Gelişli, K., 2012. Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman - Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, Teknik Not. 36 (1).
- Barla C., Innaurato N., Pantaleoni G., 1983. Heat Transfer in the Rock Mass Around Mine Openings. 5th International Congress on Rock Mechanics, Melbourne, Australia, pp. E141-E146.
- Bell, F G., 2006. Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat,(Çeviren: Kayabalı K.), Gazi Kitabevi, Ankara, 797 s.
- Bellopede, R., Ferrero, A. M., Manfredotti, L., Marini, P., Migliazza, M., 2006. Thermal Stresses. In Fracture and Failure of Natural Building Stones, pp. 397-425.
- BET (Brunauer, Emmett, Teller), 1938. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers, vol. 60, 309.1
- BET Method, 2010. Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption. Second edition, BS ISO 9277.
- Binal, A., Kasapoglu, K.E., 2002. Donma-çözülme sürecinin Aksaray-Ihlara Vadisi'nde yüzeyleyen Selime İğnimbiritinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi. VI. Bölgesel Kaya Mekanigi Semp., Konya, s. 189-196.
- Binal, A., Kasapoğlu K.E., Seğmenoğlu, Ç., 2004. Donma-çözülme sürecinin Ankara İğnimbiritinin jeomekanik özellikleri üzerine etkisinin doğal ve laboratuvar ortamında karşılaştırmalı olarak incelenmesi. KAYAMEK' 2004-VII. Bölgesel Kaya Mekanigi Sempozyumu, Sivas, s.59-66
- Borhan, B., 1985. Ytong El Kitabı-I, Türk Ytong Sanayi Yayını.
- Bouguerra, A., Ait-Mokhtar, A., Amiri, O., Diop, M. B., 2001. Measurement of thermal conductivity, thermal diffusivity and heat capacity of highly porous building materials using transient plane source technique. Int. Comm Heat Mass Transfer: vol. 28, NO. 8, pp. 1065-1078.

- Bourgès, A., 2006. Holistic Correlation Of Physical And Mechanical Properties Of Selected Natural Stones For Assessing Durability And Weathering In The Natural Environment. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwigs-Maximilians-Universität München, 190 syf.
- Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., 2007. Türkiye İçin Isıtma ve Soğutma Derece-gün Bölgeleri, 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri.
- Butera, F. M., 1998. Chapter 3 – Principles of Thermal Comport. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2: 39-66.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T., 2000. Türkiye'nin Bazı illeri için Derece-Gün Değerleri, 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 107-112, Sakarya.
- Büyükalaca, O., Bulut H., Yılmaz, T., 2001. Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey , Applied Energy, 69/4, 269-283.
- Calleja, L., Montoto, M., Perez Garcia, B., Suarez Del Rio, L.M., Martinez Hernando, A., Menendez Villar B., 1989. An ultrasonic method to analyse the progress of weathering during cyclic salt crystallization laboratory tests. La Conservazione dei Monumenti nel bacino del Mediterraneo, 1st International Symposium Bari, pp. 313-318.
- Callister, W. D., 2006. Fundamental of Materials Science and Engineering. John Wiley&Sons, Newyork.
- Cantisani, E., Pecchioni, E., Fratini, F., Garzonio, C.A., Malesani, P., Molli, G., 2009. Thermal stress in the Apuan marbles: Relationship between microstructure and petrophysical characteristics. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 46, 128-137.
- Careddu, N., Marras, G., 2013. The effects of solar UV radiation on the gloss values of polished stone surfaces. Construction and Building Materials, 49, 828-834.
- Cerny, R., 2010. Complex System of Methods for Directed Design and Assessment of Functional Properties of Building Materials: Assessment and Synthesis of Analytical Data and Construction of the System. Czech Technical University in Prague, Prague.
- Chen, T. C., Yeung, M. R., Mori N., 2004. Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze-thaw action. Cold Regions Sci Technol, 38, pp. 127-136.
- Czichos, H., Saito, T., Smith, L. (Eds.), 2011. Springer handbook of metrology and testing, Springer Handbook.

- Çelebi, C., 2001. Yaşayan Kültür Ahlat, Kültür Bakanlığı Yayınları: 2711, Kültür Bakanlığı HAGEM, Ankara.
- Çelik, M.Y., 2001. Dış Mekanlarda Kullanılan Mermerlerde Doğal Bozuşmalar, Mermer, Doğal Taş Sektörünün Dergisi, Yıl 6, Sayı:29, 66-70, İzmir.
- Çengel, Y. A., Turner, R. H., 2001. Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences. Newyork.
- Dağsöz, K.D., 2001. Isı yalıtımı ve kalorifer tesisatı standartları üzerine görüşler. MMO Tesisat Mühendisliği.
- Demirci, A., Görgülü, K., Durutürk, Y. S., 2004. Thermal Conductivity of Rocks and Its Variation with Uniaxial and Triaxial Stress. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41, 1133-1138.
- Dikici, M., 1993. Katı Hal Fiziğine Giriş. Ondokuz Mayıs Üniv. Yayınları, Yayın No:71, 1;1; Samsun.
- Durutürk, Y. S., 1999. Basınca Bağlı Olarak Kayaçlarda Isıl Geçirgenlik Katsayılarının Değişimi ve Bu Değişimin Maden Ocaklarına Yönelik Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Syf. 188, Sivas.
- Durutürk, Y. S., Demirci, A., Keçeciler, A., 2002. Variation of Thermal Conductivity of Rocks With Pressure. CIM Bulletin, 95, 67-71.
- Eithun, C. F., 2012. Development of a thermal conductivity apparatus: Analysis and design Master of Science in Product Design and Manufacturing, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering.
- Ekinci, C. E., 2003. Yalıtım Teknikleri Atlas Yayın Dağıtım, Ankara.
- Ekinci, C. E., 2010. Yalıtım Teknikleri. Data Yayınları, Syf 366.
- Erdoğan, Y., Yaşar, E., 2001. Adana-İçel-Osmaniye Mermerlerinin Mühendislik Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, AfyonKarahisar.
- Eriç, M., 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Ersoy, H., Bulut, F., 2009. Spatial and multi-criteria decision analysis based methodology for landfill site selection in growing urban regions. Waste Management and Research, 27(5):489-500.
- Ersoy, H., Kanık, D., 2012. Multicriteria decisionmaking analysis based methodology for predicting carbonate rocks' uniaxial compressive strength. Earth Science Research Journal Vol:16, No:1 : 65-74.

- García, O., Malaga, K., 2012. Definition of the procedure to determine the suitability and durability of an anti-graffiti product for application on cultural heritage porous materials. *Journal of Cultural Heritage*, 13(1), 77-82.
- Genceli, O., Özguç, F., 2000. *Ashrae Temel El Kitabı, Isı Yalıtımı ve Buhar Kesiciler Esaslar*, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar:2, 29s, Ankara.
- Gikas, A., Keenan, R. 2006. Profil climatique Degrés jours de chauffage, Statistique en bref. *Environnement et énergie* 5/2006 ISSN 1562-3084, Communauté européenne, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-NQ-06-005/FR/KS-NQ-06-005-FR.PDF
- Goudie, A.S., 1999. Experimental salt weathering of limestones in relation to rock properties. *Earth Surface Processes and Landforms* 24, pp. 715-724.
- Görgülü, K., Durutürk, Y. S., Demirci, A., 2004. Kayaçların Isı İletkenliklerini Etkileyen Faktörler. VII: Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 21-22 Ekim, Syf. 203-209, Sivas.
- Gupta, A.S., Seshagiri Rao, K., 1998. Index properties of weathered rocks: interrelationship and applicability – *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 57 pp. 161-172
- Gündüz, L., 2001. Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Pomzanın Kullanımı. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim, İzmir.
- Gündüz, L., 2005. İnşaat Sektöründe Bimsblok. Syf 928, Isparta.
- Gündüz, L., Şapçı, N., Karcı, M. 2013. Mermerlerin Isıl Performansı ve Binalarda Enerji Verimliliğine Etkilerinin İncelenmesi. *Madencilik Dergisi*, 52/4, Syf 27-36.
- Güyağüler, T., Önder, Ü. Y., 1995. Karadon Kömür Ocağında Jeotermal Gradyant Eğrisinin ve Kayaçların Isısal Geçirgenliğinin Ölçülmesi ile Isı Yayılmının Belirlenmesi. Nihai Rapor, ODTÜ, Maden Müh. Bölümü, Syf. 28, Ankara.
- Hale, PA, Shakoor, A., 2003. A laboratory investigation of the effects of cyclic heating and cooling, wetting and drying, and freezing and thawing on the compressive strength of selected sandstones. *Environ Eng Geosci*, 9:117–30
- Hall, K., 1999. The role of thermal stress fatigue in the breakdown of rock in cold regions. *Geomorphology*, vol. 31, pp. 47-63.
- Hattema, MHH, Wolf K-HAA, De Pater, CJ., 1998. The influence of steam pressure on thermal spalling of sedimentary rock: theory and experiments. *Int J Rock Mech Min Sci*; 35:3–15.

- Heperkan, H. A., Bircan, M. M., Sevindir, M. K., 2002. Yapı Malzemelerinde Buhar Difüzyonu ve Yoğuşma. V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Syf 461.
- Holman, J. P., 1981. Heat Transfer. McGraw-Hill, United States of America.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., 1990. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley and Sons, New York.
- Iñigo, A.C., García-Talegón, J., Vicente-Tavera, S., Martín-González, S., Casado-Marín, S., Vargas-Muñoz, M., Pérez-Rodríguez, J.L., 2013. Colour and ultrasound propagation speed changes by different ageing of freezing/thawing and cooling/heating in granitic materials. Cold Regions Science and Technology 85, 71–78.
- Innaurato, N., Occella, E., 1989. Laboratory and In-Situ Rock Thermal Property Measurements in Hot Mine. Rock at Great Depth, Proceedings of an International Symposium, Pau, pp. 379-385.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1981. Rock characterisation, testing and monitoring: ISRM suggested methods. E.T. Brown (ed), Pergamon, Oxford, 211 pp.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1985. Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 22(2), pp.53-69.
- Irfan, T.Y., Dearman, W.R., 1978. Engineering petrography of a weathered granite. Q. J. Engng Geol., 11 : 233-244.
- ISO EN 11357, 2016. Plastics -- Differential scanning calorimetry (DSC) -- Part 1: General principles.
- Işiker, Y., Turgut, P., Yeşilata, B., 2007. Hurda otomobil lastiği katkılı betonlarda geçici rejimde ısı özellik ölçümü, ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri.
- İnce, İ., 2013. Donma-Çözülme Döngüsünün Kayaçların Mühendislik Parametreleri Üzerine Etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 196 syf.
- James, F. Shackelford, 2009. Introduction to Materials Science for Engineers. International Edition.
- Jerman, M., Keppert, M., Vyborny, J., Cerny, R., 2011. Moisture and heat transport and storage characteristics of two commercial autoclaved aerated concretes, Cement, Wapno, 16/78, pg. 18–29.

- John, D.M., 1988. Algal growth on buildings: a general review and methods of treatment. *Biodeterioration Abstr* 2(2):81-102.
- Kahraman, S., 2001. A correlation between P-wave velocity, number of joints and schmidt hammer rebound number, *bit J rock Mech of Min Sei*, 38, 729-773.
- Kakaç, S., 1987. Isı Transferine Giriş: I Isı İletimi. ODTU Mühendislik Fakültesi, Syf 1, Ankara.
- Karakuş, M., Kumral, M., Kılıç, O., 2005. Predicting elastic properties of intact rocks from index tests using multiple regression modelling, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42, 2, 323-330.
- Karamanos, A., Hadjirakou, S., Papadopoulos, A.M., 2008. The iMPact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool, *Energy and Buildings*, 40, pg. 1402-1411.
- Khanlari, G., Sahamieh, R.Z., Abdilor, Y., 2015. The effect of freeze-thaw cycles on physical and mechanical properties of Upper Red Formation sandstones. Central part of Iran
- Khanna, Y. P., Taylor, T. J., Chomyn, G., 1988. A New Differential Scanning Calorimetry Based Approach for the Estimation of Thermal Conductivity of Polymer, Solids and Melts. *Polymer Engineering and Science*, 28 (16), 1033-1041.
- Koca, M.Y., Yavuz, A.B., Kınca, C., 2001. Traki Andezitlerin Dış Mekan Kaplama Taşı Olarak Kullanımında Bergama Örneği. Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs, Afyon
- Kocí, V., Madera, J., Jerman, M., Trnák, A., Cerný, R., 2014. Determination of the equivalent thermal conductivity of complex material systems with largescale heterogeneities, *International Journal of Thermal Sciences*, pp. 365-373.
- Koçu, N., Dereli, M., 2003. Mermerlerin günümüz mimarisinde kaplama (duvardöşeme) elemanı olarak kullanılması ve uygulama sorunları, Türkiye IV Mermer Sempozyumu (MERSEM'2003) 18-19 Aralık, Bildiriler Kitabı, s.61-73
- Kök, M., 2006. DSC ile termal iletkenlik ölçümü ve uygulamaları, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Syf 40, Yüksek Lisans Tezi.
- Kuehni, R.G., 2003. Colour Difference Formulas: Accurate Enough for Objective Colour Quality Control of Textiles, *Coloration Technology*, 119, 164-169.

- Kumaran, M. K., 1996. IEA Annex 24 Final Report. Vol. 3, Task 3: Material Properties. KU Leuven, Leuven.
- Kumaran, M. K., 2006. A thermal and Moisture Property Database for Common Building and Insulation Materials. SHRAE Transactions, 112, pg.485.
- Kun, N., 2000. Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi. Tezer Matbaası.149 s. İzmir.
- Kuriyagawa, M., Matsunaga, I., Yamaguchi T., 1983. An In-Situ Determination of the Thermal Conductivity of Granitic Rock. 5th International Congress on Rock Mechanics, Melbourne, Australia, pp. E147-E150.
- Kurtuluş, C., Çakır, Ş., 2009. İzmit Formasyonu (Alt Triyas) Kumtaşlarının Fiziksel Özelliklerinin P-Dalga Hızı Ölçümleri ile Belirlenmesi. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, No: NİSAN 2009. ISSN 1302-0218.
- Kurtuluş, C., Yazan, K., Üçkardeş, M., Turan, O.K., 2010. Kayalar İçinde Sismik P-Dalgasının Kırık Yoğunluğu ile Değişiminin İncelenmesi. Uygulamalı Yerbilimleri Sayı:2 (Ekim-Kasım 2010) 10-18.
- Mathis, N., Chandler, C., 2004. United States Patent.
- Mar, J.D., Litovsky, E., Kleiman, J., 2008. Modeling and database development of conductive and apparent thermal conductivity of moist insulation materials, Journal of Building Physics, 32, pg. 9-31.
- Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Gomez-Heras, M., Marco-Castaño, L., Garcíadel- Cura, M.A., 2013. Non-linear decay of building stones during freeze-thaw weathering processes. Construction and Building Materials, 38, pp. 443-454
- Maxwell, J.C., 1873. A Treatise on Electricity and Magnetism. Vol. 2, Clarendon Press, Oxford, UK., Pages: 459.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements, HortScience, 27, 1254-1255.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gunderece.aspx
- Mohsen, M.S., Akash, B.A., 2001. Some prospect of energy savings in buildings. Energy Conversion and Management, 42, pg. 1307-1315.
- Mousset-Jones, P., McPherson, M. J., 1986. The Determination of In-Situ Rock Thermal Properties and the Simulation of Climate in an Underground Mine. International Journal of Mining and Geological Engineering, 4, 197-216.

- Naik, N.N., Jupe, A.C., Stock, S.R., Wilkinson, A.P., Leed, P.L., Kurtis, K.E., 2006. Sulfate attack monitored by microCT and EDXRD: Influence of cement type, water-to-cement ratio, and aggregate, *Cement and Concrete Research*, 36 - 1, 144-159.
- Nicholson, D. T., Nicholson, F. H., 2000. Physical deterioration of sedimentary rocks subjected to experimental freezing and thawing. *Earth Surf Process Landforms*, 25, pp. 1295-1307.
- Niesel, K., 1983. The weathering behavior of natural building stone. *Stone industries*, pp.30-31.
- Ochs, F., Heidemann, W., Mueller-Steinhagen, H., 2008. Effective thermal conductivity of moistened insulation materials as a function of temperature, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, pg. 539-552.
- Oliver, J.R., Blakeney, A.B., Allen, H.M., 1992 Measurement of flour color in color space parameters, *Cereal Chem.*, 69, 546-551.
- Onargan, T., Deliormanlı, A.H., Saydam, S, Hacımustafaoğlu, S.R., 1997. Mermerlerde Yüzey Sertliğinin Dayanıma Olan Etkisinin Araştırılması. II. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 29-34. Afyon.
- Öcal, A. D., Dal, M., 2012. Doğal Taşlardaki Bozunmalar. *Mimarlık Vkfı İktisadi İşletmesi, Bagota/Kırklareli*.
- Öner, E., Acar, K., 2006. *Tekstil Endüstrisinde Renk Ölçümü*, Seminer Notları, Adana.
- Özcan, A., 2008. Kağıt Yüzey Pürüzlülüğünün $L^*a^*b^*$ Değerleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 14, 53-61.
- Özgüven, A., Özcelik. Y., 2014. Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones. *Engineering Geology*, 83, 127-136.
- Özkahraman, H. T., Bolattürk, A., 2003. Bina Yapımında Köyke Taşı Kullanılmasının Enerji Tasarrufundaki Önemi. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık.
- Özkan, T. O., Yörücü, H., 1986. *Taramalı Elektron Mikroskobu Laboratuvar Çalışmaları*. TÜBİTAK MAM.
- Panzer, T.H., Christoforo, A.L., Cota, F.P., Borges, P.H.R., Bowen, C.R., 2011. Ultrasonic Pulse Velocity Evaluation of Cementitious Materials, Chapter 17. *Advances in Composite Materials - Analysis of Natural and Man-Made Materials*, 572 pages, Publisher InTech, ISBN 978-953-307-449-8.

- Parrott, J. E., Stuckes, A. D., 1975. Thermal Conductivity of Solids. Pion Ltd., London.
- Pavlík, Z., Vejmelková, E., Fiala, L., Cerny, R., 2009. Effect of moisture on thermal conductivity of lime-based composites, *International Journal of Thermophysics*, 30, pg. 1999–2014.
- Pavlík, Z., Fiala, L., Vejmelková, E., Cerny, R., 2012. Application of effective media theory for determination of thermal properties of hollow bricks as a function of moisture content, *International Journal of Thermophysics*, <http://dx.doi.org/10.1007/s10765-012-1183-3>.
- Plevová, E., Kožušníková, A., Vaculíková, L., Simha Martynková, G., 2010. Thermal behavior of selected Czech marble samples. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101, 657-664.
- Poyraz, B., 2006. Kayaçların Isı İletkenliğinin İncelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Syf 57, Yüksek Lisans Tezi.
- Pyda, M., Kwon, Y. K., Wunderlich, B., 2001. Heat Capacity Measurement by Sawtooth Modulated Standard Heat-Flux Differential Scanning Calorimetry with Sample Temperature Control. *Thermochimica Acta*, 367-368, 217-227.
- RILEM, 1980. Recommended test to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods, commission 25-PEM. *Material and Structures*, Vol.13, pp.175-253
- Rides, M., Morikawa, J., Halldahl, L., Hay, B., Lobo, H., Dawson, A., Allen, C., 2009. IntercoMParison of thermal conductivity and thermal diffusivity methods for plastics *Polymer Testing*, vol. 28, pp. 480–489.
- Royer-Carfagni, GF., 1999. On the thermal degradation of marble. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 119- 126.
- Ruedrich, J., Kirchner, D., Siegesmund, S., 2011. Physical weathering of building stones induced by freeze–thaw action: a laboratory long-term study. *Environ Earth Sci.*, 63, pp. 1573-1586.
- Rzhevsky, V., Novik G., 1971. The physics of rocks. Moscow: Mir, 4:140-148.
- Saad, A., Gue'don, S., Martineau, F., 2010. Microstructural weathering of sedimentary rocks by freeze–thaw cycles: experimental study of state and transfer parameters. *Comptes Rendus Geoscience*, 342, pp. 197-203

Sekhu, K. S., Singh, P., 2015. Various methods for measuring thermal conductivity-a review, IJRDO Journal Of Mechanical And Civil Engineering, vol. 1 Issue 5, pp. 17.

SEM, <http://www.slideshare.net/avanishthenewton/sem-and-tem?related=1>

Sert, M., Gürsoy, M., Arsoy, Z., 2017. Doğaltaşların CaO, MgO ve SiO₂ İçerikleri ile Knoop Sertlik Değerleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 10, Sayı 2 , 162-171.

Shen, X., Yang, S., Zhang, W., 1991. Portable In-Situ Wall-Rock Thermal Conductivity Meter for Mine Pits. Rev. of Science in Instruments, Vol. 62 (6), pp. 1581-1586.

Singh, T.N., Sharma, P.K., 2008. A correlation between P-wave velocity, iMPact strenght index, slake durability index and uniaxial compressive strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 67, 1, 17-22.

Sirel, Ş., 1974. Kuramsal Renk Bilgisi, İ.D.M.M. Akademisi Yayınları, İstanbul.

Sousa, LMO, Suarez del Rio, LM, Calleja, L, Ruiz de Argondona, VG, Rey, AR., 2005. Influence of microfractures and porosity on the physicommechanical properties and weathering of ornamental granites. Eng Geol; 77:153-68.

Strainer, E. F., Turner, W. C., 1990. Thermal Insulation Building Guide, Roben E. Krieger Publishing CoMPany, Malabar,Florida.

Takarlı, M., Prince, W., Siddique, R., 2008. Damage in granite under heating/cooling cycles and water freeze-thaw conditions. Int J Rock Mech Min Sci, 45: pp. 1164-1175.

Tarhan, N. 1989. Hınıs-Varto (Erzurum-Muş) dolayının Jeolojisi ve Petrolojisi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 181 sayfa, İstanbul (yayımlanmamış).

Tiwari, L. B., Jahagirdar, C. J., Deshpande, V. D., Srinivasan, R., Parthasarathy, G., 2005. Weathering iMPact on the colour of building stones of the Gateway of India monument. Environmental geology, 48(6), 788-794.

Torres-Gomez, L. A., Yanez-Nieto, R., 1988. Wide Range Determination of Thermal Conductivity by Differential Scanning Calorimetry. Thermochemica Acta, 140, 139-144.

Tourenq, C., 1970. La gélivité des roches. Application aux granulats. Laboratoire des Ponts et Chaussées, Rapport de Recherche, 6. 60 pp.

- TS 11143, 1993. Traverten Yapı ve Kaplama Taşları Standardı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 825, 2013. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14205, 2004. Doğal Taş Deney Metotları - Knoop Sertliğinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14579, 2007. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Ses hızı ilerlemesinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1936, 2010. Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12371, 2011. Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Dona Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13469, 2013. Isı Yalıtımı Mamülleri-Sanayi Tesisleri ve Bina Ekipmanları İçin-Boru Şeklinde Ön Şekillendirilmiş Isı Yalıtım Mamüllerinin Su Buharı Geçirgenlik Özelliklerinin Tayini, ICS 91.100.60,Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14066, 2015. Doğal Taşlar, - Deney Metotları - Isıl Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direncin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 12572, 2016. Binalarda Kullanılan Malzemelerin ve Ürünlerin Higrotermal Performansı- Su Buharı Aktarımı Özelliklerinin Belirlenmesi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS ISO 10835, 2015. Traki Andezit Yapı ve Kaplama Taşları Standardı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuğrul, A., 2004. The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. Engineering Geology 75(3):215-227.
- Türkmen, F., Baran, T., 2000. Mühendislik Sistemlerinin Ekonomik Analizinde Sayısal Örnekler. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 193, İzmir.
- Ugur, İ., Demirdag, S., 2006. Investigation of the Relation Between the Specific Heat Capacity and Material Properties of Some Natural Building and Facing Stones. International Journal of Rock Mechanics&Mining Sciences, 43, 831-835.

- Ugur, İ., 2014. Surface characterization of some porous natural stones modified with a waterborne fluorinated polysiloxane agent under physical weathering conditions. *J. Coat. Technol. Res.*, 11 (4) 639–649, 2014.
- Ulusay, R., Göçeoğlu, C., Binal, A., 2001. Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri. TMMOB jeoloji mühendisleri odası, 161 s.
- Van Hellemont, Y., De Clercq, H., Van Bos M., 2008. Water Repellents and Anti-Graffiti :A Standard Safe Approach Hydrophobe V: 5th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, 145-154.
- Vazquez, P. Luque, A. Alanso, J.F., Grassi, C.M., 2012. Surface Changes on Crystalline Stones due to salt crystallisation. *Environmet Earth Science*. Special Issue. DOI:10.1007/ s12665-012-2003-6.
- Vejmelková, E., Pavlíková, M., Kersner, Z., Rovnaníková, P., Ondráček, M., Sedlmajer, M., Cerny, R., 2009. High performance concrete containing lower slag amount: a complex view of mechanical and durability properties, *Construction and Build-ing Materials*, 23, pg. 2237–2245.
- Vejmelková, E., Pavlíková, M., Keppert, M., Kersner, Z., Rovnaníková, P., Ondráček, M., Sedlmajer, M., Cerny, R., 2010. Performance concrete with Czech metakaolin: experimental analysis of strength, toughness and durability char-acteristics, *Construction and Building Materials*, 24, pg. 1404–1411.
- Vejmelková, E., Keppert, M., Rovnaníková, P., Kersner, Z., Cerny, R., 2012. Application of burnt clay shale as pozzolan addition to lime mortar, *Cement and Concrete Composites*, 34, pg. 486–492.
- Vosteen, H.D., Schellschmidt, R., 2003. Influence of temperature on thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity for different types of rock, *Physics and chemistry of the Earth*, s.499-509.
- www.hunterlab.se/wp-content/uploads/.../Hunter-L-a-b.pdf. (erişim tarihi 24.01.2017).
- Waples, D., Waples, J., 2004. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 2: Fluids and porous rocks. *Natural Resources Research*, 13(2):123-130.
- Yang, W., Sokhansanje, S., Tang, J., Winter, P., 2002. Determination of Thermal Conductivity, Specific Heat and Thermal Diffusivity of Borage Seeds. *Biosystems Engineering*, 82 (2), 169-176.

- Yavuz, H., Altindag, R., Sarac, S., Ugur, I., Sengun, N., 2006. Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze-thaw and thermal shock weathering. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 767-775.
- Yavuz, H., Demirdağ, S., Caran S., 2010. Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 94-103.
- Yavuz, H., 2011. Effect of freeze-thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite Stone. *Bull. Eng. Geol Environ.*, 70: pp. 187-192.
- Yeşil, Y., 2010. Melanj Elyaf Karışımlarında Renk Değerlerinin Yeni Bir Algoritma Geliştirilerek Tahmin Edilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Yeşilata, B., Turgut, P., Işıker, Y., 2007. Kompozit yapı malzemelerinde ısı özellik ölçümü-1: Mevcut ölçüm tekniklerinin irdelenmesi, *Mühendis ve Makina*, 48 (654), 2-9.
- Yüncü, H., Kakaç, S., 1999. Temel Isı Transferi. Bilim Yayıncılık, Syf 1-15, Ankara.

EKLER

EK A. Numunelerin Mineralojik-Petrografik Analiz Raporları



EK A. Numunelerin Mineralojik-Petrografik Analiz Raporları

Numune Adı: Traki Andezit

Sample Name: Trachy Andesite

ANALİZ Analysis	TEST / ANALİZ METODU Test / Analysis Method										
*Mineralojik/Petrografik Tanımlama (Petrographic examination)	TS EN 12407										
SONUÇLAR Results											
İnce kesit hazırlama tarihi (Date of preparation of the thin section) : 06.03.2018											
İnceleme tarihi (Date of the examination) :10.03.2018											
İncekesit numarası ve ölçüleri (Number and dimensions of the thin section): 16195 IA/ 28mm x 48mm x 1.8mm											
	<table><thead><tr><th></th><th>ÖRNEK (Sample)</th><th>LOKASYON (Location)</th><th>KÖKEN (Origin)</th><th>TİCARİ İSİM (Trade Name)</th></tr></thead><tbody><tr><td>TANIMLAMA (Examination)</td><td>Kayaç (Rock)</td><td>---</td><td>Volkanik (Volcanic)</td><td>-----</td></tr></tbody></table>		ÖRNEK (Sample)	LOKASYON (Location)	KÖKEN (Origin)	TİCARİ İSİM (Trade Name)	TANIMLAMA (Examination)	Kayaç (Rock)	---	Volkanik (Volcanic)	-----
	ÖRNEK (Sample)	LOKASYON (Location)	KÖKEN (Origin)	TİCARİ İSİM (Trade Name)							
TANIMLAMA (Examination)	Kayaç (Rock)	---	Volkanik (Volcanic)	-----							
MAKROSKOBİK TANIMLAMA (Macroscopic Examination)											
Renk (Color)	: Orta Koyu Gri (N4) (Medium Dark Gray)										
Doku (Texture)	: Afanitik (Aphanitic)										
Tane Büyüklüğü (Particle Size)	: Mikro – Makro kristalin (Micro – Macro crystalline)										
Çatlak (Fissure)	: Yok (Not)										
Gözenek (Pore)	: Var (Yes)										
Makro Fosil (Macro Fossil)	: Yok (Not)										
Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir. In this report (*) marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)											
Analiz Sorumlusu Responsible of Analysis											
Öğr. Gör. Zeyni ARSOY											
Çevre Şartları / Environmental Conditions											
Sıcaklık / Temperature, °C : 18,0	Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numune aittir.										
Rutubet / Moisture, % : 35,0	The results belong to the tested sample only.										

Numune Adı: Traki Andezit
Sample Name: Trachy Andesite

ANALİZ
Analysis

TEST / ANALİZ METODU
Test / Analysis Method

*Minerolojik/Petrografik
Tanımlama
(Petrographic examination)
SONUÇLAR
Results

TS EN 12407

MİKROSKOBİK TANIMLAMA (Microscopic Examination)

	Kristal Şekli (Crystal Shape)
Ortoklas (Orthoclase)	Anhedral (Anhedral)
Albit (Albite)	Anhedral (Anhedral)
Anortit (Anorthite)	Anhedral (Anhedral)
Diopsit (Diopside)	Anhedral (Anhedral)
Nefelin (Nepheline)	Anhedral (Anhedral)
Hipersten (Hypersthene)	Anhedral (Anhedral)
Hematit (Hematite)	Anhedral (Anhedral)
Apatit (Apatite)	Anhedral (Anhedral)
Opak (Opaque)	Anhedral (Anhedral)

Açıklama: : Kayaçla ilgili ince kesit görüntüsü Şekil A.1' de verilmiştir. (The thin sectional image of rocks are given in Figure A.1).

Porozite (Pore): -

Porozite Derece (Pore degree) : -

Alterasyon (Alteration): Opasitleşme

Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir.
In this report (*) marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)

Analiz Sorumlusu
Responsible of Analysis

Öğr. Gör. Zeyni ARSOY

Çevre Şartları / Environmental Conditions

Sıcaklık / Temperature, °C : 18,0
Rutubet / Moisture, % : 35,0

Sonuçlar, sadece deneyi yapılmış numuneye aittir.
The results belong to the tested sample only.

Numune Adı: Traki Andezit
Sample Name: Trachy Andesite

ANALİZ
Analysis

TEST / ANALİZ METODU
Test / Analysis Method

*Minerolojik/Petrografik
Tanımlama
(Petrographic examination)

TS EN 12407

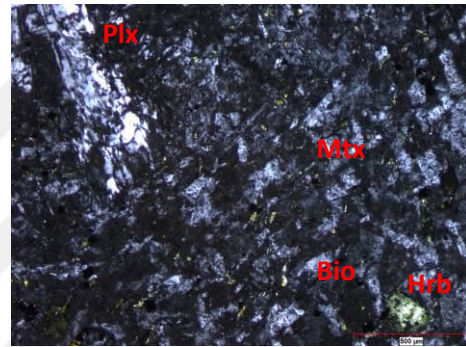
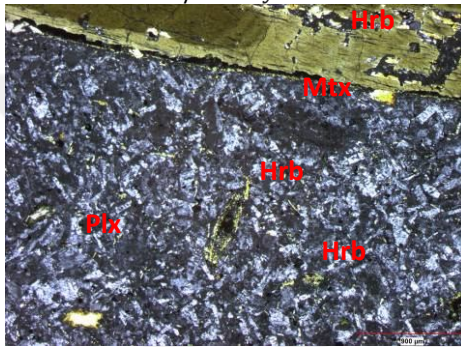
SONUÇLAR
Results

Doku (Texture) : Hemikristalin (Hemicrystalline)

Fosil içeriği (Contains of Fossil) : -

SINIFLANDIRMA (Classification)

Kayaç adı (Name of Rock): Traki
Andezit/Trachy Andesite



Şekil A.1. Kayaç içerisindeki plajyoklas (Plx), hornblend (Hrb) mineralleri ve plajyoklas mikrolitleri (Matriks) (Mtx-) (Çift nikol (sol - sağ). *Figure A.1. Plagioclase (Plx), hornblende (Hrb) minerals and plagioclase microlites (Matrix) (Mtx) were observed in rock (Crossed polarizers (left- right).*

Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir.
In this report () marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)*

Analiz Sorumlusu
Responsible of Analysis

Öğr. Gör. Zeyni ARSOY

Çevre Şartları / Environmental Conditions

Sıcaklık / Temperature, °C : 18,0

Rutubet / Moisture, % : 35,0

Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numuneye aittir.
The results belong to the tested sample only.

Numune Adı: Limra
Sample Name: Limra

ANALİZ
Analysis

TEST / ANALİZ METODU
Test / Analysis Method

*Minerolojik/Petrografik
Tanımlama
(Petrographic examination)

TS EN 12407

SONUÇLAR
Results

MİKROSKOBİK TANIMLAMA (Microscopic Examination)

	% M	Kristal Şekli (Crystal Shape)	Tane Genişliği (µm) (Particle Width)		
			Min. (Min.)	Maks. (Max.)	Ort. (Avg.)
Kalsit (Calcite)	98	Ksenomorf	1,9	46,8	8,22
Dolomit (Dolomite)	1	Ksenomorf	-	-	-
Opak (Opaque)	<1,0	-	-	-	-
Kırık ve çatlak sistemleri (Fracture and Cracked Systems)					
Çatlak Genişliği (Crack Width)			-	-	-

Açıklama: : Kayaçla ilgili ince kesit görüntüsü Şekil A.2' de verilmiştir. (The thin sectional image of rocks are given in Figure A.2).

Porozite (Pore): -

Porozite Derece (Pore degree) :

Alterasyon (Alteration): Opasitleşme

Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir.

In this report () marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)*

Analiz Sorumlusu
Responsible of Analysis

Öğr. Gör. Zeyni ARSOY

Çevre Şartları / Environmental Conditions

Sıcaklık / Temperature, °C : 21,0

Rutubet / Moisture, % : 35,0

Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numuneye aittir.

The results belong to the tested sample only.

Numune Adı: Limra

Sample Name

ANALİZ

Analysis

TEST / ANALİZ METODU

Test / Analysis Method

*Minerolojik/Petrografik
Tanımlama
(Petrographic examination)

TS EN 12407

SONUÇLAR

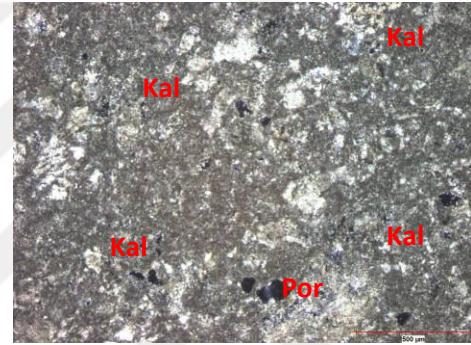
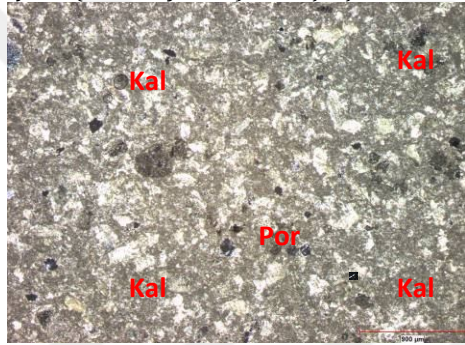
Results

Doku (Texture) : Makrokristalin (Macrocrystaline)-Mikrokristalin (Microcrystaline)

Fosil içeriği (Contains of Fossil) : -

SINIFLANDIRMA (Classification)

Kayaç adı (Name of Rock): Kireçtaşı - Limestone



Şekil A.2. Kayaç içerisinde ki kalsit mineralleri (Kal) ve fosil içeriği (Fos) (Çift nikol (sol - sağ).
Figure A.2. Calcite minerals (Kal) and Contains fossil (Fos.) were observed in rock (Crossed polarizers (left- right)).

Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir.

In this report (*) marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)

Analiz Sorumlusu
Responsible of Analysis

Öğr. Gör. Zeyni ARSOY

Çevre Şartları / Environmental Conditions

Sıcaklık / Temperature, °C : 21,0

Rutubet / Moisture, % : 35,0

Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numuneye aittir.
The results belong to the tested sample only.

Numune Adı: Traverten
Sample Name: Travertine

ANALİZ
Analysis

TEST / ANALİZ METODU
Test / Analysis Method

*Minerolojik/Petrografik
Tanımlama
(Petrographic examination)

TS EN 12407

SONUÇLAR
Results

MİKROSKOBİK TANIMLAMA (Microscopic Examination)

	% M	Kristal Şekli (Crystal Shape)	Tane Genişliği (µm) (Particle Width)		
			Min. (Min.)	Maks. (Max.)	Ort. (Avg.)
Kalsit (Calcite)	99,0	Anhedral	1,9	38,4	8,82
Opak (Opaque)	<1,0	-	-	-	-
Kırık ve çatlak sistemleri (Fracture and Cracked Systems)					
Çatlak Genişliği (Crack Width)			-	-	-

Açıklama: : Kayaçla ilgili ince kesit görüntüsü Şekil A.3' de verilmiştir. (The thin sectional image of rocks are given in Figure A.3).

Porozite (Pore): -

Porozite Derece (Pore degree) :

Alterasyon (Alteration): Opasitleşme

Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir.

In this report () marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)*

Analiz Sorumlusu
Responsible of Analysis

Öğr. Gör. Zeyni ARSOY

Çevre Şartları / Environmental Conditions

Sıcaklık / Temperature, °C : 25,0
Rutubet / Moisture, % : 29,0

Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numuneye aittir.
The results belong to the tested sample only.

Numune Adı: Traverten
Sample Name: Travertine

ANALİZ
Analysis

TEST / ANALİZ METODU
Test / Analysis Method

*Minerolojik/Petrografik
Tanımlama
(Petrographic examination)

TS EN 12407

SONUÇLAR

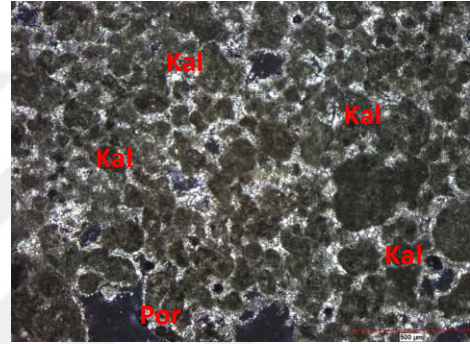
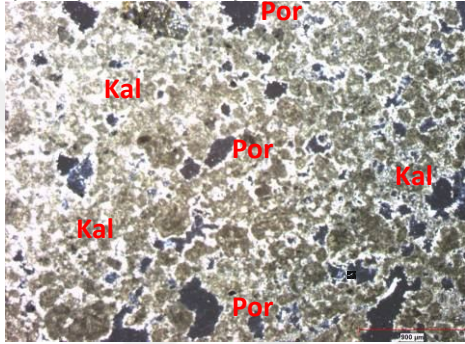
Results

Doku (Texture) : Mikrokristalin – Microcrystalline, Makrokristalin - Macrocrystalline

Fosil içeriği (Contains of Fossil) : -

SINIFLANDIRMA (Classification)

Kayaç adı (Name of Rock): Traverten – Travertine



Şekil A.3. Kayaç içerisindeki kalsit mineralleri (Kal) ve gözenekler (Por) (Çift nikol (sol - sağ)).
Figure A.3. Calcite minerals (Kal) and pores (Por) were observed in rock (Crossed polarizers (left-right)).

Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir.

In this report (*) marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)

Analiz Sorumlusu
Responsible of Analysis

Öğr. Gör. Zeyni ARSOY

Çevre Şartları / Environmental Conditions

Sıcaklık / Temperature, °C : 25,0
Rutubet / Moisture, % : 29,0

Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numuneye aittir.
The results belong to the tested sample only.

Numune Adı: İgnimbirit
Sample Name: İgnimbirite

ANALİZ Analysis	TEST / ANALİZ METODU Test / Analysis Method									
*Minerolojik/Petrografik Tanımlama (Petrographic examination)	TS EN 12407									
SONUÇLAR Results										
İnce kesit hazırlama tarihi (Date of preparation of the thin section) : 17.12.2017										
İnceleme tarihi (Date of the examination) : 25.12.2017										
İncekesit numarası ve ölçüleri (Number and dimensions of the thin section): 16195-AA3/ 28mm x 48mm x 1.8mm										
	<table><thead><tr><th>ÖRNEK (Sample)</th><th>LOKASYON (Location)</th><th>KÖKEN (Origin)</th><th>TİCARİ İSİM (Trade Name)</th></tr></thead><tbody><tr><td>TANIMLAMA (Examination)</td><td>Kayaç (Rock)</td><td>---</td><td>Volkanik (Volcanic)</td><td>-----</td></tr></tbody></table>	ÖRNEK (Sample)	LOKASYON (Location)	KÖKEN (Origin)	TİCARİ İSİM (Trade Name)	TANIMLAMA (Examination)	Kayaç (Rock)	---	Volkanik (Volcanic)	-----
ÖRNEK (Sample)	LOKASYON (Location)	KÖKEN (Origin)	TİCARİ İSİM (Trade Name)							
TANIMLAMA (Examination)	Kayaç (Rock)	---	Volkanik (Volcanic)	-----						
MAKROSKOPİK TANIMLAMA (Macroscopic Examination)										
Renk (Color)	: Grimsi Sarı (5Y 8/4) (Grayish Yellow)									
Doku (Texture)	: Afanitik (Aphanitic)									
Tane Büyüklüğü (Particle Size)	: Mikro – Makro kristalin (Micro – Macro crystalline)									
Çatlak (Fissure)	: Yok (Not)									
Gözenek (Pore)	: Var (Yes)									
Makro Fosil (Macro Fossil)	: Yok (Not)									
Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir. In this report (*) marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)										
Analiz Sorumlusu Responsible of Analysis										
Öğr. Gör. Zeyni ARSOY										
Çevre Şartları / Environmental Conditions										
Sıcaklık / Temperature, °C : 18,0	Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numuneye aittir.									
Rutubet / Moisture, % : 35,0	The results belong to the tested sample only.									

Numune Adı: İgnimbirit
Sample Name: İgnimbirite

ANALİZ
Analysis

TEST / ANALİZ METODU
Test / Analysis Method

*Minerolojik/Petrografik
Tanımlama
(Petrographic
examination)
SONUÇLAR
Results

TS EN 12407

MİKROSKOBİK TANIMLAMA (Microscopic Examination)

	Kristal Şekli (Crystal Shape)
Kuars (Quartz)	Anhedral (Anhedral)
Ortoklas (Orthoclase)	Anhedral (Anhedral)
Albit (Albite)	Anhedral (Anhedral)
Anortit (Anorthite)	Anhedral (Anhedral)
Biotit (Biotite)	Anhedral (Anhedral)
Opak (Opaque)	Anhedral (Anhedral)

Açıklama: : Kayaçla ilgili ince kesit görüntüsü Şekil A.4' te verilmiştir. (The thin sectional image of rocks are given in Figure A.4).

Porozite (Pore): -

Porozite Derece (Pore degree) :

Alterasyon (Alteration): Opasitleşme

Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir.
In this report (*) marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)

Analiz Sorumlusu
Responsible of Analysis

Öğr. Gör. Zeyni ARSOY

Çevre Şartları / Environmental Conditions

Sıcaklık / Temperature, °C : 18,0
Rutubet / Moisture, % : 35,0

Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numuneye aittir.
The results belong to the tested sample only.

Numune Adı: İgnimbirit
Sample Name: İgnimbirite

ANALİZ
Analysis

TEST / ANALİZ METODU
Test / Analysis Method

*Minerolojik/Petrografik Tanımlama
(Petrographic examination)

TS EN 12407

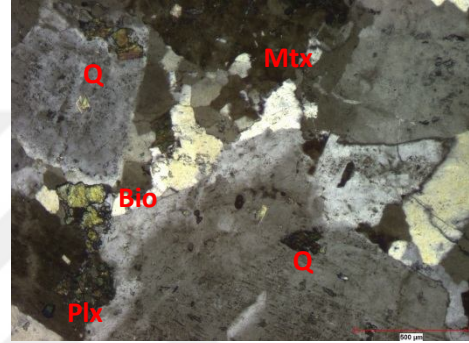
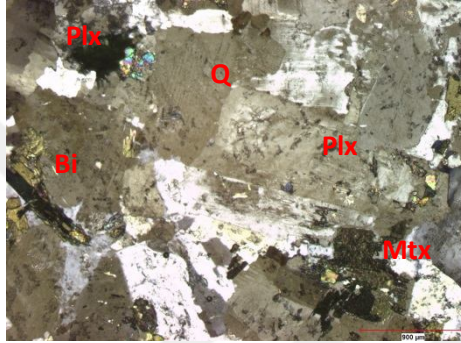
SONUÇLAR
Results

Doku (Texture) : Hemikristalin (Hemicrystalline)

Fosil içeriği (Contains of Fossil) : -

SINIFLANDIRMA (Classification)

Kayaç adı (Name of Rock): Riyolitik Tüf / Rhyolitic Tuff



Şekil A.4. Kayaç içerisindeki kuvars (Q), plajiyoklas (Plx), kalsit (Kal), Biotit (Bi) mineralleri ve plajiyoklas mikrolitleri (Matriks) (Mtx-) (Çift nikol (sol - sağ). *Figure A.4. Quartz (Q), plagioclase (Plx), Biotite (Bio) and plagioclase microlites (Matrix) (Mtx) were observed in rock (Crossed polarizers (left- right).*

Bu raporda (*) şeklinde işaretlenmiş muayene sonuçları TÜRKAK tarafından akreditedir.

In this report () marked test / analysis results accredited by Turkish Accreditation Agency (TURKAK)*

Analiz Sorumlusu
Responsible of Analysis

Öğr. Gör. Zeyni ARSOY

Çevre Şartları / Environmental Conditions

Sıcaklık / Temperature, °C : 18,0
Rutubet / Moisture, % : 35,0

Sonuçlar, sadece deneyi yapılan numuneye aittir.
The results belong to the tested sample only.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hilal ÖZER TOKLU

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1981

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : hilaltoklu@sdu.edu.tr

Taranmış
Fotoğraf
(3.5cm x 3cm)

Eğitim Durumu

Lise : Burdur Cumhuriyet Lisesi, 1999

Lisans : KTÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği

Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği

Mesleki Deneyim

SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD 2006-2010

SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği 2010-....(halen)

Yayınları

Özer Toklu, H., Çilek, E. C., 2010. Kuyucak Yöresine Ait Barit Cevherinin Flotasyonla Zenginleştirilmesi, Madencilik Dergisi. 49/3, 23-29.

Özer Toklu, H., 2012. Patlatma Sırasında Oluşan Titreşimler ve Örnek Bir Ocağa Ait Titreşim Ölçümü, 1. Yerbilimleri Sempozyumu, 18-20 Ekim, Isparta.

Özer Toklu, H., Ugur I., Karaabat Varol, M., 2016. Investigation of thermal parameters changes of filled and unfilled travertine exposed to physical weathering conditions, 2016 ISRM International Symposium EUROCK 2016 Rock Mechanics & Rock Engineering: From the Past to the Future,

Özkahraman, H. T., Şengün, N., Özer Toklu, H., 2007. Göltaş Kireçtaşı Ocağında Galeri Patlatmasından Basamak Patlatmasına Dönüş SDÜ 15. Yıl Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, 14-16 Kasım, Isparta.

Özkahraman, H. T., Sönmez, V., Özer Toklu, H., 2009. The Effect Of Delay Timing On Goltas Limestone Blasting. International Symposium on Engineering and Architectural Sciences of Balkan, Caucasus and Turkic Republics Symposium, 22-24 October, Isparta, TURKEY.

