T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI ÇEVRESEL KOŞULLARIN DOĞAL TAŞLARIN FİZİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nihat BAYRAMOĞLU
DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda AKBULUT

VAN-2023

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI ÇEVRESEL KOŞULLARIN DOĞAL TAŞLARIN FİZİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nihat BAYRAMOĞLU

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2022-10048 No' lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN 2023

KABUL ONAY SAYFASI

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda Akbulut danışmanlığında, Nihat Bayramoğlu tarafından sunulan "Farklı Çevresel Koşulların Doğal Taşların Fiziksel ve Optik Özelliklerine Etkilerin İncelenmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 26/12/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç Dr. İsmail AKKAYA İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda AKBULUT İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Muhammet KURUCU İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …./..../…... tarih ve .....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgiler tarafımca etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde ele alınarak sunulmuş olup, tez yazım kurallarına uygun olarak bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapılmıştır.

Nihat BAYRAMOĞLU

ÖZET

FARKLI ÇEVRESEL KOŞULLARIN DOĞAL TAŞLARIN FİZİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİN İNCELENMESİ

BAYRAMOĞLU, Nihat
Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda AKBULUT
Ocak, 2023, 67 sayfa

Mermer ve granit gibi doğal taşlar dayanım ve estetik görünüşleri nedeniyle geçmişten beri birçok mimari ve modern konutlarda dış cephe kaplaması ve yer döşemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Doğal taşlar, zaman içerisinde donma çözülme, hava kirliliği ve yangın gibi çeşitli çevresel koşullara maruz kalırlar. Bu etkilere bağlı olarak da doğal taşların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde bozulmalar meydana gelir ve taşın kullanım ömrü kısalır. Bu nedenle, doğal taşların karakteristik özellikleri üzerinde çevresel etkilerin meydana getireceği değişikliklerin önceden bilinmesi binaların tasarım aşamasında ve bakım onarım aşamalarında kullanıcılara önemli katkı sağlayacaktır. Bu çalışma kapsamında, farklı litolojik özelliklere sahip doğal taşların yüksek sıcaklık, asitlere karşı dayanım ve donma çözülme (D-Ç) gibi çevresel etkiler karşısında fiziksel, optik ve iç yapı özelliklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Doğal taş bozunma testleri uygulanmış ve uygulanmamış numuneler üzerinde pürüzlülük, parlaklık, renk ve mikro yapı özelliklerini belirlemeye yönelik analizler yapılmıştır. Çalışma sonunda doğal taşların parlaklık, toplam renk değişimi ve pürüzlülük özellikleri üzerinde en fazla yüksek sıcaklığın etkili olduğu buna karşın donma çözülme çevrimlerinin ise daha az oranda etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Çevresel etkiler, Doğal taşlar, Parlaklık, Pürüzlülük, Renk.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON THE PHYSICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF NATURAL STONES

BAYRAMOĞLU, Nihat
M.Sc. Thesis, Department of Geophysics Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zehra Funda AKBULUT
January, 2023, 67 pages

Natural stones such as marble and granite have been widely used as exterior cladding and flooring in many architectural and modern houses since the past due to their strength and aesthetic appearance. Natural stones are exposed to various environmental conditions such as freeze-thaw, air pollution and fire over time. Depending on these effects, physical, chemical and mechanical properties of natural stones deteriorate and the service life of the stone is shortened. For this reason, knowing the changes that will occur on the characteristic features of natural stones due to environmental effects will make a significant contribution to the users in the design phase of the buildings and in the maintenance and repair phases. Within the scope of this study, changes in physical, optical and internal structure properties of natural stones with different lithological properties were investigated in response to environmental effects such as high temperature, resistance to acids and freeze-thaw (F-T). Analyzes were made to determine the roughness, gloss, color and microstructure properties on the samples with and without natural stone degradation tests. At the end of the study, it was seen that high temperature was most effective on the, total color change and roughness properties of natural stones, whereas freeze-thaw cycles were less effective.

Key words: Color, Environmental effects, Gloss, Natural Stones, Roughness.

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında beni yönlendiren, çalışma ortamımı hazırlayan, maddi ve manevi her türlü desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda AKBULUT'a teşekkür ederim.

Ayrıca, bu tez çalışması, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiş olup, desteklerinden ötürü Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmalarım sırasında da beni maddi ve manevi destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

2023

Nihat BAYRAMOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELER LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR xv
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ 5
3. MATERYAL VE YÖNTEM 5
3.1. Materyal 9
3.2. Yöntem 10
3.2.1. Kimyasal analizler 10
3.2.2. İnce kesit ve petrografik analizler 10
3.2.3. Su emme ve porozite 11
3.2.4. Parlaklık ölçümü 11
3.2.5. Pürüzlülük ölçümü 12
3.2.6. Renk ölçümü 13
3.2.7. SEM analizi 14
3.3. Hızlandırılmış Eskitme Deneyleri 14
3.3.1. Yüksek sıcaklık deneyi 14
3.3.2. Sülfürik asit deneyi 15
3.3.3. Donma çözülme deneyi 16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 17
4.1. Doğal Taşların Karakteristik Özellikleri 17
4.2. MB, AF ve AB Taşlarının Yüksek Sıcaklık Sonrası Analiz Sonuçları 19
4.2.1. Görünüş değişiklikleri 19
4.2.2. Kütle kaybı ölçüm sonuçları 20

Sayfa

4.2.3. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları 21
4.2.4. Renk ölçüm sonuçları 22
4.2.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları 25
4.2.6. MB, AF ve AB taşlarının SEM analiz sonuçları 27
4.3. VS, VG ve Vİ Taşlarının Yüksek Sıcaklık Sonrası Analiz Sonuçları 28
4.3.1. Görünüş Değişiklikleri 28
4.3.2. Kütle kaybı ölçüm sonuçları 29
4.3.3. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları 30
4.3.4. Renk ölçüm sonuçları 31
4.3.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları 33
4.3.6. VS, VG ve Vİ taşlarının SEM analiz sonuçları 35
4.4. MB, AF ve AB Taşlarının Sülfürik Asit Sonrası Analiz Sonuçları 37
4.4.1. Görünüş değişiklikleri 37
4.4.2. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları 38
4.4.3. Renk ölçüm sonuçları 39
4.4.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları 41
4.5. VS, VG ve Vİ Taşlarının Sülfürik Asit Etkisi Sonrası Analiz Sonuçları 43
4.5.1. Görünüş değişiklikleri 43
4.5.2. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları 43
4.5.3. Renk ölçüm sonuçları 45
4.5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları 47
4.6. MB, AF ve AB Taşlarının Donma Çözülme Sonrası Analiz Sonuçları 48
4.6.1. Görünüş değişiklikleri 48
4.6.2. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları 49
4.6.3. Renk ölçüm sonuçları 50
4.6.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları 52
4.7. VS, VG ve Vİ Taşlarının Donma Çözülme Sonrası Analiz Sonuçları 53
4.7.1 Görünüş değişiklikleri 53
4.7.2. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları 54

Sayfa

4.7.3. Renk ölçüm sonuçları 55
4.7.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları 57
5. SONUÇ 59
KAYNAKLAR.....61
ÖZ GEÇMİŞ.....67

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Doğal taş numunelerine ait kimyasal bileşim..... 17

Çizelge 4.2. Doğal taş numunelerine ait fiziksel özelikler..... 18

Çizelge 4.3. MB, AF ve AB taşlarının yüksek sıcaklık sonrası kütle kaybı değerleri ... 21

Çizelge 4.4. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası parlaklık değerleri..... 21

Çizelge 4.5. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası L, a, b değerleri 23

Çizelge 4.6. MB, AF ve AB taşlarının yüksek sıcaklık sonrası toplam renk değişim değerleri..... 24

Çizelge 4.7. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası pürüzlülük değerleri..... 26

Çizelge 4.8. VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık sonrası kütle kaybı değerleri..... 30

Çizelge 4.9. VS, VG ve Vİ taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası parlaklık değerleri 30

Çizelge 4.10. Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası VS, VG ve Vİ taşlarının L a ve b değerleri..... 32

Çizelge 4.11. Yüksek sıcaklık sonrası VS, VG ve Vİ taşlarının toplam renk değişim değerleri..... 32

Çizelge 4.12. Yüksek sıcaklık sonrası VS, VG ve Vİ taşlarının pürüzlülük değişimi ... 34

Çizelge 4.13. MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri..... 38

Çizelge 4.14. MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi sonrası ΔL, Δa, Δb ve ΔE parametre değerleri..... 40

Çizelge 4.15. Mermerlerin asit buharı öncesi ve sonrasına ait pürüzlülük değerleri 42

Çizelge 4.16. VS, VG ve Vİ numunelerinin asit buharı öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri..... 44

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.17. VS, VG ve Vİ taşlarının asit etkisi öncesi ve asit etkisi sonrasına ait L, a ve b renk parametreleri 45

Çizelge 4.18. VS, VG ve Vİ taşlarının asit etkisi sonrasına ait ∆L, ∆a, ∆b ve ∆E parametre değerleri 45

Çizelge 4.19. VS, VG ve Vİ taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait pürüzlülük değerleri 48

Çizelge 4.20. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri 49

Çizelge 4.21. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası ∆L, ∆a, ∆b ve ∆E parametre değerleri 51

Çizelge 4.22. MB, AF ve AB taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 52

Çizelge 4.23. VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey parlaklık ölçüm değerleri 54

Çizelge 4.24. VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme çevrimi sorası ∆L, ∆a, ∆b ve ∆E parametreleri 55

Çizelge 4.25. VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1.Çalışmada kullanılan doğal taş numunelerine ait görünüm. 10

Şekil 3.2. Arşimet terazisi. 11

Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan parlaklık ölçüm cihazı. 12

Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan pürüzlülük ölçüm cihazı. 13

Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan renk ölçüm cihazı. 13

Şekil 3.6. Yüksek sıcaklık fırını. 14

Şekil 3.7. Sülfürik asit test düzeneği. 15

Şekil 3.8. Donma çözülme test kabini. 16

Şekil 4.1. MB, AF ve AB taşlarının makroskobik ve mikroskobik görünümleri. 18

Şekil 4.2. VS, VI ve VG taşlarının makroskobik ve mikroskobik görünümleri..... 19

Şekil 4.3. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası görünümleri. 20

Şekil 4.4. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası parlaklık değişimleri. 22

Şekil 4.5. MB, AF ve AB taşlarının yüksek sıcaklık sonrası ΔL, Δa , Δb ve toplam renk değişim grafikleri. 25

Şekil 4.6. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası pürüzlülük grafikleri. 26

Şekil 4.7. MB, AF ve AB taşlarının oda ve 800 C sonrası iç yapı görünümleri. 28

Şekil 4.8. VS, VG ve Vİ taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası görünümleri. 29

Şekil 4.9. VS VG ve Vİ taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası parlaklık değerleri. . 31

Şekil 4.10. VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık sonrası ΔL, Δa , Δb ve toplam renk değişim grafikleri. 33

Şekil 4.11. VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık sonrası pürüzlülük değişimi. 35

Şekil 4.12. VS, VG ve Vİ taşlarının oda ve 800 ^{o}C sonrası iç yapı görünümleri. 36

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.13. MB, AF ve AB taşlarının sülfürik asit öncesi ve sonrasına ait görünüşleri. 37

Şekil 4.14. MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri. 39

Şekil 4.15. MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi sonrası toplam renk değişim değerleri. 41

Şekil 4.16. MB, AF ve AB taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait pürüzlülük değerleri. 42

Şekil 4.17. VS, VG ve Vİ taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait görünümleri. .. 43

Şekil 4.18. VS, VG ve Vİ taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri. 44

Şekil 4.19. VS, VG ve Vİ taşlarının asit etkisi sonrası renk parametre değerleri 47

Şekil 4.20. VS, VG ve Vİ taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait pürüzlülük değerleri 48

Şekil 4.21. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası görünümleri. 49

Şekil 4.22. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri. 50

Şekil 4.23. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası ∆L, ∆a, ∆b ve ∆E parametre değerleri. 52

Şekil 4.24. MB, AF ve AB taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük değişimleri. 53

Şekil 4.25. VS, VG ve Vİ taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası görünümleri.. 54

Şekil 4.26. VS, VG ve Vİ taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası parlaklık değerleri 55

Şekil 4.27. VS, VG ve Vİ taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası ∆L, ∆a, ∆b ve ∆E parametre değerleri. 57

Şekil 4.28. VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri. 58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
μm	Mikrometre
°C	Santigrat derece
ΔE	Toplam renk değişimi
a	Kırmızılık/yeşillik
b	Sarılık /mavilik
L	Siyahlık/Beyazlık

Kısaltmalar	**Açıklama**
AB	Amasya Beyaz
AF	Afyon Bulut
D-Ç	Donma-Çözülme
GU	Parlaklık birimi
MB	Muğla Beyaz
SEM	Taramalı Elektron Mikroskop
XRD	X-Işınları Difraktometresi
XRF	X-Işınları Fluoresans Spektrometresi
VG	Verde Guatamala
VI	Violette
VS	Verde Star

1. GİRİŞ

Doğal taşlar, renk, desen ve mekanik özellikleri nedeniyle birçok mimari ve modern binada döşeme ve kaplama malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Her yapı malzemesinin olduğu gibi doğal taşlarında bir kullanım ömürleri vardır. Doğal taşlar kullanıldıkları yerler itibari ile zaman içerisinde çeşitli çevresel etkiler nedeniyle hasar görebilmektedirler. Doğal taşların kullanım ömürlerinin kısalmasına neden olan bu etkenlerin doğal taşlara olan etkilerinin önceden bilinmesi kullanıcılar açısından son derece önemlidir. Bu etkilerin önceden bilinmesi doğal taşın maliyet ve bakım-onarım gibi maliyetlerinin azaltılmasında oldukça etkilidir.

Özellikle dış mekân kaplamalarında kullanılan doğal taşlar zaman içerisinde yağmur, kar, nem, rüzgar, sıcaklık ve zararlı atmosferik gazlar gibi çevresel etkilere maruz kalırlar. Tekrarlayan bu etkilere uzun süreler maruz kalan doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinde hasarlar meydana gelir. Doğal taşların maruz kaldığı çevresel etkilerin her biri farklı bozulmalara neden olmaktadır. Doğal taşlar, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayalar nedeniyle bozulmaya uğrarlar. Fiziksel bozulmalar, çatlak ve kırık oluşumu, aşınma, erozyon, derz boşalması olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal bozulmalar, siyah tabaka, tuzlanma, çiçeklenme, yapraklanma, mikro karst oluşumu, tozlaşma, kabuk atma, korozyon ve pas lekesi diye sınıflandırılır. Biyolojik bozulmalar ise algler, likenler, bitkiler ve biyolojik birikimler olarak kategorize edilebilirler (Siegesmund ve ark., 2002; Xie ve ark., 2004; Hasbay ve Hattap, 2017; Alves ve ark., 2021; Amirkiyaei ve ark., 2021).

Doğal taşların bozulmaya uğramasında çevresel etkenler kadar doğal taşın kimyasal, mineralojik bileşim ve dokusal özellikleri de bozulma derecesi üzerinde oldukça etkilidir. Doğal taşların oluşum itibari ile her birinin su emme, gözeneklilik oranı, gözenek boyutu, tane boyut ve dokusal özellikleri farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, doğal taşlar hem kendi yapısal farklılıkları hem de farklı atmosferik etkiler nedeni ile kullanım ömürleri etkilenebilmektedir. Doğal taşları bozulmasını etkileyen en önemli etkenlerden birisi su dur. Doğal taşlar, oluşumları itibari ile gözenek, mikro çatlak ve damar gibi yapısal kusurlara sahiptirler. Doğal taşın gözeneklerinden içeri giren sular zaman içerisinde doğal taşın bozulmasına neden olurlar.

Evsel ısıtma ve endüstriyel yanma faaliyetleri gibi hava kirleticiler nedeniyle

hava kalitesi etkilenir. Bu etkiler ise özellikle dış ortamda kullanılan doğal taşlarda hasar oluşmasına neden olmaktadır. Son yıllarda hava kirletici gaz emisyonlarının etkisi ile dış mekânda kullanılan doğal taşların hasar oluşumunda artış olduğu görülmektedir. Özellikle, kükürt dioksit (SO_2) gibi atmosferik kirleticiler karbonatlı doğal taşların çözünmesine ve hasara uğramasına sebep SO_2 gazı gibi kirletici gazlar atmosferde ıslak çökelme etkisinde kimyasal dönüşüme uğrayarak H_2SO_4' e dönüşür ve taş yüzeyinde birikerek taşın çözünmesine neden olurlar. Ayrıca, bu kirletici gazlar yapı malzemelerinin renk bozulmasına, malzeme kaybına ve leke oluşumuna neden olurlar (Korobiichuk ve ark., 2016; Graziani ve ark., 2017; Çetintaş ve ark., 2022).

Sülfürik asit etkisi dışında donma-çözülme etkisi de doğal taşların bozulmasına neden olan etkenlerden birsidir. Doğal taşlar oluşumları itibariyle çatlak ve gözeneklere sahiptirler. Doğal taşın sahip olduğu bu çatlak ve gözeneklere giren su, sıcaklık sıfır derecenin altına düştüğünde donarak buza dönüşür. Doğal taş içerisinde oluşan buz kristalleri taşın gözenekleri etrafında basınç oluşturur ve mikro çatlak gelişimine yol açar. Uzun süre tekrarlayan donma-çözülme çevrimlerine maruz kalan doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklik meydana gelir. Doğal taşlarda fiziksel ayrışma, parçalanma ve dayanım kaybı gibi hasarlar meydana gelir. Doğal taşlarda donma-çözülme çevrimleri sonrası oluşan hasarın derecesi çevrim sayısı, çevrim sıcaklığı ve doğal taş özellikleri gibi birçok parametreden etkilenir. Bu nedenle özellikle, dış cephe kaplama malzeme uygulamalarında kullanılacak doğal taş seçiminde doğal taşların donma-çözülme direncinin önceden bilinmesi oldukça önemlidir (Rives ve Talegon, 2006; Martinez-Martinez ve ark., 2013).

Doğal taşlar, donma çözülme çevrimleri ve SO_2 gazı gibi hava kirletici kaynaklara maruziyet dışında yangın gibi yüksek sıcaklık etkilerine de maruz kalabilmektedir. Yerüstü ve yeraltı yapılarında kullanılan doğal taşlarda meydana gelebilecek yangın gibi olası durumlarda sıcaklık yaklaşık 1000 ^oC ulaşabilmektedir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayada da yeni mikro çatlaklar gelişir veya önceden var olan çatlaklar daha da yayılır. Ayrıca, sıcaklık artışı ile birlikte gözeneklilikte artış ve dayanımda azalış olduğu bilinmektedir (Shao ve ark., 2014; Gautam ve ark., 2018; Shen ve ark., 2020; Wang ve ark., 2021; Tomas ve ark., 2021).

Ayrıca, ısıl işleme maruz kalan taşlarda mineral tanelerinde genişleme, mikro çatlak oluşumu ve ilerlemesi, dehidrasyon işlemi ve kimyasal reaksiyonlar gibi termal

hasar mekanizması meydana gelir. Bu mekanizmaların sonucunda da doğal taşların fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenir (Peng ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2016; Tang ve ark., 2019; Yang ve ark., 2019; Martinez- Ibanez ve ark., 2021; Nemth ve ark., 2021; Sun ve Hu, 2021; Vasanelli ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2022). Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan mermerlerde renk değişimi, ısısal genleşme veya büzülme gibi fiziksel değişimler meydana gelir. Bunun yansıra, yüksek sıcaklık etkisi altında malzemenin molekül yapısının bozulması ve karbonatlaşma gibi kimyasal yapı değişimleri meydana gelir. Ayrıca, içyapının bozulmasına bağlı olarak dayanım kaybı gibi mekanik değişimlerde meydana gelir. Genellikle karbonatlı doğal taşların fiziksel özelliklerinde 200 ^{o}C gibi nispeten düşük sıcaklıklarda önemli değişiklik görülmez. 400 °C'de sıcaklıktan itibaren ise porozite ve çatlak oluşumu gibi fiziksel özellikleri ile basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Ayrıca, 400 ^{o}C sıcaklığın üzerinde gözenek ve mikro çatlak oluşumundaki artışa bağlı olarak kayaçta bozulmalar belirginleşmeye başlar. Kayaçların sıcaklık artışından etkilenmesinde kayaların türü, fiziksel ve mineralojik özellikleri oldukça etkilidir Mermer ve kireçtaşları gibi kayaçlar ısıl işlem etkisinde anizotropik bir termal genleşme gösterirler. Termal genleşmeye uğrayan kalsit mineralleri arasında ise uyumsuzluk meydana gelir. Bunun sonucunda da mineraldeki mevcut mikro çatlaklar artar veya mineral taneleri arasında yeni mikro çatlaklar meydana gelir. 800 °C sıcaklıkta ise karbonatlı kayaçlardaki termal hasarlar artar (Hajpal, 2010; Wang ve ark., 2020; Yin ve ark., 2022). Genellikle sıcaklık arttıkça doğal taşların renginde açılma meydana gelir. Doğal taşların renk değişimlerini ise sıcaklık seviyesi, taşın rengi, parlaklığı, yapısal özellikler, mineral bileşimi gibi birçok parametre etkiler. Karbonatlı taşlar çoğunlukla ana mineral olarak kalsit içerirler. Kalsit mineralinin dışında doğal taşların damar ve çatlaklarında pirit gibi demirli organik minerallerde bulunmaktadır. Bu mineraller ısı etkisi ile doğal taşta renk değişikliğine neden olurlar. Bunun yanında, sıcaklık seviyesi karbonatlı doğal taşların renk değişimleri üzerinde oldukça etkilidir. Doğal taşlar genellikle 400 ^{o}C sıcaklık üzerinde renk değişimine uğrarlar ve renkleri koyu griye döner. Genellikle, karbonatlı taşların 800 ^{o}C sıcaklık sonrası renklerinde beyazlaşma görülmektedir (Malaga-Starzec ve ark., 2006; Croby ve ark., 2018).

Doğal taşların yoğun olarak kullanıldığı inşaat ve restorasyon çalışmalarında renk en önemli parametrelerden birisidir. Doğal taşın estetik açıdan renk homojenliğinin

korunması oldukça önemlidir. Doğal taşların yüksek sıcaklık, asit etkisi ve donma çözülme gibi çevresel etkilere maruziyet neticesinde renk ve parlaklık gibi estetik özelliklerinde meydana gelebilecek değişimlerin önceden bilinmesi binalarda planlama ve onarım aşamalarında kullanıcılara büyük fayda sağlayacaktır Bu nedenle, bu çalışma kapsamında Türkiye'de bina dış cephelerinde kaplama olarak kullanılan Muğla Beyaz (MB), Afyon Bulut (AF), Amasya Beyaz (AB), Verde Star (VS), Verde Guatamala (VG) ve Violette (Vİ) doğal taşların yüksek sıcaklık, donma çözülme ve asit etkisi sonrası yüzey parlaklık, renk ve yüzey pürüzlülük özelliklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Doğal taşlar geçmişten beri birçok tarihi eser ve anıtta kullanılmaktadır. Bu kültürel mirasların ise gelecek nesillere aktarılması ve korunması ise son derece önemlidir. Tarihi binalar zaman içerisinde çeşitli atmosferik etkiler nedeni ile hasara uğrayabilirler. Oluşan hasarın önlenmesi ve mevcut halinin korunması amacıyla günümüzde binalara çeşitli yüzey koruma yöntemleri uygulanmaktadır. Koruma yöntemleri arasında taşın yüzeyine çeşitli koruyucu kimyasal uygulamak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Literatürde de yüzey koruyucu yöntemi uygulaması yapılan birçok çalışma bulunmaktadır.

Literatürde şu ana kadar yapılan çalışmalarda yüksek sıcaklık etkisi altında karbonat kökenli taşların fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyen birçok çalışma vardır. Çalışmaların çoğu, ısıl işlemin mermerlerin renk, gözeneklilik, kütle kaybı, basınç dayanımı gibi fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgilidir (Chakrabarti ve ar., 1995; Gomez- Hersas ve ark., 2006; Ozguven ve Ozçelik, 2013; Sassoni ve Fransoni, 2014; Peng ve ark., 2016; Murru ve ark., 2018; Biro ve ark., 2019; Vagnon ve ark., 2019; Gautam ve ark., 2020). Ancak ısıl işlemin mermerlerin parlaklık, pürüzlülük özelliklerine olan etkileri ile ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür (Huang ve ark., 2021; Martinho ve ark., 2022; Özdemir, 2022).

Peng ve ark. (2013), yüksek sıcaklık etkisinin mermerlerin fiziksel ve mekanik davranışlarına olan etkisini araştırmışlardır. Sıcaklık arttıkça, mermer numunelerinin P dalgası hızı ve basınç dayanımında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Buna ek olarak sıcaklığın mermerlerin süneklik özelliğini artırdığını bildirmişlerdir.

Vagnon ve ark. (2019), 200 ◦C ila 400 ^{o}C sıcaklık uygulamasının mermerin fiziksel ve mekanik özelliklerini üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Buna ilave olarak, sıcaklığın kayacın çatlak yoğunluğunda ve porozitesinde artışa neden olduğunu belirtmişlerdir.

Murru ve ark. (2018), termal şok işleminin mermerlerin sertlik ve iç yapı özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, mermer numunelerini ilk olarak 600 ^{o}C sıcaklığa kadar ısıtmış ve bu sıcaklıkta 7 saat bekletmişlerdir. Daha sonra ise numuneleri 3 saat içerisinde soğutma uygulamışlardır. Termal döngü çevrimleri sonrası

mermer numunelerinin yüzey mikro sertlik değerlerinde %25 oranında bir azalış olduğunu bildirmişlerdir.

Chakrabarti ve ark. (1995), çalışmalarında yüksek sıcaklığın kireçtaşlarının renk değişikliğine olan etkilerini araştırmışlardır. 400 ^{o}C nin üzerindeki sıcaklıklarda kireçtaşlarının renk değişikliğine uğradığını ve bu olaya ise kireçtaşının içerisindeki hidratlı demir oksit içeriğinin neden olduğunu belirtmişlerdir. 600 ^{o}C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise kireçtaşı numunelerinin kalsiyum karbonatın oksidasyonu nedeniyle yüzey görünümlerinin beyaz bir renge dönüştüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca, bu sıcaklıktan itibaren kalsit minerallerinin termal genleşmesinden dolayı mermer örneklerinde kırılmalar olduğunu belirtmişlerdir.

Özgüven ve Özçelik (2013), yüksek sıcaklığın mermerlerin renk özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sıcaklık arttıkça doğal taş renklerinin açıldığını ve en fazla hasarın 800 ^{o}C sıcaklık uygulanan numunelerde görüldüğünü belirtmişlerdir.

Gónzalez-Gómez ve ark. (2006), termal hasarın kireçtaşının basınç dayanımı, renk ve kütle kaybı özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Doğal taşların, ısıl işlemden önemli ölçüde etkilediğini ve kireçtaşının mineral bileşimi ve tane boyutundaki farklıların etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Huang ve ark. (2021), sıcaklığın granit, kumtaşı ve mermerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Mermer örneklerinin yüzeyinin kromatikliğinin 400 °C'den sonra stabilize hale geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, 500 °C sıcaklık sonrası mermer numunelerinde 11.79 toplam renk değişimi elde etmişlerdir. 700 ^{o}C sonrası numune kenarlarında parça kopmaları gözlemlemişlerdir.

Özdemir (2022), kireçtaşlarının yüksek sıcaklık sonrası parlaklık ve renk özelliklerindeki değişiklikleri araştırmıştır. Kireçtaşı numunelerinin 400 ^{o}C sıcaklık sonrası maksimum parlaklık kaybının 13.1 % ve 800 ^{o}C sonrası ise maksimum parlaklık kaybının 84.5% olduğunu bildirmiştir.

Martinio ve ark. (2022), çalışmalarında kireçtaşlarını 300 ^{o}C ve 600 ºC'ye ısıttıktan sonra tamamen ve kısmi daldırma yoluyla soğutmuşlardır. Daha sonra, kireçtaşı numunelerinin renk ve parlaklık özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, kireçtaşı numuneleri üzerinde tam veya kısmi daldırma ile soğutmanın renk ve parlaklık üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, kireçtaşı numunelerinin 300 ^{o}C ve 600 ^{o}C yüksek sıcaklık

sonrası toplam renk değişim değerlerinin sırasıyla 8 ve 13 olarak belirlemişlerdir. Yüksek sıcaklık uygulanmamış kireçtaşı numunelerine kıyasla 300 ^{o}C ve 600 ^{o}C sonrası kireçtaşı numunelerin parlaklık kayıplarının ise sırasıyla %12 ve %24 oranında olduğunu bildirmişlerdir.

Çetintaş ve Akboğa (2020), mimarı eserlerde kullanılan yapı taşlarının kükürt dioksit etkisi ile yaşlanmaya karşı direncinin nasıl değiştiğini tespit etmek için çalışmalar yapmışlardır. Bu taşların nem miktarını, taşların yüzey mikro pürüzlülüğünü, parlaklıklarını ve renklerine bakmışlardır. Mermer, traverten ve granit numunelerini kullanmışlardır. Ayrıca blok örnekleri doğal malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine seçmişlerdir. Polarize ışık mikroskobu ile mineral bileşimleri ve mikro morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Tek eksenli sıkışma deneyi yapılarak fiziksel ve mekanik özelliklerine bakmışlardır. Doğal taşların pürüzlülük değerlerinin asit çözeltisi maruziyeti sonrası arttığını ve pürüzlülük artışının ise diğer taşlara kıyasla en fazla mermerlerde olduğunu bildirmişlerdir.

Uğur ve Toklu (2020), çalışmalarında 125 donma-çözülme çevrimine maruz bırakılmış kireçtaşının donma çözülme sonrası renk değişimlerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda kireçtaşı numunesinin toplam renk değişiminin renk değişimi 2.35 olarak hesaplamışlardır.

Zaulet ve ark. (2022), 25 donma-çözülme döngüsü sonrası üç farklı mermerin renk özelliklerindeki değişiklikleri araştırmıştır. Mermerlerin 25 donma çözülme çevrimi sonrası kromatik parametrelerinde küçük farklılıklar olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca her üç mermerinde parlaklık değerinin döngü sayısı artışı ile birlikte doğru orantılı bir şekilde artış veya azalış göstermediğini bildirmişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalardan da görüldüğü gibi doğal taşların yüksek sıcaklık işlemi sonrası renk, gözeneklilik, kütle kaybı ve basınç dayanım kaybı gibi özelliklerine olan etkileri ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ancak, yapılan literatür incelemeleri neticesinde, doğal taşların farklı çevresel etkilere maruziyeti neticesinde fiziksel, optik ve mikro yapı özelliklerinde meydana gelecek değişiklikler ile ilgili oldukça az sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu tez çalışmasında Türkiye'de yaygın olarak kullanılan farklı litolojik özelliklere sahip doğal taşların donma çözülme, yüksek sıcaklık ve asit buharı maruziyeti gibi farklı çevresel etkiler sonrası fiziksel, optik ve mikro yapı özelliklerinde meydan gelen değişikler

araştırılmıştır. Elde edilen çalışma sonuçlarının kaplama taşı olarak kullanılacak doğal taşların planlama, onarım ve güçlendirme çalışmaları sırasında oldukça fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Doğal taşların farklı çevresel koşullar karşısında fiziksel ve optik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin araştırılması amacıyla 6 adet doğal taş numunesi kullanılmıştır. Doğal taşlar numuneleri bir mermer atölyesinden temin edilmiştir. Çalışma kapsamında farklı litolojik özelliklere sahip doğal taşların donma çözülme, yüksek sıcaklık ve asit çözeltilerine maruziyeti sonucu yüzey özelliklerinde ve iç yapı özelliklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Çalışmada, 2 adet metamorfik kayaç (MB, AF) ve 1 adet sedimanter kayaç (AB), 2 adet mağmatik (VS ve Vİ) ve 1 adet de ultramafik kayaç (VG) grubuna ait numune kullanılmıştır. Çalışmada, ticari isimleri Muğla Beyaz (MB), Afyon Bulut (AF) ve Amasya Beyaz (AB), Verde Star (VS), Violette (Vİ), Verde Guatamala (VG) olan doğal taşlar kullanılmıştır. MB numunesi mermer, AF numunesi dolomitik mermer, AB numunesi ise kireçtaşı olarak adlandırılmaktadır. VS numunesi kuvarslı diyorit, VG numunesi serpantinit ve Vİ numunesi ise Granit olarak adlandırılmaktadır. Doğal taş numunelerine ait görünümler Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1.Çalışmada kullanılan doğal taş numunelerine ait görünüm.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kimyasal analizler

Farklı litolojik özelliklere sahip doğal taş numunelerinin ilk olarak kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Doğal taş numunelerinin kimyasal içeriklerini tespit etmek amacıyla XRF analiz yönteminden yararlanılmıştır. Doğal taş numunelerinin XRF analizleri Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü kimya analiz laboratuvarından hizmet alımı yoluyla gerçekleştirilmiştir.

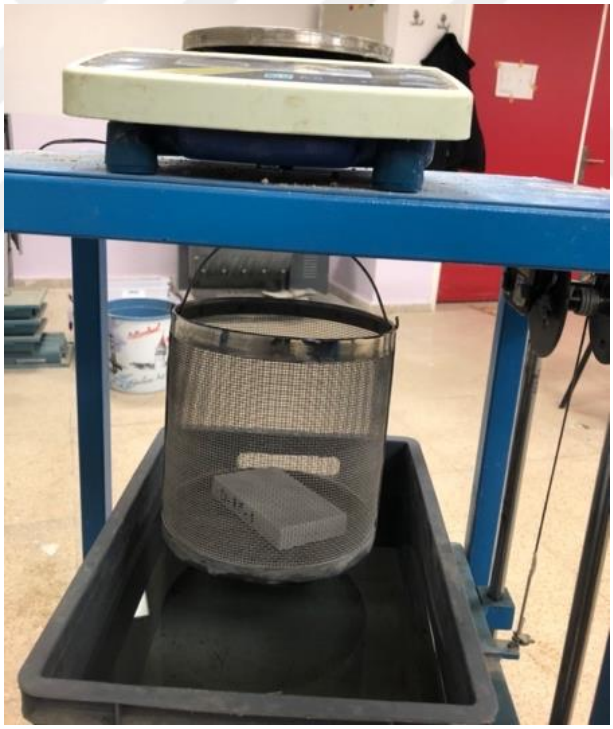
3.2.2. İnce kesit ve petrografik analizler

Doğal taş numunelerinin doku ve mikro yapı özelliklerini belirlemek amacıyla numunelerin ince kesitleri hazırlatılmıştır. Numune ince kesitleri Maden Tetkik Arama Enstitü laboratuvarında hizmet alımı yoluyla yaptırılmıştır. Hazırlanan ince kesit

numunelerinin incelenmesi ise Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümünde bulunan polarizan mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Su emme ve porozite

Su emme ve porozite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 5x5x10 cm boyutlarında numuneler kullanılmıştır. Doğal taş numunelerinin su emme ve porozite özelliklerinin tayininde TS EN 1936 (2010) ve TS EN 13755 (2014) standartları kullanılmıştır. Doğal taş numunelerinin su emme ve porozite deneyleri Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarında yapılmıştır. Doğal taşların porozitelerinin belirlenmesi sırasında kullanılan Arşimet terazisi Şekil 3.2'de verilmiştir.

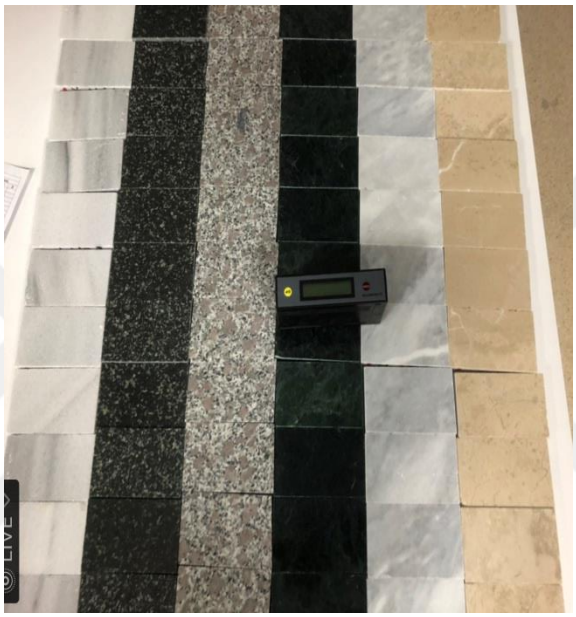


Şekil 3.2. Arşimet terazisi.

3.2.4. Parlaklık ölçümü

Doğal taş numunelerinin parlaklık ölçümleri sırasında PCE marka bir parlaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Parlaklık ölçümleri sırasında numunelerin 20, 60 ve 80

derece parlaklık ölçüm açıları belirlenmiştir. Literatürde, parlaklık ölçüm birimi olarak GU (Gloss Unit) kısaltması kullanılmaktadır. Bu çalışmada da numunelerin birim parlaklık değerleri GU olarak verilmiştir. Parlaklık ölçümleri ASTM D 523-14 (2018) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Her numune üzerinde 3 okuma gerçekleştirilmiştir. Doğal taş numunelerinin parlaklık ölçümleri sırasında kullanılan parlaklık ölçüm cihazı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan parlaklık ölçüm cihazı.

3.2.5. Pürüzlülük ölçümü

Doğal taş numunelerinin pürüzlülük ölçümleri PCE marka bir pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük ölçümlerinin belirlenmesi amacıyla Ra, Rz ve Rq pürüzlülük ölçümleri belirlenmiştir. Ra parametresi ortalama yüzey pürüzlülüğünü, Rz parametresi, yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafeyi ve Rq parametresi ise geometrik ortalama pürüzlülük değerini ifade etmektedir. Pürüzlülük ölçümleri DIN 4678 (1990) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Doğal taş numunelerinin pürüzlülük ölçümleri sırasında kullanılan cihaz Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan pürüzlülük ölçüm cihazı.

3.2.6. Renk ölçümü

Doğal taş numunelerinin renk ölçümleri PCE-CSM-1 marka bir renk ölçer cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Renk ölçümleri sırasında numunelerin beyazlık/siyahlık (L), kırmızılık/yeşillik (a ve b parametreleri belirlenmiştir. Doğal taşların renk ölçümleri ASTM D2244 (2015) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Doğal taş numune ölçümlerinde kullanılan renk ölçüm cihazı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan renk ölçüm cihazı.

3.2.7. SEM analizi

Doğal taş numunelerinin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası mikro yapı özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Doğal taş numunelerinin oda ve 800 ^{o}C yüksek sıcaklık sonrası SEM analizleri yapılmıştır.

3.3. Hızlandırılmış Eskitme Deneyleri

3.3.1. Yüksek sıcaklık deneyi

Doğal taş numunelerinin yüksek sıcaklık deneyleri sırasında, Van Yüzüncü Yıl üniversitesi, Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan Protherm marka bir yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır. Doğal taş numunelerinin sıcaklığa bağlı parlaklık, pürüzlülük ve renk özelliklerindeki değişimleri belirlemek amacıyla tüm numuneler 300 ^{o}C, 500 ^{o}C ve 800 ^{o}C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Doğal taş numuneleri belirlenen hedef sıcaklıklarda ısının homojen bir şekilde dağılımının sağlanabilmesi amacıyla 2 saat boyunca bekletilmiş ve daha sonra fırın kapatılmıştır (Şekil 3.6). Doğal taş numuneleri yüksek sıcaklık fırını içerisinde soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.6. Yüksek sıcaklık fırını.

3.3.2. Sülfürik asit deneyi

Doğal taşların, sülfürik asit buharına dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla, MB, AF, AB, VS, VG ve Vİ numuneleri 500 ml % 5'lik H_2SO_4 çözeltisi ve 150 ml de iyonize su kullanılarak bir hazırlanan çözelti buharına maruz bırakılmıştır.

Doğal taş numuneleri, parlatılmış yüzeyleri asit çözeltisine bakacak şekilde mesnetler üzerine konulmuştur. Daha sonra MB, AF, AB, VS, VG ve Vİ numuneleri 21 gün süreyle kapalı kap içerisinde sülfürik asit buharına maruz bırakılmıştır. 21 gün sonunda tüm numuneler deiyonize su ile yıkanmış ve daha sonra etüv içerisinde kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan numunelerin ilk olarak yüzey görünüş özellikleri incelenmiştir. Daha sonra doğal taş numunelerinin parlaklık, pürüzlülük ve renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sülfürik asit deneyleri sırasında kullanılan sülfürik asit test düzeneği Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Sülfürik asit test düzeneği.

3.3.3. Donma çözülme deneyi

Doğal taş numunelerinin donma çözülme (D-Ç) çevrimleri için otomatik ayarlanabilir bir donma-çözülme test kabini kullanılmıştır. MB, AF, AB, VS, VG ve Vİ numuneleri 8 saat 20 ^{o}C sıcaklıkta donma 8 saat 20 ^{o}C sıcaklıkta çözülme uygulanmıştır. Her bir donma çözülme işlemi bir çevrim kabul edilmiştir. Doğal taş numunelerine 20, 40 ve 60 donma çözülme çevrimi uygulanmıştır. Deneyler sırasında kullanılan donma-çözülme test kabini Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Donma çözülme test kabini.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Doğal Taşların Karakteristik Özellikleri

Çalışma kapsamında ilk olarak doğal taş numunelerinin kimyasal, fiziksel ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Doğal taş numunelerine ait kimyasal bileşimler Çizelge 4.1'de ve fiziksel özellikler ise Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.1'den de görüldüğü üzere MB, AF ve AB karbonatlı taşlarının CaO içeriği açısından zengin taşlar olduğu ve bileşimlerinde sırasıyla %55.50, %55.20 ve %54.90 oranında CaO olduğu belirlenmiştir. VS ve VI taşları ise magmatik grubu taşlar olup SiO_2 açısından zengin kayaçlardır. Bu taşların kimyasal bileşiminde ise sırasıyla %54.00 ve % 67.10 oranlarında SiO_2 olduğu belirlenmiştir. VG taşının kimyasal analizi neticesinde ise SiO2 ve MgO açısından zengin bir kayaç olduğu görülmüştür. VG taşının içerisinde %34.70 MgO ve %37.70 ise SiO_2 olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Doğal taş numunelerine ait kimyasal bileşim

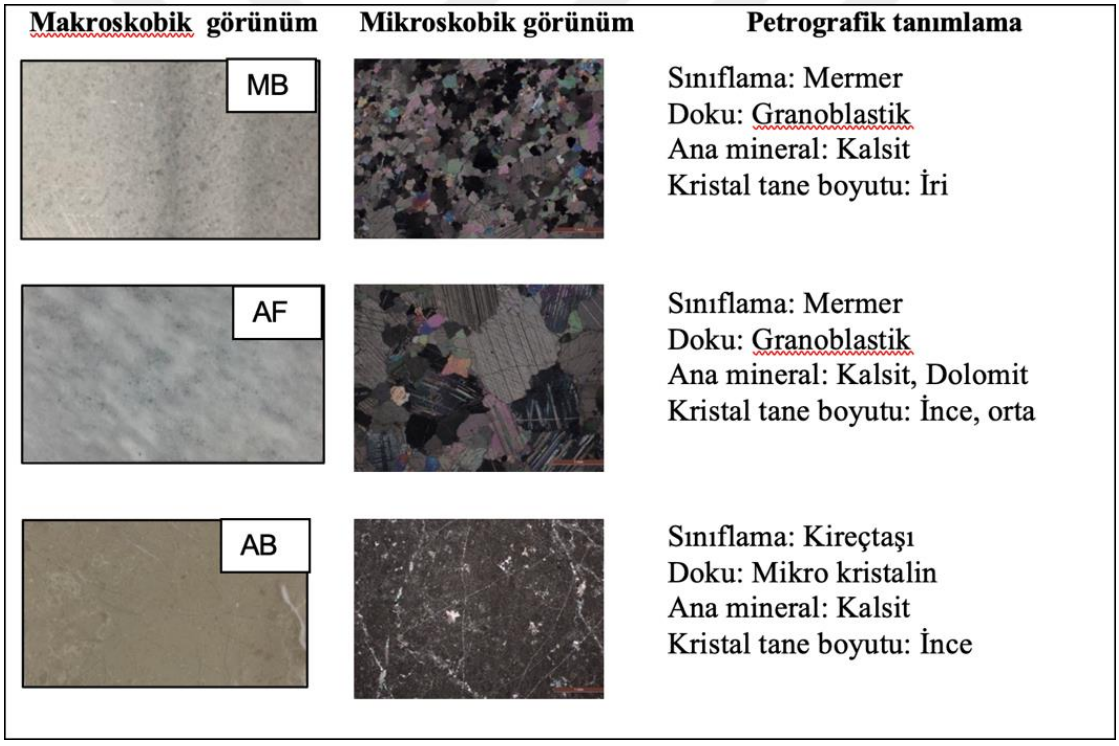
	MB	**AF**	**AB**	**VS**	**Vİ**	**VG**
CaO	55.50	55.20	54.90	9.76	4.00	5.37
MgO	0.42	0.19	0.33	2.00	0.70	29.00
Al_2O_3	0.08	0.17	0.17	14.00	15.0	2.00
Fe_2O_3	0.01	0.13	0.02	18.95	3.62	9.02
SiO_2	0.19	0.51	0.43	51.90	60.80	39.90
K_2O	0.03	0.03	0.03	1.69	6.39	0.03
Na_2O	0.01	0.02	0.04	0.01	9.00	14.0

Çizelge 4.2'den de görüldüğü üzere MB, AF ve AB taşlarının su emme oranları 0.079 ile 0.238 arasında iken VS, VG ve Vİ taşlarının su emme oranları ise 0.063 ile 0.202 arasında elde edilmiştir. Benzer şekilde, MB, AF ve AB taşlarının görünür porozite oranları 0.146 ile 0.434 arasında iken VS, VG ve Vİ taşlarının su emme oranları ise 0.134 ile 0.394 arasında elde edilmiştir Çalışmada kullanılan, doğal taşların

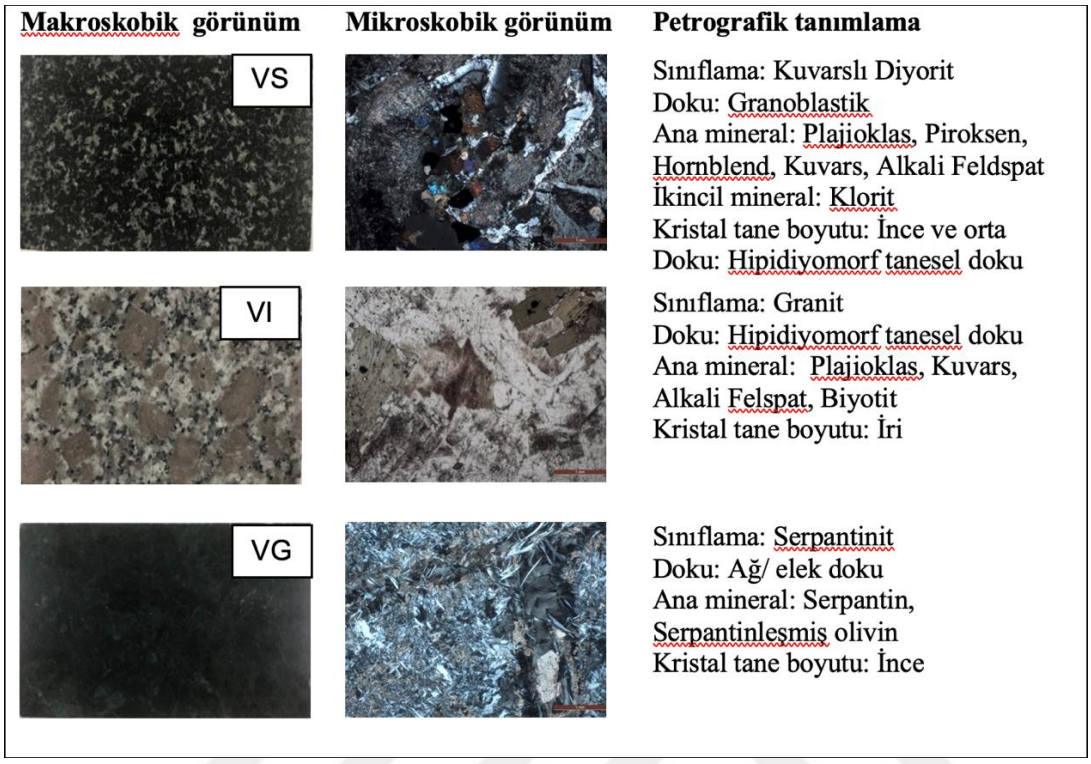
makroskobik görünümleri, mikrokoskobik görünümleri ve petrografik tanımlamalarına ait görseller Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Doğal taş numunelerine ait fiziksel özelikler

Kod	Kuru Birim Ağırlık (kN/m^3)	Su Emme (%)	Görünür Porozite (%)
MB	2.295 ± 0.089	0.108 ± 0.038	0.196 ± 0.073
AF	2.334 ± 0.032	0.079 ± 0.049	0.146 ± 0.109
AB	2.251 ± 0.098	0.238 ± 0.144	0.434 ± 0.257
VS	2.729 ± 0.042	0.063 ± 0.022	0.134 ± 0.049
Vİ	2.423 ± 0.039	0.196 ± 0.026	0.323 ± 0.048
VG	2.729 ± 0.044	0.202 ± 0.162	0.394 ± 0.058



Şekil 4.1. MB, AF ve AB taşlarının makroskobik ve mikroskobik görünümleri.



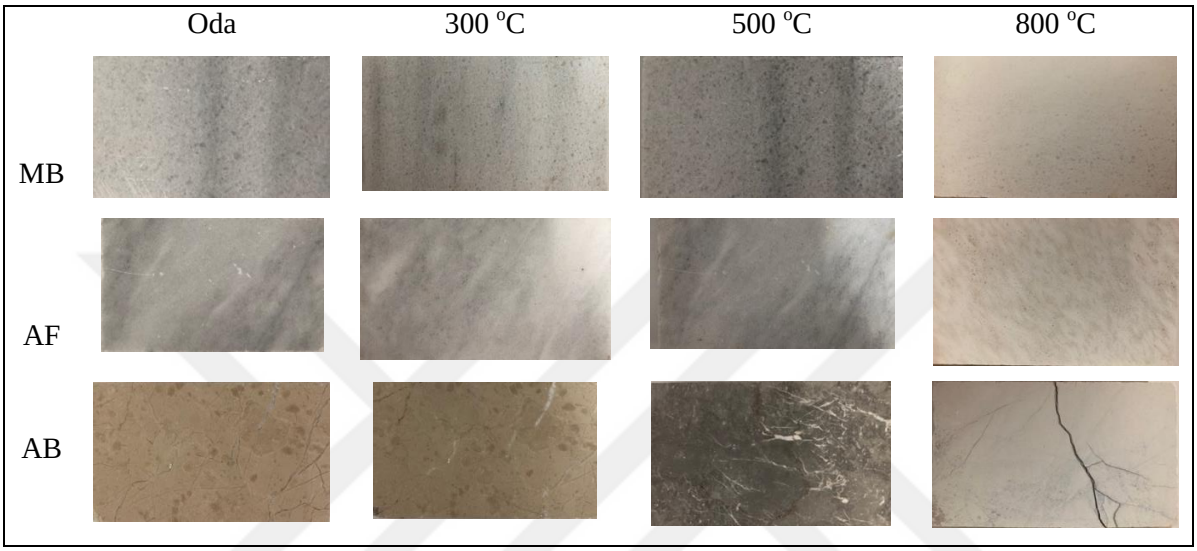
Şekil 4.2. VS, VI ve VG taşlarının makroskobik ve mikroskobik görünümleri.

4.2. MB, AF ve AB Taşlarının Yüksek Sıcaklık Sonrası Analiz Sonuçları

4.2.1. Görünüş değişiklikler

MB, AF ve AB taşlarının oda koşulu, 300, 500 ve 800 ^{o}C sıcaklık sonrası görünümleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekil 4.3'ten de görüldüğü gibi, 300 ^{o}C'ye kadar MB, AF ve AB taşlarının rengini koruduğu görülmüştür. Beyaz renkli MB ve AF mermer numunelerinin renklerinin beyaz renkten krem renk tonuna döndüğü görülmüştür. 500°C'ye ısıtılan numunelerin renk ve görünüşlerinin gri tonlara doğru bir koyulaşma olduğu görülmüştür. Özellikle AB numunesinde renk değişimi 500 ^{o}C sıcaklık sonrası diğer numunelere kıyasla daha belirgindir. Literatürdeki bazı araştırmacılarda 500 ^{o}C nin üzerinde kalsit içeren kayaçların (mermer ve travertenler) grimsi renge dönüştüğünü bildirmişlerdir (Özgüven ve Özçelik, 2015). Bu olaya mermerin bünyesinde bulunan demir gibi safsızlıklar neden olmuştur. 800 ^{o}C sıcaklığın mermerlerin renk ve görünüşlerine önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Tüm

numunelerin bu sıcaklık değerinde bozulmaya bağlı olarak ve yüzeylerinin donuk beyaz renge dönüştüğü görülmüştür. Ayrıca, AB numunesinin yüzeyinde çatlak oluşumu meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar bazı araştırmacıların çalışmalarında da belirtilmiştir (Chakrabarti ve ark., 1995; Sassoni ve Franzoni, 2014; Özgüven ve Özçelik, 2015; Gautam ve ark., 2020; Huang ve ark., 2021).



Şekil 4.3. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası görünümleri.

4.2.2. Kütle kaybı ölçüm sonuçları

Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan doğal taşların kütlelerinde değişim meydana gelir. Doğal taşın içindeki suyun buharlaşması, minerallerin faz dönüşümüne uğraması ve tabakalar arasındaki suyun buharlaşması gibi etkenler kütle kaybına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklık sonrası mermer numunelerinin kütle kayıpları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Elde edilen verilere göre 300 °C sıcaklık sonrası MB, AF ve AB numunelerinde sırasıyla 0.018%, 0.012 % ve 0.004% oranlarında kütle kaybı olmuştur. 800 ◦C sıcaklık sonrası kalsiyum karbonatın bozulması nedeniyle numunelerin kütle kaybında önemli oranda artışlar meydana gelmiştir. 800 °C sıcaklık sonrası MB, AF ve AB taşlarının kütle kaybı sırasıyla 2.016 %, 3.813 % ve 4.184 % olarak belirlenmiştir. 800 ^{o}C sonrası en fazla kütle kaybı AB kireçtaşı numunesinde meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar literatürdeki diğer araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Gautam ve ark., 2020; Huang ve ark., 2021; Özdemir, 2022). Gutam ve ark. (2020), Makrana mermerinde 300 ^{o}C, 500 ^{o}C ve 700 ^{o}C ısıl işlem sonrasında sırasıyla 0.47,%, 0.72% ve

3.77% oranlarında kütle kaybına uğradığını bildirmişlerdir. Huang ve ark. (2021), 700 ◦C sıcaklık uygulanan mermer numunelerinde % 4 kütle kaybı olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.3. MB, AF ve AB taşlarının yüksek sıcaklık sonrası kütle kaybı değerleri

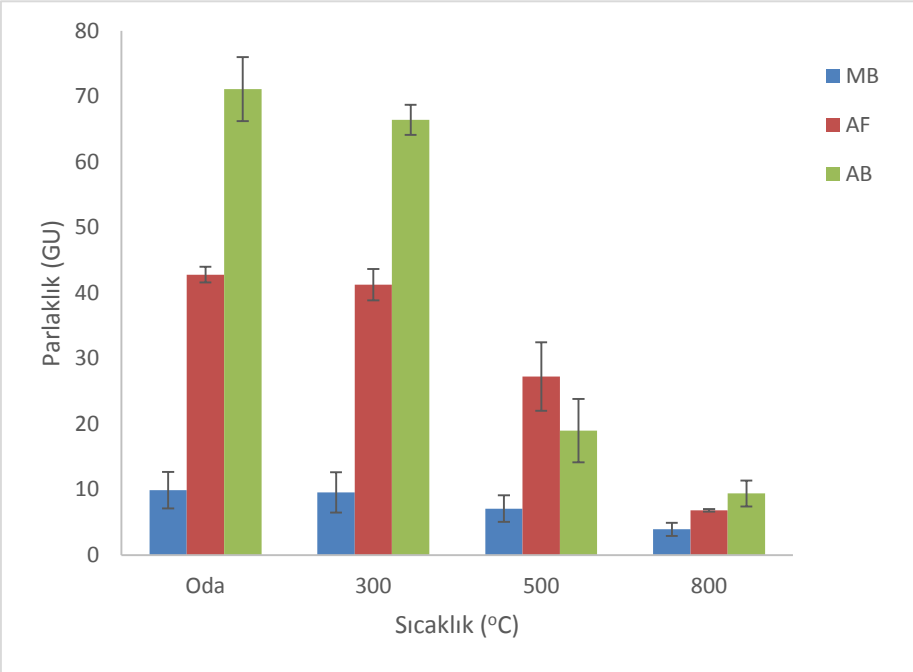
Numune kodu	**Sıcaklık**		
	300 ^{o}C	**500 ^{o}C**	**800 ^{o}C**
MB	0.018	0.043	2.016
AF	0.012	0.023	3.813
AB	0.004	0.068	4.184

4.2.3. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları

MB, AF ve AB taşlarının parlaklık özellikleri üzerinde sıcaklığın önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Uygulanan sıcaklığının artmasıyla birlikte, doğal taşların parlaklık değerlerinin azaldığı görülmüştür. MB, AF ve AB taşlarının aynasal parlaklık değerleri Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'da verilmiştir. Oda koşullarında MB, AF ve AB numunelerinin parlaklık değerleri sırasıyla 9.9, 42.78 ve 71.06 GU (parlaklık birim) olarak belirlenmiştir. 300 ^{o}C sonrası MB, AF ve AB numunelerin parlaklık değerlerinde sırasıyla 3.33%, 3.58% ve 6.61% ve azalma elde edilmiştir. 800 C sıcaklık sonrasında MB, AF ve AB numunelerinin parlaklık değerleri sırasıyla 3.93, 6.83 ve 9.77 GU olarak belirlenmiştir. MB, AF ve AB numunelerinde 800 ^{o}C işlem sonrası sırasıyla 60,30%, 84,03% ve 86,78% oranlarında parlaklık kaybı meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar literatürdeki bazı araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Martinho ve ark., 2022; Özdemir, 2022). Özdemir (2022), çalışmasında 400 ^{o}C ve 800 ^{o}C sıcaklık sonrası kireçtaşlarının parlaklık değişimlerini araştırmıştır. Kireçtaşı numunelerinde 400 ^{o}C sıcaklık sonrası 6.44 ile 13.1 % arasında parlaklık kaybı olurken 800 ^{o}C sıcaklık sonrasında 55,4 ile 84.5% arasında parlaklık kaybı olduğunu bildirmiştir. Martinio ve ark. (2022), kireçtaşlarının 300 ^{o}C ve 600 ^{o}C sıcaklık sonrasında sırasıyla %12 ve %24 oranında parlaklık kaybına uğradıklarını belirtmişlerdir.

Çizelge 4.4. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası parlaklık değerleri

Kod	Oda (GU)	300 °C (GU)	Parlaklık Kaybı (%)	500 °C (GU)	Parlaklık Kaybı (%)	800 °C (GU)	Parlaklık Kaybı (%)
MB	9.9 ± 2.79	9.57 ±3.09	-3.33	7.1 ±2.01	-28.28	3.93 ±0.99	-60.30
AF	42.78 ±1.20	41.25 ±2.40	-3.58	27.25 ±5.22	-36.30	6.83 ±0.21	-84.03
AB	71.06 ±4.90	66.4 ±2.31	-6.61	19.01 ±4.85	-73.28	9.37 ±1.99	-86.78



Şekil 4.4. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası parlaklık değişimleri.

4.2.4. Renk ölçüm sonuçları

MB, AF ve AB taşlarının 300, 500 ve 800 °C sıcaklık sonrası renk parametreleri (L, a ve b) ve toplam renk değişim değerleri Çizelge 4.5'de ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Isıl işlem öncesinde mermer numunelerinin beyazlık değerlerinin (L*) çok benzer olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklık işlemi öncesi, MB, AF ve AB taşlarının L* değerlerinin sırasıyla 73.92, 74.0 ve 73.01 olduğu görülmüştür. 500 °C sıcaklığa kadar numunelerin L parametreleri arasında anlamlı bir ilişki elde edilememiştir. MB ve AF numunelerinin L değerlerinde 500 °C sıcaklığa kadar artış olurken AB numunesinin L parametresinde azalış meydana gelmiştir. 800 °C ısıl işlem

sonrası tüm numunelerin L değerlerinde önemli oranda artışlar meydana gelmiştir. 800 ^{o}C sonrası MB, AF ve AB mermer numunelerinin L değerleri sırasıyla 95.39, 94.08 ve 95.86 olarak belirlenmiştir. Numunelerin sıcaklık sonrası L değerlerinin yüksek oranda artmasının nedeni kalsit mineralinin bozulmasıdır. 800 ^{o}C sıcaklık sonrasında MB ve AF numunelerinin a parametresi (kırmızı/yeşil) ve b parametresi (sarı/mavi) artış olurken AB numunesinde a ve b parametrelerinde azalış meydana gelmiştir.

Literatürde kireçtaşlarının yüksek sıcaklık etkisi sonrası L, a ve b parametrelerine etkisi ile ilgili çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Özdemir, 2022; Özgüven ve Özçelik, 2015). Özgüven ve Özçelik (2015), çalışmalarında bazı kireçtaşı ve mermerin renk özelliği üzerinde yüksek sıcaklıkların etkisini araştırmışlardır. Isıl işlem öncesi kireçtaşlarının yüzey beyazlık değeri (L*)nin 90.59–98.40, arasında olduğunu ve 800 ^{o}C sıcaklık uygulamasından sonra ise bu değerlerin 86.61–97.71 arasında değiştiğini bildirmiştir. Özdemir (2022), çalışmasında ısıl işlem öncesi kireçtaşlarının yüzey beyazlık değeri (L*)nin 71.94–83.77, 800 °C arasında olduğunu ve 800 ^{o}C sıcaklık uygulamasından sonra ise bu değerlerin 81.17–93.93 arasında değiştiğini bildirmiştir. Ayrıca a parametresininin 600 ^{o}C sıcaklığa kadar arttığını ancak bazı numunelerde a parametresinde artış olmadığını belirtmiştir. Numunelerin kırmızılık değerinin Fe_2O_3 içeriğinden etkilendiğini etkili bildirmiştir. Doğal taşların renk değişimi kalorimetrik ölçümler ile belirlenir. Çoğu araştırmacı, bir yüzeydeki renk değişim değeri (ΔE), 3'nin üzerinde toplam renk farkının insan gözü ile fark edilebileceğini belirtmişlerdir (El Jazouli ve Tsangouri, 2022; Sciarretta ve ark., 2021). Bu çalışmada, yüksek sıcaklık etkisi sonrası mermer yüzeylerindeki kabul edilebilir toplam renk değişimi için eşik değer ΔE* =5 olarak seçilmiştir. 300 C sıcaklık sonrası MB, AB ve AF numunelerinde toplam renk değişimi sırasıyla 7.94, 10.64 ve 1.45 olarak elde edilirken 800 ^{o}C sonrası bu değerler sırasıyla 19.64, 20.54 ve 25.59 olarak belirlenmiştir. MB, AF ve AB taşlarının renk değişimi üzerinde yüksek sıcaklık etkisinin önemli oranda etkili olduğu görülmüştür.

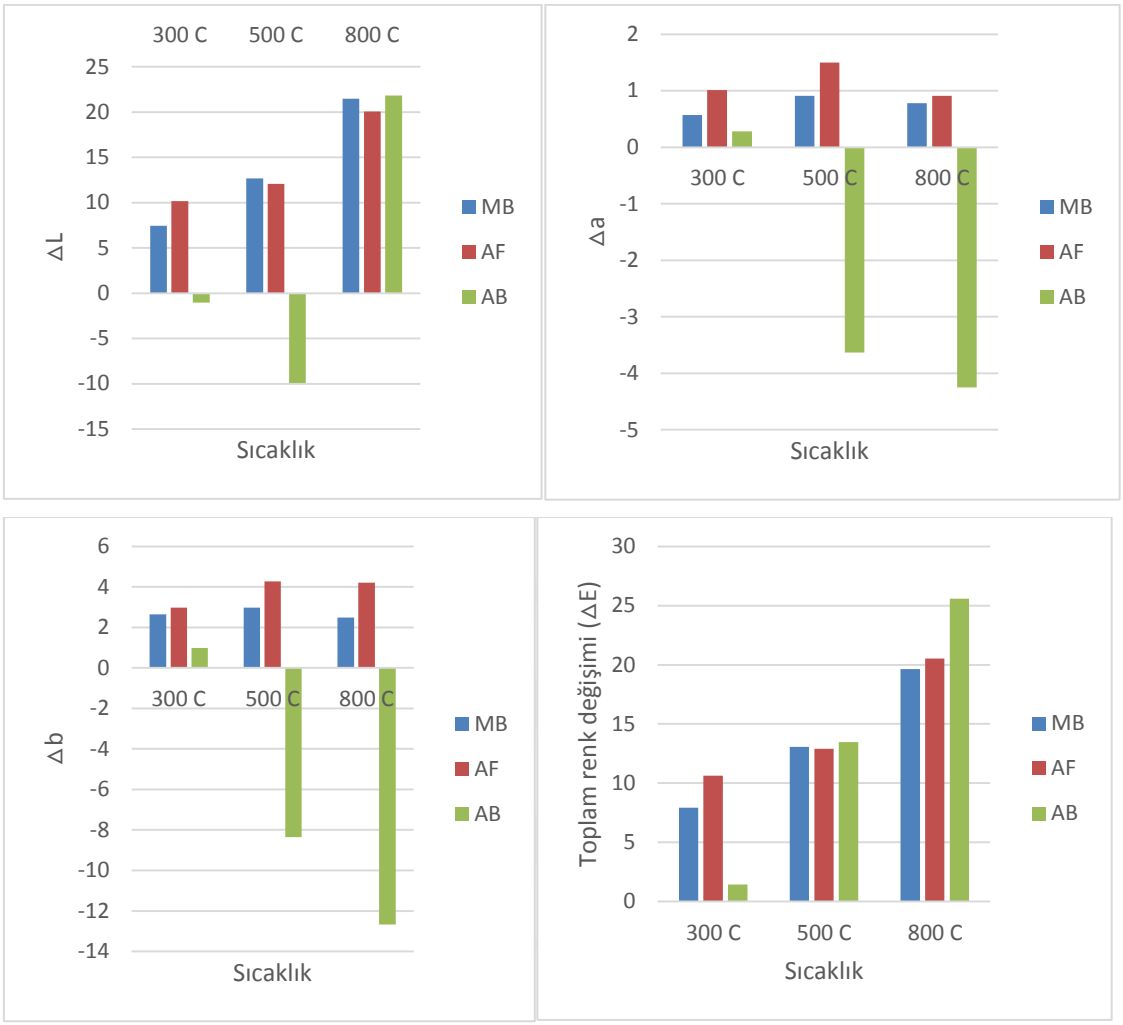
Çizelge 4.5. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası L, a, b değerleri

Kod	**Öncesi**	**Sonrası**	**Değişim**

	Sıcaklık	L	a	b	L	a	b	ΔL	Δa	Δb
	300 °C	73.92	-0.82	-0.9	81.38	-0.25	1.75	7.46	0.57	2.65
MB	500 °C	73.92	-0.82	-0.9	86.6	0.09	2.07	12.68	0.91	2.97
	800 °C	73.92	-0.82	-0.9	95.39	-0.04	1.58	21.47	0.78	2.48
	300 °C	74.00	-1.49	-2.03	84.16	-0.48	0.94	10.16	1.01	2.97
AF	500 °C	74.00	-1.49	-2.03	86.09	0.01	2.24	12.09	1.5	4.27
	800 °C	74.00	-1.49	-2.03	94.08	-0.58	2.18	20.08	0.91	4.21
	300 °C	74.04	4.17	12.83	73.01	4.45	13.81	-1.03	0.28	0.98
	500 °C	74.04	4.17	12.83	64.13	0.54	4.48	-9.91	-3.63	-8.35
AB	800 °C	74.04	4.17	12.83	95.86	-0.08	0.16	21.82	-4.25	12.67

Çizelge 4.6. MB, AF ve AB taşlarının yüksek sıcaklık sonrası toplam renk değişim değerleri

Kod		$(\Delta L)^2$	$(\Delta a)^2$	$(\Delta b)^2$	$(\Delta L)^2+(\Delta a)2+(\Delta b)2$	(ΔE)
MB	300	55.65	0.32	7.02	62.99	7.94
	500	160.78	0.83	8.82	170.43	13.06
	800	460.96	0.61	6.15	467.72	19.64
AF	300	103.23	1.02	8.82	113.07	10.64
	500	146.17	2.25	18.23	166.65	12.91
	800	403.21	0.83	17.72	421.76	20.54
AB	300	1.06	0.08	0.96	2.10	1.45
	500	98.21	13.18	69.72	181.11	13.46



Şekil 4.5. MB, AF ve AB taşlarının yüksek sıcaklık sonrası ΔL, Δa , Δb ve toplam renk değişim grafikleri.

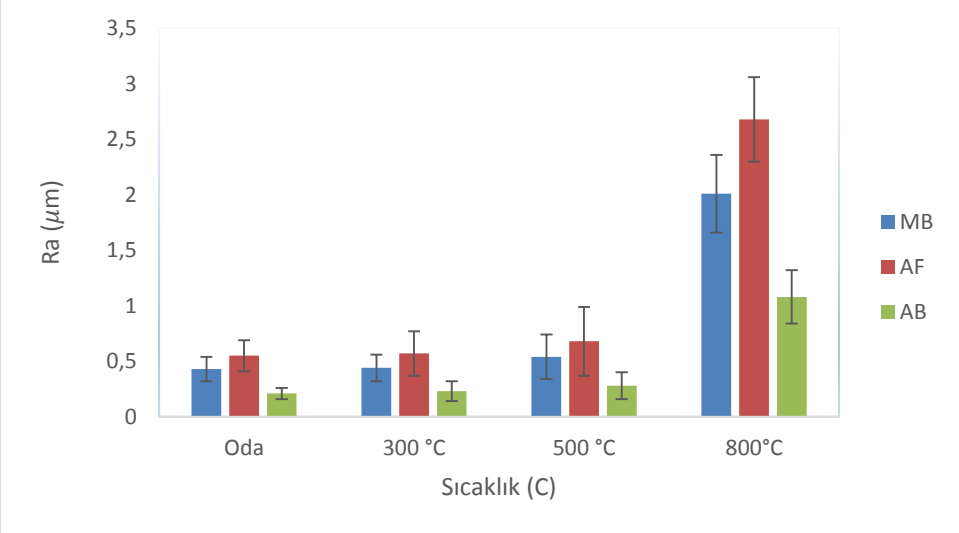
4.2.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

MB, AF ve AB taşlarının ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası yüzey pürüzlülüğündeki değişimler Çizelge 4.7'da ve Şekil 4.6'te verilmiştir. Oda koşullarındaki MB, AF ve AB numunelerinin pürüzlülük değerleri sırasıyla 0.43µm, 0.55µm ve 0,21 µm'dir. Yüksek sıcaklık etkisi sonrası numunelerin Ra pürüzlülük değerlerinin arttığı ancak bu artışların çok yüksek oranda olmadıkları görülmüştür. MB, AF ve AB numunelerinin 300 ^{o}C sıcaklık sonrası Ra pürüzlülük değerlerindeki artışlar %2.33, 3.64 ve 9.52 iken 800 ^{o}C sonrasında MB, AF ve AB numunelerinde Ra pürüzlülük değerlerinde sırasıyla %367.44, %387.27 ve % 414.29 olarak hesaplanmıştır. 800 ^{o}C sonrası en az pürüzlülük değişimi MB numunesinde görülürken

en fazla pürüzlülük değişimi AB numunesinde meydana gelmiştir. 800 ^{o}C sıcaklık sonrasında mermerlerin dekompozizasyona uğraması nedeniyle pürüzlülük değerlerinde artışlar meydana gelmiştir.

Çizelge 4.7. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası pürüzlülük değerleri

Kod	Oda	300 °C	Değişim %	500 °C	Değişim %	800°C	Değişim %
MB	0.43	0.44	2.33	0.54	25.58	2.01	367.44
AF	0.55	0.57	3.64	0.68	23.64	2.68	387.27
AB	0.21	0.23	9.52	0.28	33.33	1.08	414.29



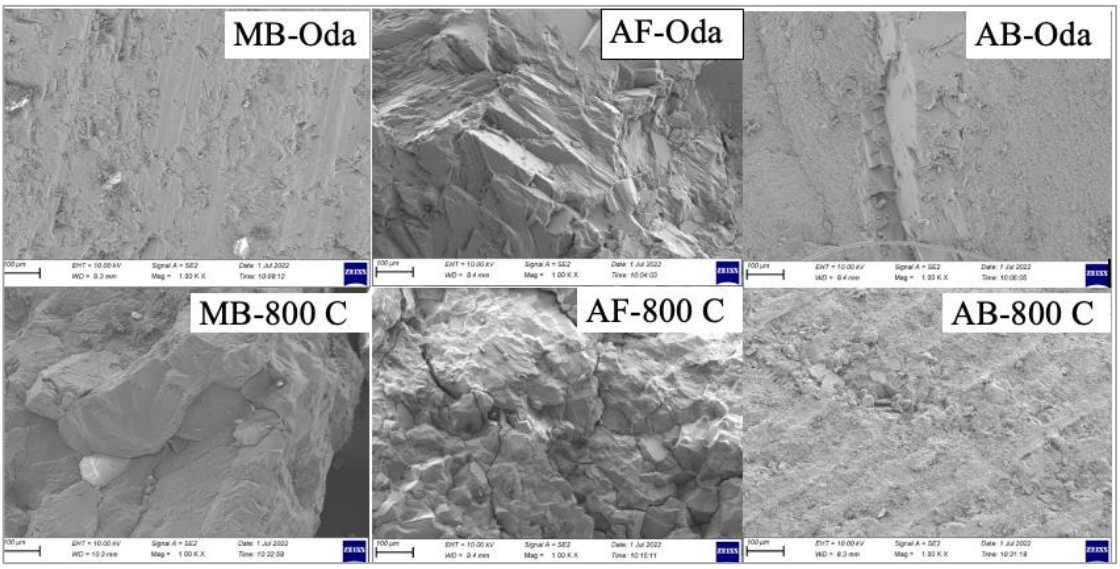
Şekil 4.6. MB, AF ve AB taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası pürüzlülük grafikleri.

Literatürde kireçtaşı ve mermerlerin yüksek sıcaklık sonrası pürüzlülük değişimleri ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Dong ve ark., 2020). Daha çok granit ve kumtaşının sıcaklık sonrası yüzey özeliklerindeki değişiklikler ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır (Dong ve ark., 2020; Zhao ve ark., 2022). Zhao ve ark. (2022), çalışmalarında yüksek sıcaklık etkisi sonrası kireçtaşlarının Ra ve Rz parametrelerine olan etkisini araştırmışlardır. Sıcaklık 400 °C'nin üzerine çıktığında hem Ra hem de Ry önemli ölçüde arttığını ve kireçtaşı yüzeylerininim daha pürüzlü hale geldiğini belirtmişlerdir. Sıcaklık 600 °C'ye ulaştığında ise Ra ve Rz değerlerinin sırasıyla 137.14% ve 416.66% oranlarında artış olduğunu belirtmişlerdir. Dong ve ark.

(2020), kırmızı kum taşının pürüzlülük değişiminin sıcaklıkla orantılı bir şekilde değişmediğini belirtmişlerdir.

4.2.6. MB, AF ve AB taşlarının SEM analiz sonuçları

MB, AF, AB taşlarının yüksek sıcaklık öncesi ve 800 ^{o}C sonrasına ait içyapı görünümleri Şekil'4.7 de verilmiştir. Doğal taşların içyapı incelemelerinden de görüldüğü gibi, ısıl işlem görmemiş numunelerin kristal tane şekillerinin düzenli olduğu ve kristal tanelerinin keskin kenar ve köşelere sahip oldukları görülmüştür. 800°C sonrası MB, AF ve AB numunelerinin iç yapı görünümleri incelendiğinde ise, kalsit mineralinin termal genleşmeye uğraması nedeniyle kristal taneleri arasında uyumsuzlukların olduğu buna bağlı olarak termal çatlakların arttığı görülmüştür. Sıcaklık artışına bağlı olarak taşın iç yapısında mikro boşluklar ve mikro kırıklarda genişleme olduğu görülmüştür. Ayrıca, kristal tane şekillerinin düzensiz hale geldiği görülmüştür. MB ve AF numunelerin de kristal yapının bozulmasına bağlı olarak taneler arası çatlaklar arttığı ve daha geniş kırıkların oluşmasına neden olduğu görülmüştür. MB ve AF numunelerinde mikro çatlakların daha belirgin olduğu buna karşın AB numunesinde ise daha çok kristal yapı bozulmasının (kristal kenar ve köşelerinin keskinliğinde azalma ve ufalanma) daha çok olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklığın karbonat içerikli taşların mikro yapıları üzerindeki olumsuz etkileri daha öncede birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Malaga-Starzec ve ark., 2006; Zhang ve ark., 2015; Gautam ve ark., 2020; Meng ve ark., 2020; Martinho ve ark., 2022).

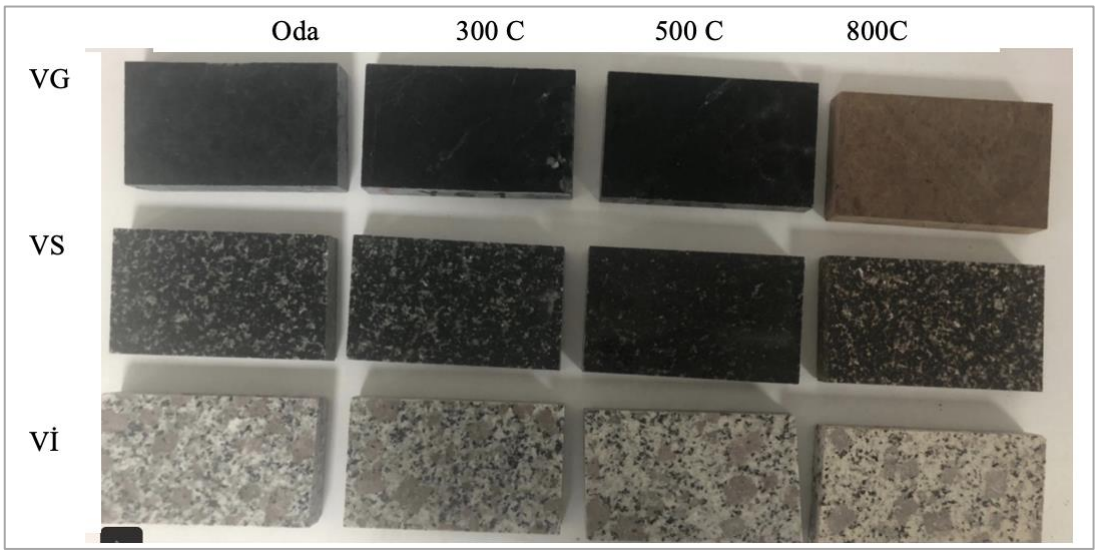


Şekil 4.7. MB, AF ve AB taşlarının oda ve 800 C sonrası içyapı görünümleri.

4.3. VS, VG ve Vİ Taşlarının Yüksek Sıcaklık Sonrası Analiz Sonuçları

4.3.1. Görünüş değişiklikleri

VS, VG ve Vİ taşlarının oda, 300, 500 ve 800 ^{o}C yüksek sıcaklık sonrası görünümleri Şekil 4.8'te gösterilmiştir. Şekil 4.8'ten de görüldüğü gibi, 300 C sıcaklık sonrası numunelerin yüzey renk ve görünüşlerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. 500 ^{o}C sonrasında ise özellikle VS ve VG numunelerin renklerinde koyulaşma eğilimi olduğu belirlenmiştir. 800 ^{o}C sonrasında ise Kuvarslı Diyorit, Granit ve Serpanitinit numunelerinin yüzey renklerinde önemli oranda değişikliklerin olduğu tespit edilmiştir. 800 ^{o}C sonrası en fazla renk değişikliği VG taşında görülürken en az renk değişikliği Vİ numunesinde görülmüştür. VG taşının(serpantinit) diğerlerine kıyasla daha fazla yüksek sıcaklıktan etkilenmesinde taşın kimyasal bileşiminin (yüksek oranda MgO içeriği) etkili olduğu düşünülmektedir. Kimyasal içeriği nedeniyle VG taşı daha fazla oranda renk bozulmasına uğramıştır.



Şekil 4.8. VS, VG ve Vİ taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası görünümleri.

4.3.2. Kütle kaybı ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık sonrası kütle kaybı değerleri Çizelge 4.3 te verilmiştir. Elde edilen verilere göre 300 °C sıcaklık sonrası VS, VG ve Vİ numunelerinde sırasıyla 0.009%, 0.002 % ve 0.007% oranlarında kütle kaybı olmuştur. 800 °C sıcaklık sonrası VS, VG ve Vİ numunelerinde görülen kütle kayıpları ise sırasıyla 1.516 %, 1.220 % ve 1.410 % olarak belirlenmiştir. Huang ve ark. (2021), 700 ^{o}C sıcaklık uygulanan granit numunelerinde yaklaşık % 1.5 civarında kütle kaybı olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Sun ve Hu (2021), çalışmalarında 800 C yüksek sıcaklık sonrası granit numunelerinin kütle kaybının %0.44 olduğunu bildirmişlerdir. Yang ve ark. (2022), çalışmalarında granitlerde 150 ^{o}C sıcaklığa kadar kütle kaybı olmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, 150 ^{o}C sıcaklığın üzerinde ise granitin iç kısmındaki suyun buharlaşması sonucu kütle azalması olduğunu bildirmişlerdir. Granit numunelerinde, 300 ^{o}C sonrasında % 0.06 ve 900 ^{o}C sonrasında ise %0.27 oranında kütle kaybı olduğunu bildirmişlerdir. Li ve Ju (2018), çalışmalarında granitlerin 650 ^{o}C sıcaklık sonrası kütle kayıplarının 0.230 olduğunu çalışmalarında belirtmişlerdir.

Çizelge 4.8. VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık sonrası kütle kaybı değerleri

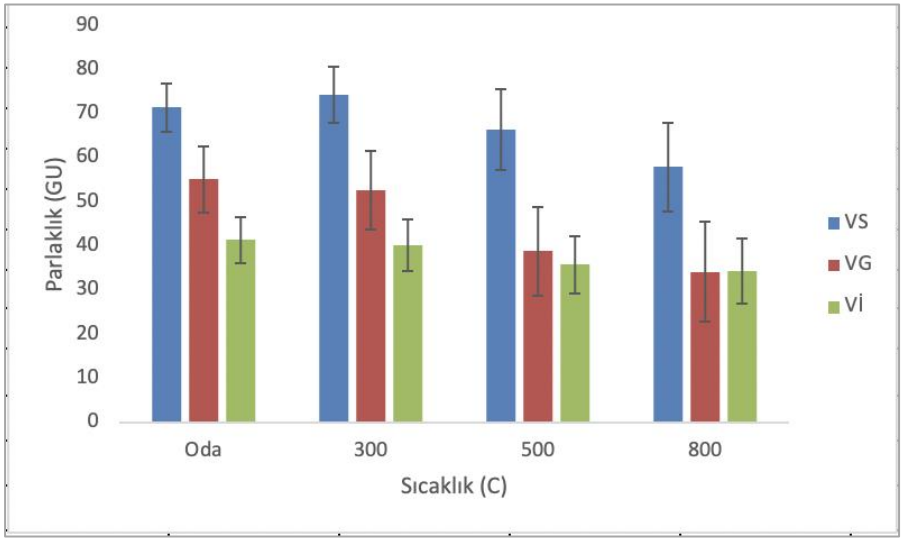
Numune kodu	Sıcaklık (^{o}C)	Kütle Kaybı (%)
VS	300	0.009
	500	0.180
	800	1.516
VG	300	0.002
	500	0.059
	800	1.220
Vİ	300	0.007
	500	0.242
	800	1.410

4.3.3. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının yüzey parlaklık değerleri Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9'da verilmiştir. Oda koşullarında VS, VG ve VI numunelerinin parlaklık değerleri sırasıyla 71.44, 55.16 ve 41.49 GU olarak belirlenmiştir. 300 ^{o}C sonrası VS, VG ve VI numunelerinin parlaklık değerlerinde sırasıyla % 4.10, % 4.55 ve %3.06 parlaklık kaybı olurken 800 ^{o}C sonrası VS, VG ve VI numunelerinin parlaklık değerlerinde sırasıyla %18.91, %38.05 ve % 17.09 oranlarında parlaklık kaybı meydana gelmiştir. Ayrıca, sıcaklık artışı ile birlikte tüm numunelerde parlaklık kayıplarının arttığı görülmüştür. En fazla parlaklık kaybı VG numunesinde görülürken en az parlaklık kaybı Vİ numunesinde görülmüştür. Dioniso (2021), çalışmasında 280 ^{o}C ve 490 ^{o}C ve 950 C sıcaklık sonrası granitlerin parlaklık değişimlerini araştırmıştır. Granit numunelerinde 950 ^{o}C sıcaklık sonrası 26.6 % parlaklık kaybı olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 4.9. VS, VG ve Vİ taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası parlaklık değerleri

Kod	Oda (GU)	300 ^{o}C (GU)	Parlaklık Kaybı (%)	500 ^{o}C (GU)	Parlaklık Kaybı (%)	800 ^{o}C (GU)	Parlaklık Kaybı (%)
VS	71.44 ± 5.57	74.37±6.48	-4.10	66.55 ± 9.15	-6.84	57.93±10.12	-18.91
VG	55.16 ± 7.52	52.65±8.96	-4.55	38.87 ± 10.11	-29.53	34.17 ±11.32	-38.05
VI	41.49± 5.23	40.22 ±5.78	-3.06	35.75 ± 6.54	-13.83	34.40 ±7.38	-17.09



Şekil 4.9. VS VG ve Vİ taşlarının oda ve yüksek sıcaklık sonrası parlaklık değerleri.

4.3.4. Renk ölçüm sonuçları

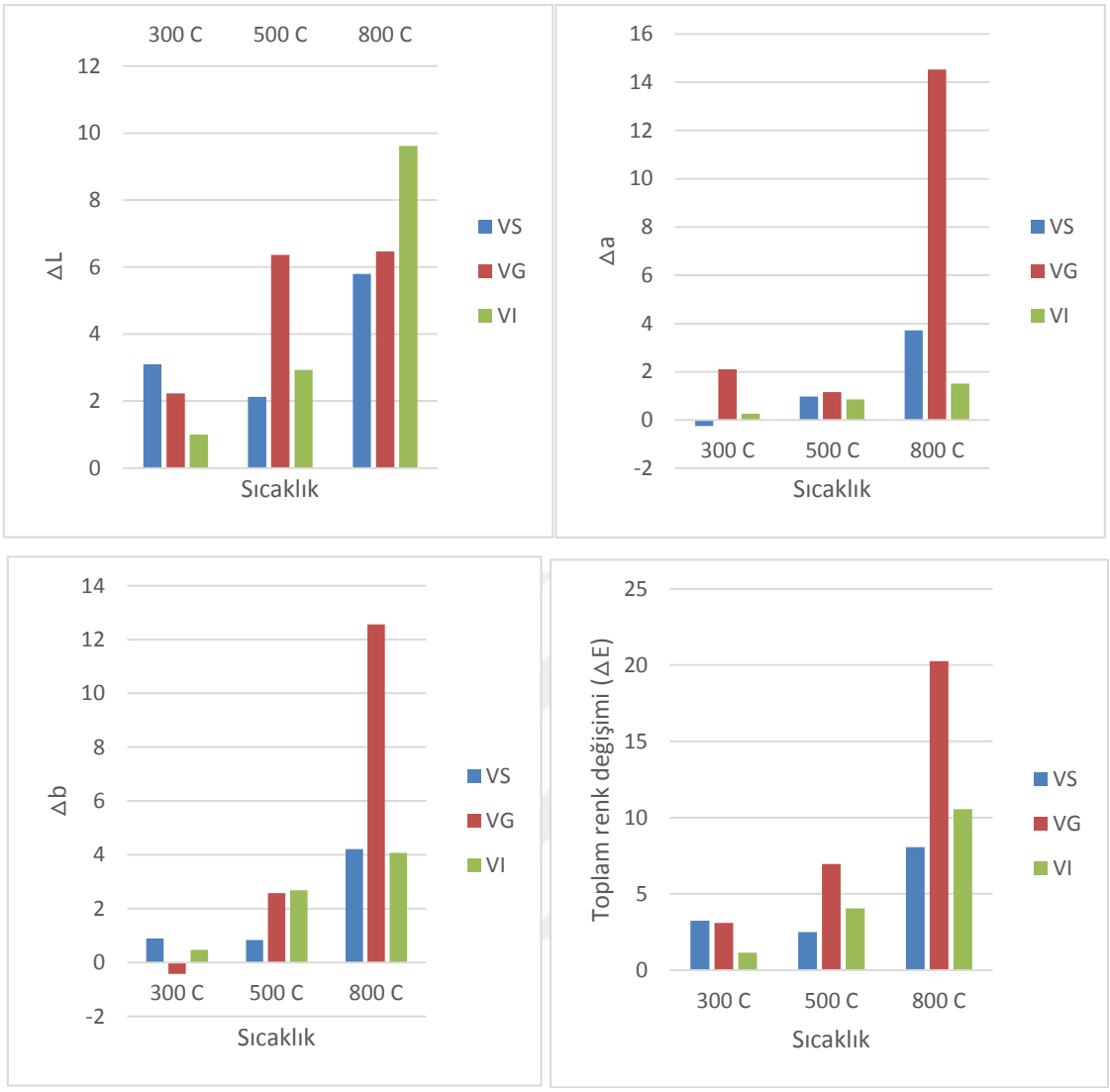
VS, VG ve Vİ taşlarının oda, 300, 500 ve 800 ^{o}C yüksek sıcaklık sonrası L, a ve b renk parametreleri ve toplam renk değişim değerleri Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Yüksek sıcaklık işlemi öncesinde VS, VG ve Vİ numunelerinin beyazlık değerlerinin (L*) çok benzer olduğu görülmüştür. 300 ^{o}C sonrası VS, VG ve Vİ numunelerin L* değerlerindeki değişimler sırasıyla 3.10, 2.23, 1 iken 800 ^{o}C sonrası bu değerler sırasıyla 5.8, 6.47 ve 9.6'dir. L parametresindeki en yüksek değişim Vİ numunesinde görülürken en az değişim VS numunesinde görülmüştür. 300 ^{o}C yüksek sıcaklık sonrası VS, VG ve Vİ numunelerinde sırasıyla 3.24, 3.09, 1.14 toplam renk değişimi olurken 800C yüksek sıcaklık sonrasında sırasıyla 8.07, 20.26, 10.55 toplam renk değişimi meydana gelmiştir. Huang ve ark. (2021), Granitlerin 400 ^{o}C, 800 ^{o}C ve 1000 ^{o}C yüksek sıcaklık sonrası renk değişimleri sırasıyla 5.5, 15, 15.5 olarak belirlemişlerdir. Vazquez ve ark. (2016), granitlerin 200 ^{o}C, 400 ^{o}C, 600 ^{o}C ve 1000 ^{o}C sıcaklık sonrası renk değişimlerini incelemişlerdir. 800 ^{o}C sıcaklık sonrası granit numunelerinin toplam renk değişimi 1.5 iken 1000 ^{o}C sonrası toplam renk değişimlerinin 16.7 olduğunu bildirmişlerdir. Deng ve ark. (2022), çalışmalarında granitleri 200 ^{o}C 400 ^{o}C, 600 ^{o}Cve 800 ^{o}C yüksek sıcaklık uygulamışlardır. Granitlerin 400 ^{o}C sıcaklık sonrası toplam renk değişimlerininin 4.5 iken 800 ^{o}C sıcaklık sonrası toplam renk değişim değerlerinin 12.5 olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.10. Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası VS, VG ve Vİ taşlarının L a ve b değerleri

		Öncesi			Sonrası			Değişim		
Kod	**°C**	**L**	**a**	**b**	**L**	**a**	**b**	**ΔL**	**Δa**	**Δb**
VS	300	37.82	-0.81	0.63	40.92	-1.05	1.52	3.10	-0.25	0.89
	500	36.98	-0.85	0.78	39.12	0.14	1.60	2.13	0.98	0.83
	800	36.51	-1.03	0.00	42.31	2.69	4.21	5.8	3.72	4.21
VG	300	28.20	-2.29	-1.03	25.97	-0.19	-1.45	-2.23	2.10	-0.42
	500	32.10	-1.34	-0.98	25.74	-0.18	1.61	-6.36	1.16	2.58
	800	36.33	-4.76	1.84	42.8	9.77	14.4	6.47	14.52	12.56
Vİ	300	59.31	-0.49	2.30	60.30	-0.22	2.77	1.00	0.27	0.47
	500	62.37	-0.23	2.81	65.29	0.62	5.48	2.93	0.85	2.68
	800	55.40	1.14	2.96	65.02	2.64	7.03	9.62	1.51	4.07

Çizelge 4.11. Yüksek sıcaklık sonrası VS, VG ve Vİ taşlarının toplam renk değişim değerleri

Kod	**°C**	**$(\Delta L)^2$**	**$(\Delta a)^2$**	**$(\Delta b)^2$**	**$(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2$**	**(ΔE)**
VS	300	9.62	0.06	0.78	10.47	3.24
	500	4.55	0.96	0.68	6.20	2.49
	800	33.64	13.84	17.72	65.20	8.07
VG	300	4.98	4.42	0.18	9.58	3.09
	500	40.45	1.34	6.67	48.46	6.96
	800	41.86	210.83	157.75	410.44	20.26
Vİ	300	0.99	0.07	0.22	1.29	1.14
	500	8.57	0.72	7.16	16.45	4.06
	800	92.54	2.28	16.56	111.39	10.55



Şekil 4.10. VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık sonrası ΔL, Δa , Δb ve toplam renk değişim grafikleri.

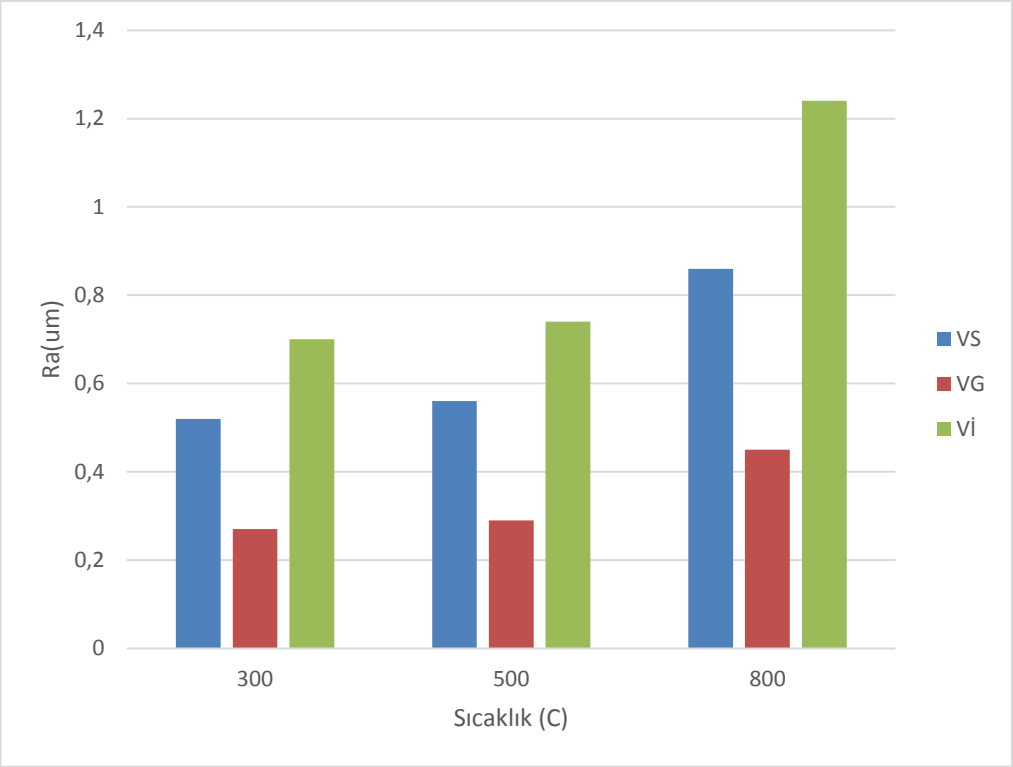
4.3.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık öncesi ve sonrasına ait yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.12'de ve Şekil 4.11'te verilmiştir. Oda koşullarındaki VS, VG ve Vİ numunelerinin pürüzlülük değerleri sırasıyla 0.51µm, 0.26 µm ve 0.68 µm'dir. Yüksek sıcaklık etkisi sonrası numunelerin Ra pürüzlülük değerlerinin arttığı ancak bu artışların çok yüksek oranda olmadıkları görülmüştür. VS, VG ve Vİ numunelerinin 300 ^{o}C sıcaklık sonrası Ra pürüzlülük değerlerindeki artışlar sırasıyla % 1.96, % 3.85 ve % 2.94 iken 800 ^{o}C sıcaklık sonrası Ra pürüzlülük değerlerindeki artışlar ise sırasıyla %68.63, %107.69 ve % 82.35'tür. 800 ^{o}C sıcaklık sonrası VS, VG

ve Vİ numunelerinin Ra pürüzlülük değerlerindeki en düşük değişim VS numunesinde meydana gelirken en yüksek değişim VG numunesinde meydana gelmiştir. Vazquez ve ark. (2016), çalışmalarında ince, orta ve iri taneli granitlerin yüksek sıcaklık sonrası pürüzlülük değişikliklerini araştırmışlardır. İri tane boyutuna sahip taşların 600 ^{o}C sıcaklığa kadar pürüzlülüğünde değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. 800 ^{o}C'den sonra ise pürüzlülük değerlerinde önemli oranda artış olduğunu belirtmişlerdir. İnce ve orta taneli granitlerde ise pürüzlülük değişiminin daha düşük sıcaklıklarda etkili olduğunu ancak pürüzlülük artışlarının sıcaklıkla orantılı bir şekilde gerçekleşmediğini bildirmişlerdir. Ayrıca, ince taneli granitlerde meydana gelen bozulmanın nedeninin ise mika taneleri arasındaki ayrışmadan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Sun ve Hu (2021), çalışmalarında yüksek sıcaklık etkisi sonrası ki granitlerin Ra ve Rz parametrelerine olan etkisini araştırmışlardır. Granitlerin 300 ◦C'ye kadar, Rz ve Ra değerlerinde önemli ölçüde etkilenmediğini belirlemişlerdir ancak ısıl işlem sıcaklığı 300 ◦C veya daha yüksek olduğunda ise Rz ve Ra değerlerinde artış olduğunu belirtmişlerdir. 800 ^{o}C sıcaklık sonrası Ra ve Rz değerlerinde sırasıyla 0,04 ve 0,03 pürüzlülük artışı olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.12. Yüksek sıcaklık sonrası VS, VG ve Vİ taşlarının pürüzlülük değişimi

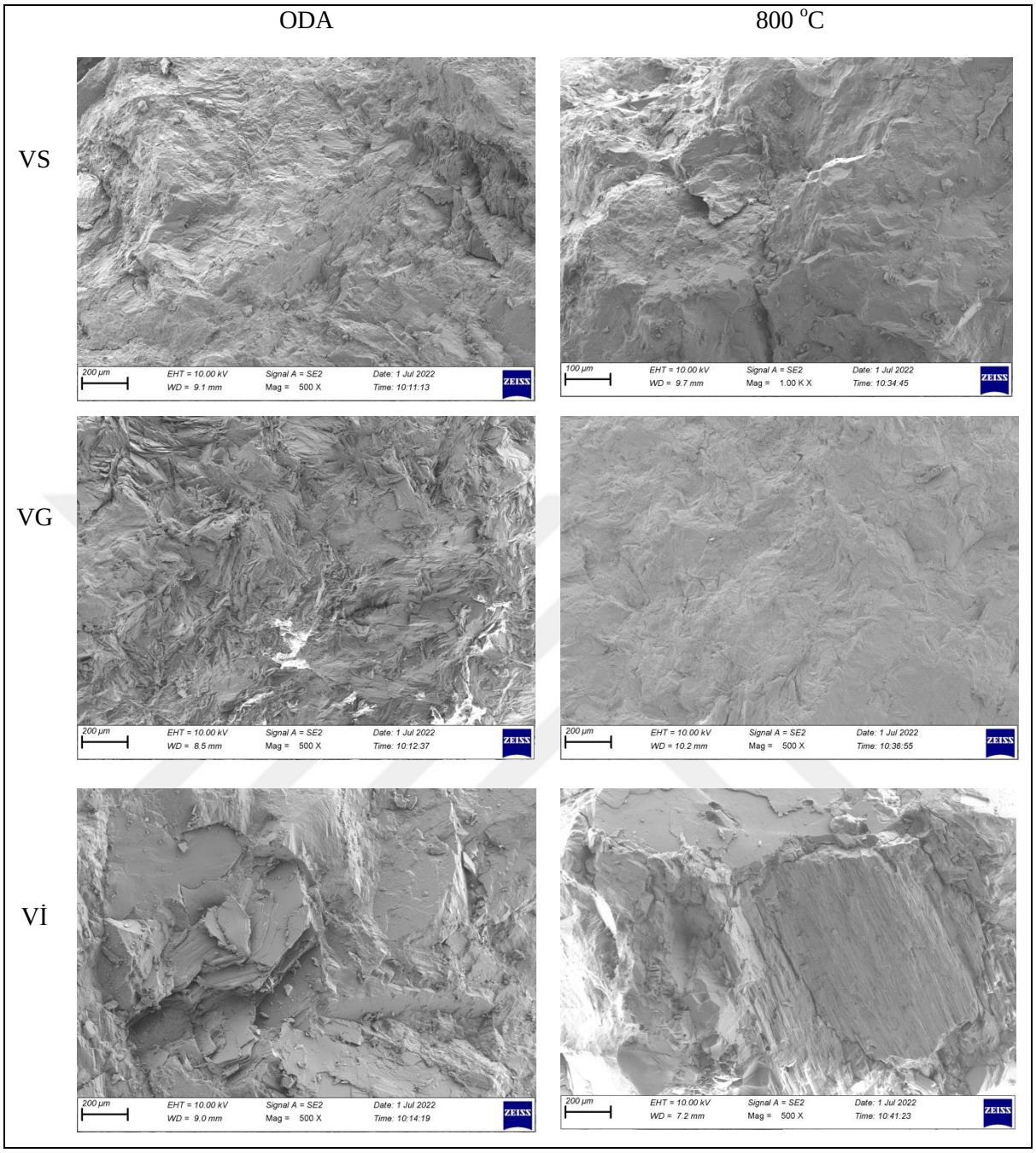
Kod	**Oda (μm)**	**300 °C (μm)**	**Değişim (%)**	**500 °C (μm)**	**Değişim (%)**	**800°C (μm)**	**Değişim (%)**
VS	0.51	0.52	1.96	0.56	9.80	0.86	68.63
VG	0.26	0.27	3.85	0.29	11.54	0.45	107.69
VI	0.68	0.7	2.94	0.74	8.82	1.24	82.35



Şekil 4.11. VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık sonrası pürüzlülük değişimi.

4.3.6. VS, VG ve Vİ taşlarının SEM analiz sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının yüksek sıcaklık öncesi ve 800 ^{o}C sonrasına ait içyapı görünümleri Şekil 4.12'de verilmiştir. VS, VG ve Vİ taşlarının 800 ^{o}C yüksek sıcaklık sonrası içyapı özelliklerinde önemli oranda değişikliklerin olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.12. VS, VG ve Vİ taşlarının oda ve 800 ^{o}C sonrası iç yapı görünümleri.

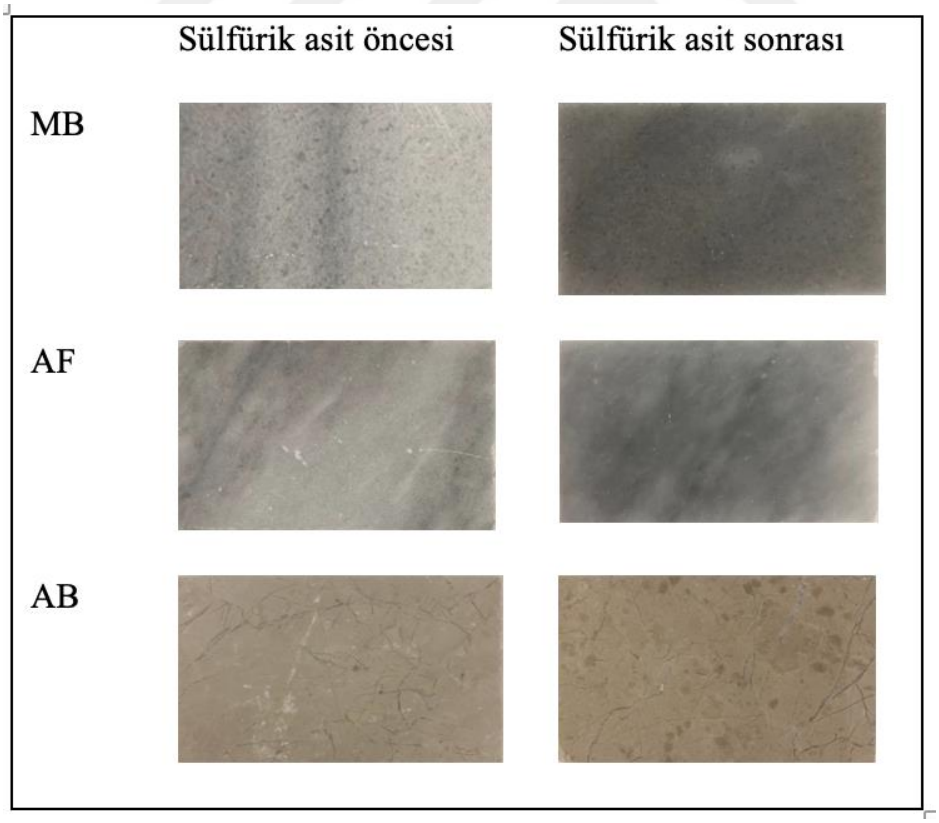
Li ve Ju (2018), çalışmalarında granit numunelerine yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası içyapı özelliklerini karşılaştırmışlardır. Oda koşulundaki granit numunelerinin mineral tanelerinin birbirleriyle iyi çimentolanmış olduğunu bildirmişlerdir. Sıcaklık artışı ile birlikte granit mineral tanelerinin hem sınır hem de tane içinde mikro çatlakların geliştiğini ve mikro çatlak ağları oluşturduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, tane

içi mikro çatlakların kuvars minerallerine göre feldspat minerallerinde daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

4.4. MB, AF ve AB Taşlarının Sülfürik Asit Sonrası Analiz Sonuçları

4.4.1. Görünüş değişiklikleri

MB, AF ve AB taşlarının sülfürik asit öncesi ve sonrasına ait görünüş değişiklikleri Şekil 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.13'den görüldüğü gibi, sülfürik asit çözelti buharına maruz kalan mermer numunelerinin yüzeylerinde renk koyulaşması ve deformasyon meydana gelmiştir. Bunun nedeni mermerin bünyesinde bulunan CaO in sülfürik asit ile reaksiyona girerek kalsiyum sülfat oluşumuna neden olmasıdır. Benzer sonuçlar literatürdeki araştırmacılar tarafından da desteklendiği görülmüştür (Vazquez ve ark., 2016; Chiu ve ark., 2020; Çetintaş ve Akboğa, 2020).



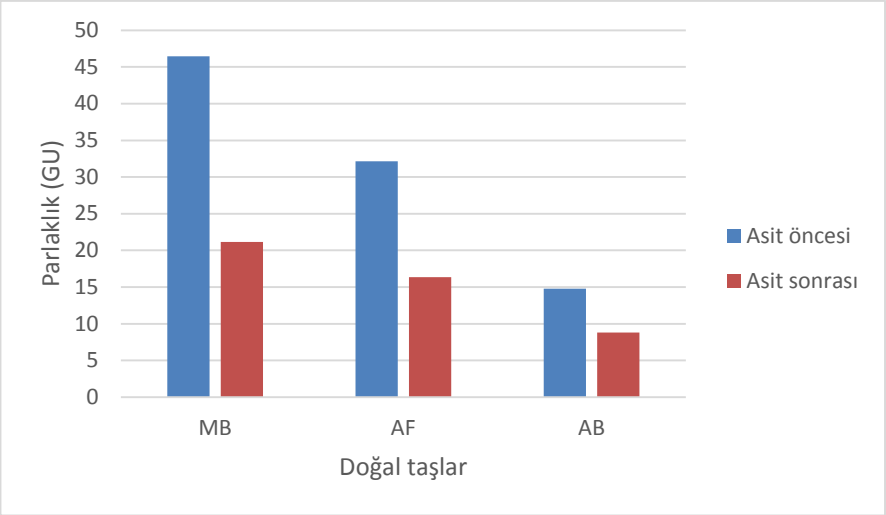
Şekil 4.13. MB, AF ve AB taşlarının sülfürik asit öncesi ve sonrasına ait görünüşleri.

4.4.2. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları

MB, AF ve AB taşlarının sülfürik asit çözeltisi sonrası yüzey parlaklık ölçüm değerleri Çizelge 4.13'te ve Şekil 4.14'te verilmiştir. Bu çalışmada, numunelerin asit etkisi sonrası parlaklık değişimlerini belirlemek amacıyla 60 ölçüm açısı kullanılmıştır. Sülfürik asit çözeltisi öncesinde MB, AF ve AB numunelerinin parlaklık değerleri sırasıyla 46.47, 32.13 ve 14.80 GU birim iken sülfürik asit çözelti sonrası MB, AF ve AB numunelerinin parlaklık değerleri sırasıyla 21.13, 16.37 ve 8.80 GU birim olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerin sülfürik asit etkisi sonrasında yüzey parlaklık değerlerinin düştüğü görülmüştür. Sülfürik asit etkisi sonrası MB, AF ve AB mermerlerinin parlaklık değerlerinde sırasıyla % 54.50, % 49.05 ve %40.54 oranlarında azalma meydana gelmiştir. En fazla parlaklık kaybı MB numunesinde görülürken en az parlaklık kaybı AB numunesinde görülmüştür. MB numunesinin parlaklık değerleri fiziksel ve dokusal özellikleri nedeni ile diğer numunelere kıyasla daha fazla oranda etkilenmiştir. Parlaklık değerlerindeki azalmanın nedeni MB, AF ve AB numunelerinin asit etkisi sonrası yüzeylerinde çözünme meydana gelmesi ve yüzey pürüzlülüğünün artmasıdır. Benzer şekilde, Çetintaş ve Akboğa (2020), karbonat içeren doğal taşların sülfürik asit buharı maruziyeti sonrası parlaklık kaybına uğradığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.13. MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri

Numune kodu	Asit buharı öncesi Parlaklık (GU)	Asit buharı sonrası Parlaklık (GU)	Parlaklık kaybı (%)
MB	46.47	21.13	54.50
AF	32.13	16.37	49.05
AB	14.80	8.80	40.54



Şekil 4.14. MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri.

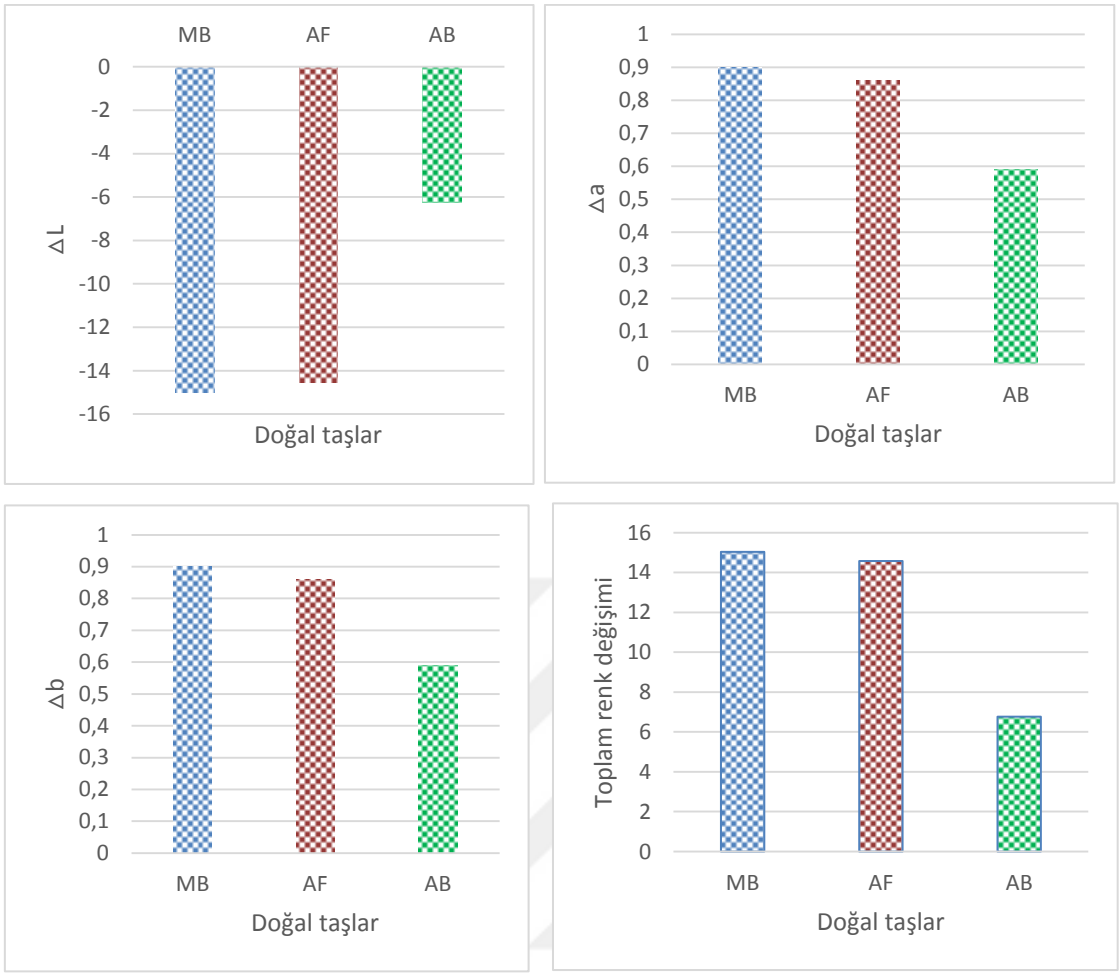
4.4.3. Renk ölçüm sonuçları

Bu tez çalışmasında, asit etkisi sonrası mermer yüzeylerindeki kabul edilebilir toplam renk değişimi için eşik değer olarak ΔE=5 değeri seçilmiştir. Mermerlerin sülfürik asit etkisi sonrası ΔL, Δa, Δb parametreleri ve ΔE (toplam renk değişimi) parametresine ait değerler Çizelge 4.13'de ve Şekil 4.15'te verilmiştir. Çizelge 4.13'dan görüldüğü gibi asit etkisi sonrasında MB, AF ve AB numunelerinin beyazlık değerlerindeki (L*) değişimler sırasıyla -15.01, -14.53 ve -6.93'dür. L parametresindeki en yüksek değişim MB numunesinde görülürken en az değişim AB numunesinde görülmüştür. Benzer şekilde, Asit etkisi sonrasında MB, AF ve AB numunelerinin a parametrelerindeki değişimler 0.06, 0.94 ve -0.05 iken b parametrelerindeki değişimler 0.90, 0.86 ve 0.59 olarak elde edilmiştir. MB, AF ve AB mermer numunelerinin sülfürik asit sonrası toplam renk değişimleri sırasıyla 15.04, 14.58 ve 6.95 olarak elde edilmiştir. Sülfürik asit sonrası en fazla renk değişimi MB numunesinde görülürken en az renk değişimi AB numunesinde görülmüştür. Kalorimetrik ölçümler sonunda, sülfürik asit buharı sonrası mermer numunelerinin (MB ve AF) renk değişimlerinin kireçtaşı numunesine (AB) kıyasla daha fazla oranda olduğu ve ΔE >5 (toplam renk değişimlerinin)olduğu görülmüştür. Bu olaya mermerin renk, doku, gözeneklilik ve tane boyutu gibi birçok etken neden olabilmektedir. Bu çalışmada, MB ve AF mermer numunelerinin yapısında bulunan demir gibi

safsızlıkların asit ile reaksiyona girmesi nedeniyle renk değişimlerinin AB numunesine kıyasla daha fazla oranda olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, beyaz renge sahip olan mermerler (MB ve AF) renk değişiminden bej renge sahip olan AB numunesine kıyasla daha fazla oranda etkilenmişlerdir. Literatürde de beyaz renkli mermerlerin sülfürik asit sonrası renk değişimlerinden diğer renkteki mermerlere kıyasla daha fazla oranda etkilendikleri belirtilmektedir (Kucukkaya, 1999; Vazquez ve ark., 2016; Akbulut, 2022; Chiu ve ark., 2020; Çetintaş ve Akboğa, 2020).

Çizelge 4.14. MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi sonrası ∆L, ∆a, ∆b ve ∆E parametre değerleri

Parametreler	**MB**	**AF**	**AB**
∆L	-15.01	-14.53	-6.93
∆a	0.06	0.94	-0.05
∆b	0.9	0.86	0.59
$(\Delta L)^2$	225.3	211.02	48.02
$(\Delta a)^2$	0.003	0.94	0.002
$(\Delta b)^2$	0.8	0.74	0.35
$(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2$	226.1	212.7	48.37
∆E	15.04	14.58	6.95



Şekil 4.15. MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi sonrası toplam renk değişim değerleri.

4.4.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

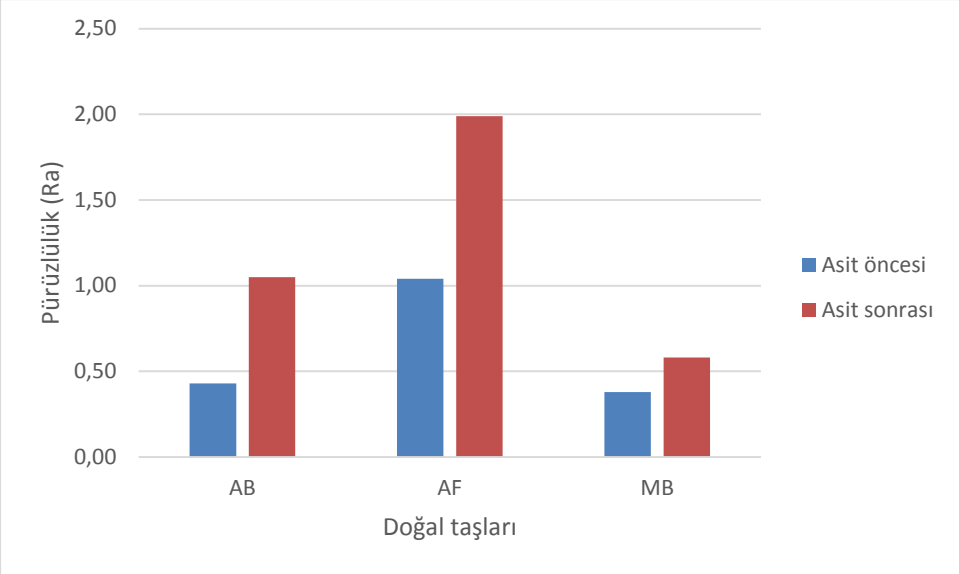
MB, AF ve AB taşlarının sülfürik asit etkisi sonrası yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.15'te ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Sülfürik asit etkisi sonrası numunelerin Ra pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. MB, AF ve AB numunelerinin sülfürik asit etkisi öncesi Ra pürüzlülük değerleri sırasıyla 0.38, 0.91 ve 0.73 μm iken asit etkisi sonrası bu değerlerin sırasıyla 0.64, 1.49 ve 1.17 μm olduğu belirlenmiştir. MB, AF ve AB numunelerinin asit etkisi sonrası Ra pürüzlülük değerlerinde sırasıyla %68.42, %63.73 ve %60.27 oranlarında artış olduğu görülmüştür.

Çetintaş ve Akboğa (2020), yapmış oldukları çalışmalarında, sülfürik asit buharına maruziyet sonrası karbonatlı doğal taş örneklerinde pürüzlülük artışı olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.15. Mermerlerin asit buharı öncesi ve sonrasına ait pürüzlülük değerleri

Kod	Asit etkisi öncesi pürüzlülük değerleri (µm)	Asit etkisi sonrası pürüzlülük değerleri (µm)	Değişim (%)
MB	0.38	0.64	68.22
AF	0.91	1.49	63.73
AB	0.73	1.17	60.27

Asit etkisi sonrası numunelerin Ra pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. MB, AF ve AB numunelerinin asit etkisi öncesi Ra pürüzlülük değerleri sırasıyla 0.36, 0.73 ve 0.47 iken asit etkisi sonrası bu değerlerin sırasıyla 0.41, 1.09 ve 0.78 olduğu belirlenmiştir. MB, AF ve AB numunelerinin asit etkisi sonrası Ra pürüzlülük değerlerinde sırasıyla 0.36, 0.73 ve 0.47 pürüzlülük değişimi olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, Çetintaş ve Akboğa (2020), mermer örneklerinde asit buharı sonrası pürüzlülük artışı olduğunu bildirmişlerdir.

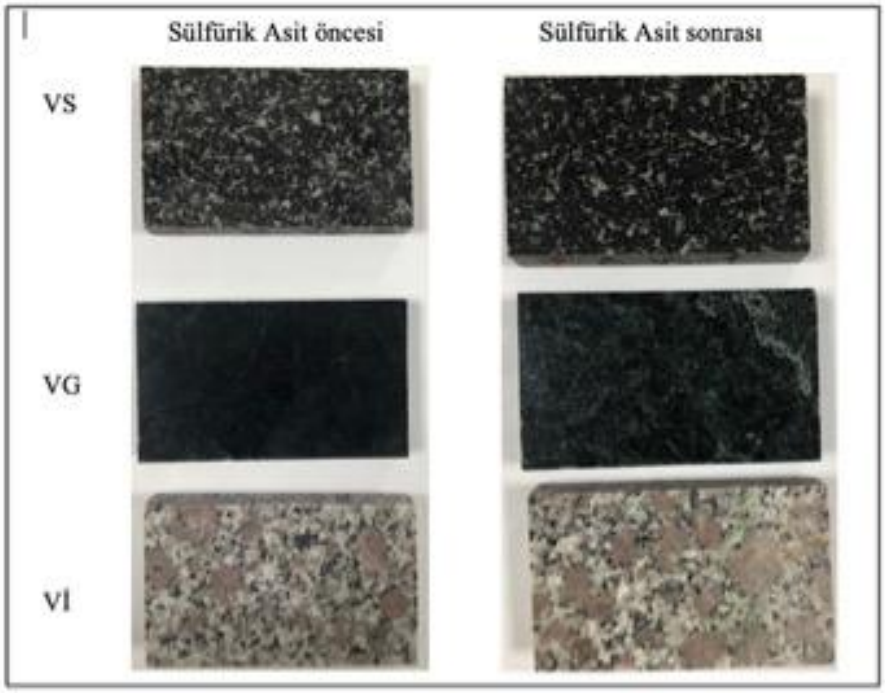


Şekil 4.16. MB, AF ve AB taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait pürüzlülük değerleri.

4.5. VS, VG ve Vİ Taşlarının Sülfürik Asit Etkisi Sonrası Analiz Sonuçları

4.5.1. Görünüş değişiklikleri

VS, VG ve Vİ taşlarının sülfürik asit öncesi ve sonrasına ait görünüş değişiklikleri Şekil 4.17'de verilmiştir. VS, VG ve Vİ taşlarının görünüşlerinde az oranda değişiklik meydana geldiği belirlenmiştir. VS, VG ve Vİ taşları incelendiğinde en fazla oranda görünüş değişikliğinin VG numunesinde meydana geldiği görülmüştür. Daha önceki çalışmalarda da sülfürik asit etkisinin mağmatik kayaçların görünüş özelliklerini önemli oranda etkilemediği belirtilmiştir (Al-Omari ve ark., 2015; Gomes ve ark., 2018; Gomes ve ark., 2018).



Şekil 4.17. VS, VG ve Vİ taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait görünümleri.

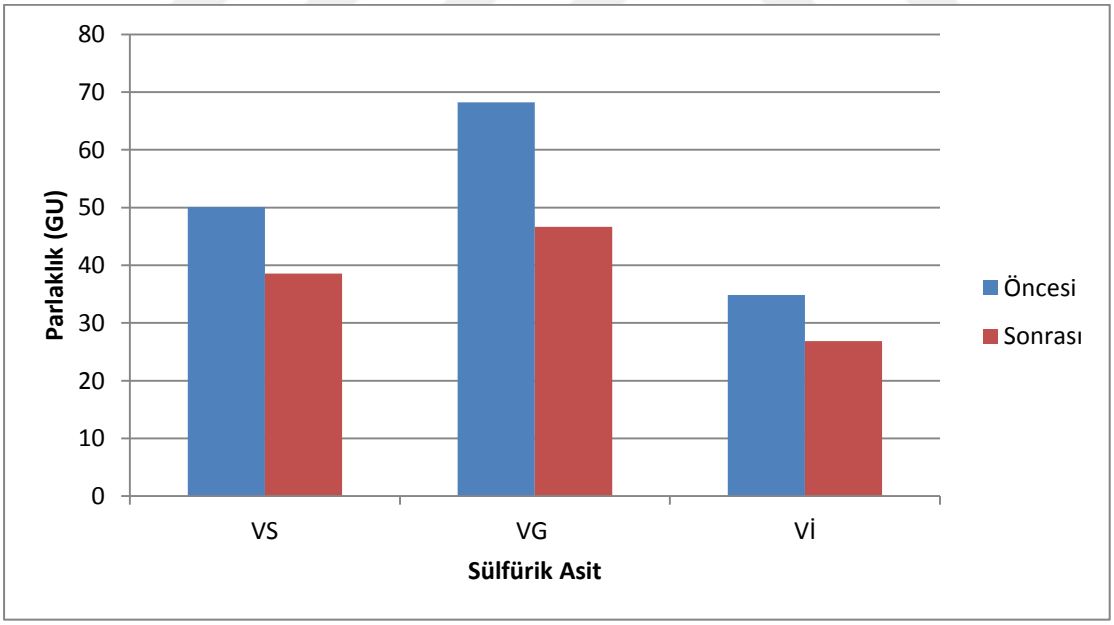
4.5.2. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının sülfürik asit çözeltisi sonrası yüzey parlaklık ölçüm değerleri Çizelge 4.16'da ve Şekil 4.18'te verilmiştir. Bu çalışmada, numunelerin asit etkisi sonrası parlaklık değişimlerini belirlemek amacıyla 60 ölçüm açısı kullanılmıştır. Sülfürik asit çözeltisi öncesinde VS, VG ve Vİ numunelerinin parlaklık değerleri

sırasıyla 48.50, 68.20 ve 34.85 GU birim iken sülfürik asit çözelti sonrası VS, VG ve Vİ numunelerinin parlaklık değerleri sırasıyla 47.10, 59.87 ve 33.40 GU birim olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerin sülfürik asit etkisi sonrasında yüzey parlaklık değerlerinin azaldığı görülmüştür. Sülfürik asit etkisi sonrası VS, VG ve Vİ numunelerinde sırasıyla % 23.03, %31.60 ve %22.87 oranlarında parlaklık kaybı meydana gelmiştir. En fazla parlaklık kaybı VG numunesinde görülürken en az parlaklık kaybı Vİ numunesinde görülmüştür. VG numunesi asit etkisi sonrası diğer numunelere kıyasla mineralojik ve dokusal özellikleri nedeni ile daha fazla oranda parlaklık kaybı meydana gelmiştir.

Çizelge 4.16. VS, VG ve Vİ numunelerinin asit buharı öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri

	Asit öncesi parlaklık (GU)	Asit sonrası parlaklık (GU)	Parlaklık kaybı (%)
VS	50.1	38.56	-23.03
VG	68.2	46.65	-31.60
Vİ	34.85	26.88	-22.87



Şekil 4. 18. VS, VG ve Vİ taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri.

4.5.3. Renk ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının asit etkisi öncesi ve asit etkisi sonrasına ait L, a ve b renk parametreleri ve toplam renk değişim değerleri Çizelge 4.17'te, Çizelge 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.17. VS, VG ve Vİ taşlarının asit etkisi öncesi ve asit etkisi sonrasına ait L, a ve b renk parametreleri

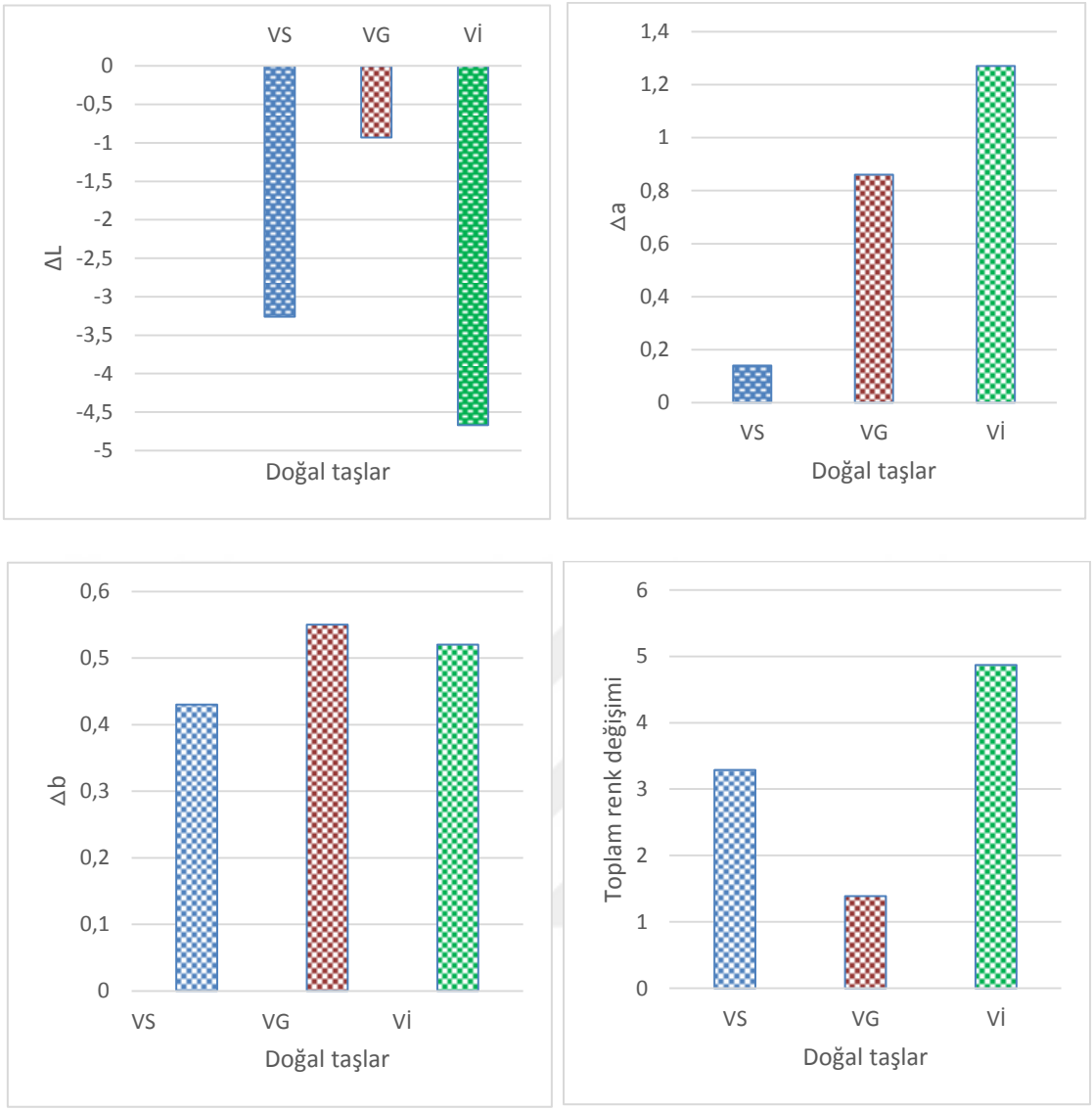
	Öncesi			Sonrası		
Kod	**L**	**a**	**b**	**L**	**a**	**b**
VS	35.92	-1	0.75	32.66	-0.86	1.18
VG	32.52	-1.91	-0.75	31.65	-0.98	-1.3
Vİ	63.34	-1.05	3.81	58.67	0.21	4.33

Asit etkisi sonrasında VS (kuvarslı diyorit), VG (serpantinit) ve Vİ (granit) doğal taşlarının beyazlık değerlerinin (L*) deki değişimler sırasıyla 3.26, 0.87 ve 4.67'dır. L parametresindeki en yüksek değişim Vİ numunesinde görülürken en az değişim VG taşında görülmüştür. Benzer şekilde, Asit etkisi sonrasında VS, VG ve Vİ numunelerinin a parametrelerindeki değişimler 0.14, 0.86 ve 1.27 iken b parametrelerindeki değişimler 0.43, 0.55 ve 0.52 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.18. VS, VG ve Vİ taşlarının asit etkisi sonrasına ait ΔL, Δa, Δb ve ΔE parametre değerleri

Parametreler	**VS**	**VG**	**Vİ**
ΔL	-3.26	-0.93	-4.67
Δa	0.14	0.86	1.27
Δb	0.43	0.55	0.52
$(\Delta L)^2$	10.63	0.76	21.84
$(\Delta a)^2$	0.02	0.86	1.6
$(\Delta b)^2$	0.19	0.3	0.27
$(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2$	10.84	1.92	23.71
ΔE	3.29	1.39	4.87

Asit etkisi sonrası VS, VG ve Vİ numunelerinde sırasıyla 3.29, 1.39 ve 4.87 toplam renk değişimi meydana gelmiştir. Asit etkisi sonrası en yüksek toplam renk değişimi Vİ (granit) numunesinde olurken en düşük toplam renk değişimi VG (serpantinit) numunesinde meydana gelmiştir. Literatürde asit etkisi sonrası serpantininit kayacının renk değerlerinde azalma meydana geldiği bazı çalışmalarda bildirilmiştir. VS, VG ve Vİ numunelerinin asit etkisi sonrasında MB, AF ve AB numunelerine kıyasla çok daha az oranda renk değişikliğine uğradığı görülmüştür. Benzer şekilde, Gomez ve ark. (2018), granit numunelerinin asit etkisi sonrasında yüzey bozulması meydana geldiğini ve bu olaya granit içerisinde bulunan CaO içeriğinin neden olduğunu belirmişlerdir. Schiavon (2007), ıslak çökelme yoluyla asit etkisi sonrası granit bozulmasından doğrudan sorumlu olabileceğini belirtmişledir. Sülfürik asit sadece sülfat oluşumuna (bozulmuş plajiyoklazlardan Ca^{2+} iyonları) değil, aynı zamanda mika ve feldspatların kaolinleşmesine de yol açar. Bu olay neticesinde de kayada kohezyon kaybı ve yüzey pullanması meydana gelir.



Şekil 4.19. VS, VG ve Vİ taşlarının asit etkisi sonrası renk parametre değerleri

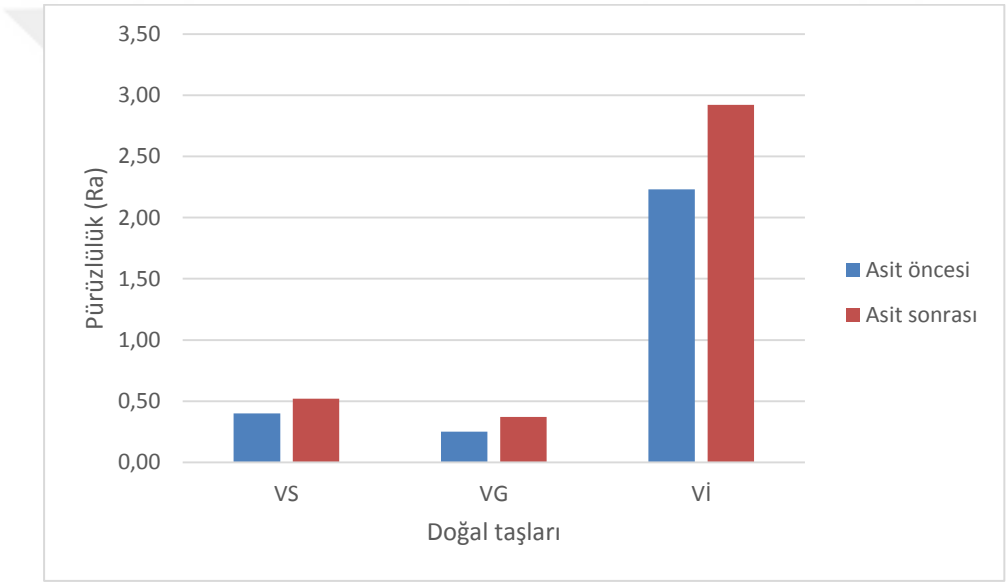
4.5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının sülfürik asit etkisi sonrası yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.19'te ve Şekil 4.20'da verilmiştir. Asit etkisi sonrası numunelerin Ra pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. VS, VG ve Vİ numunelerinin asit etkisi öncesi Ra pürüzlülük değerleri sırasıyla 0.40, 0.25 ve 2.23 µm iken asit etkisi sonrası bu değerlerin sırasıyla 0.52, 0.37 ve 2.92 µm olduğu belirlenmiştir. VS (kuvarslı diyorit), VG (serpantinit) ve Vİ (granit) numunelerinin asit etkisi sonrası Ra pürüzlülük

değerlerinde sırasıyla %20.00, %28.00 ve %22.87 değişim meydana gelmiştir (Gomes ve ark., 2018).

Çizelge 4.19. VS, VG ve Vİ taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait pürüzlülük değerleri

Kod	Asit buharı öncesi pürüzlülük değerleri (µm)	Asit buharı sonrası pürüzlülük değerleri (µm)	Değişim (%)
VS	0.40	0.48	20.00
VG	0.25	0.32	28.00
Vİ	2.23	2.74	22.87



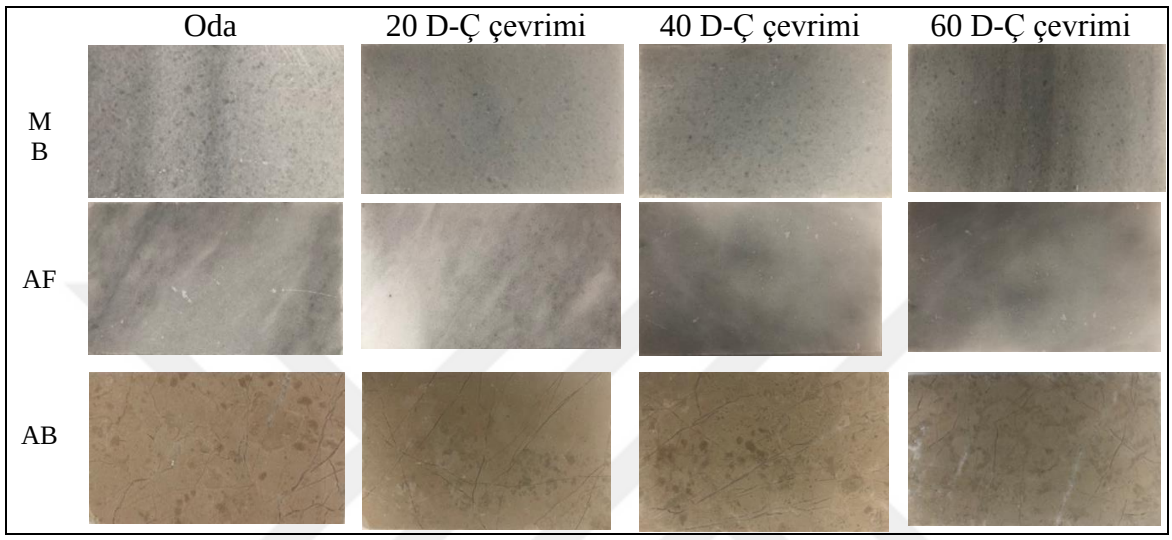
Şekil 4.20. VS, VG ve Vİ taşlarının asit buharı öncesi ve sonrasına ait pürüzlülük değerleri

4.6. MB, AF ve AB Taşlarının Donma Çözülme Sonrası Analiz Sonuçları

4.6.1. Görünüş değişiklikleri

MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası görünüş değişiklikleri Şekil 4.21'de verilmiştir. Donma çözülme çevrim sayısı artışı MB, AF ve AB numunelerin görünüşlerinde önemli oranda bir yüzey değişikliğine sebep olmamıştır. Literatürde de karbonatlı taşların donma çözülme çevrim sonrası taşların görünüşlerinde önemli oranda bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca, donma

çözülme çevrim hasarının çevrim sayısı, çevrim sıcaklığı, doğal taşın gözeneklilik ve su emme oranı, maruz kalınan donma çözülme ortamı gibi parametrelerden etkilendiği belirtilmiştir. Ayrıca, donma çözülme hasarında doğal taşın suya doygun olup olmaması da bu hasarın derecesini önemli oranda etkilemektedir (Al-Omari ve ark., 2015).



Şekil 4.21. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası görünümleri.

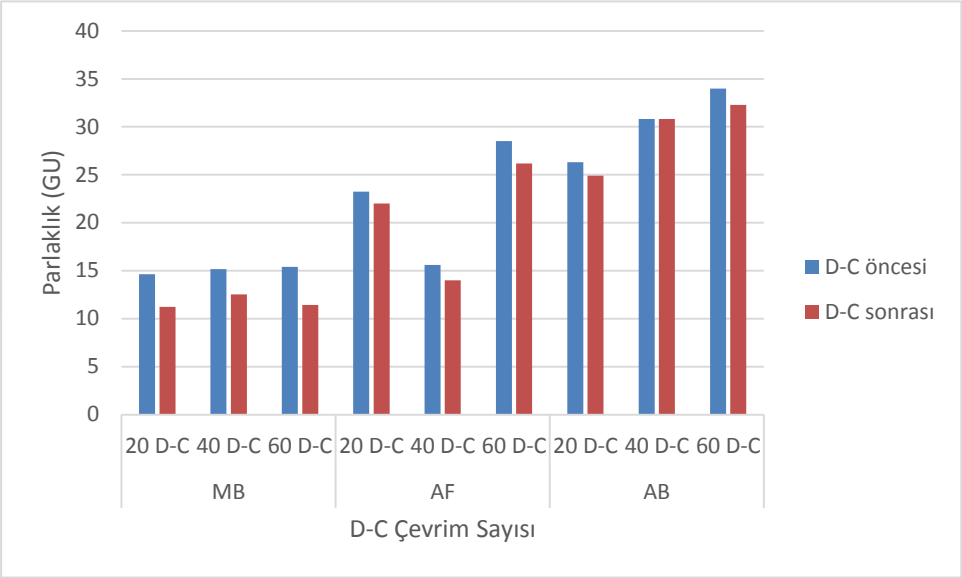
4.6.2. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları

MB, AF ve AB taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey parlaklık ölçüm değerleri Çizelge 4.20 ve Şekil 4.22'de verilmiştir. Çizelge 4.20 den görüleceği üzere 60 D-Ç çevrimi öncesi MB, AF ve AB örneklerinde sırasıyla 15.40, 28.53 ve 30.82 GU birim iken 60 D-Ç çevrimi sonrası MB, AF ve AB numunelerinin parlaklık değerleri sırasıyla 11.43 26.18 ve 26.50 GU birim olarak elde edilmiştir. 60 D-Ç çevrimi sonrası en fazla parlaklık kaybı MB numunesinde görülürken en az parlaklık kaybı AB numunesinde görülmüştür.

Çizelge 4.20. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri

Kod	Çevrim sayısı	D-C Öncesi (GU)	D-C Sonrası (GU)	Parlaklık kaybı (%)
MB	20 Çevrim	14.65	11.22	-23.41
	40 Çevrim	15.17	12.52	-17.47
	60 Çevrim	15.40	11.43	-25.78

AF	20 Çevrim	23.23	22.00	-5.29
	40 Çevrim	15.60	14.00	-10.26
	60 Çevrim	28.53	26.18	-8.24
AB	20 Çevrim	26.32	24.90	-5.40
	40 Çevrim	30.82	30.80	-7.59
	60 Çevrim	33.98	32.30	-14.02



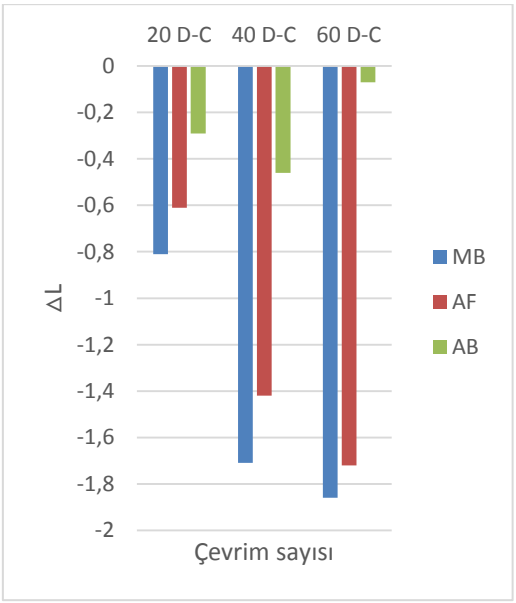
Şekil 4.22. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri öncesi ve sonrasına ait parlaklık değerleri.

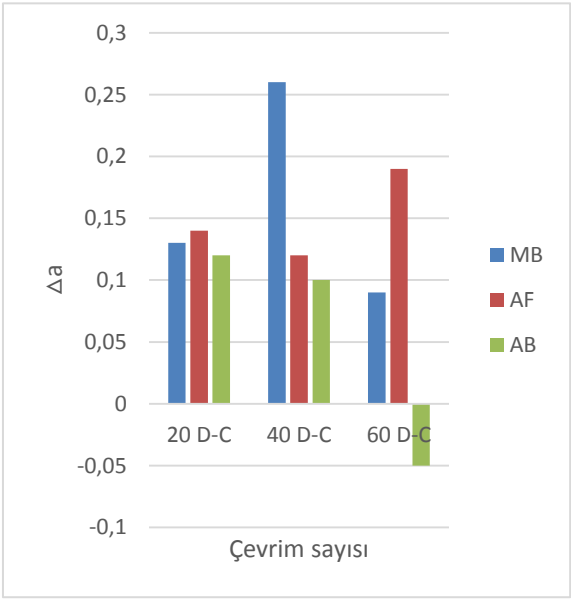
4.6.3. Renk ölçüm sonuçları

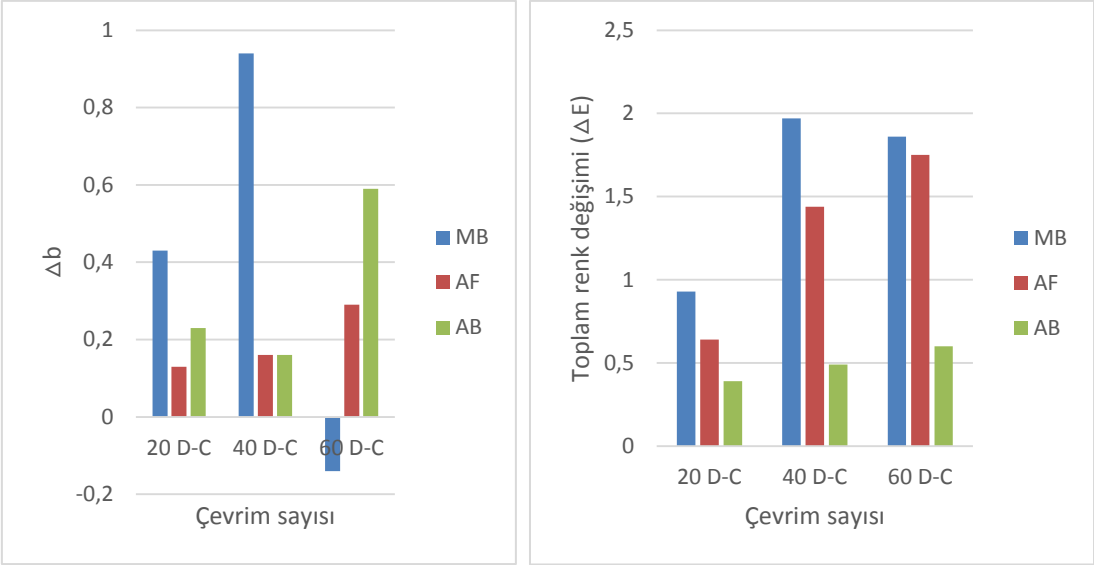
MB, AF ve AB taşlarının 20, 40 ve 60 donma çözülme çevrimi sorası ΔL, Δa, Δb parametreleri ve ΔE (toplam renk değişimi) parametresine ait değerler Çizelge 4.21 ve Şekil 4.23'de verilmiştir. MB, AF ve AB taşlarının 60 donma çözülme çevrim sonrası toplam renk değişimleri sırasıyla 1.86, 1.75 ve 0.60 olarak elde edilmiştir. Donma çözülme sonrası en fazla renk değişimi MB numunesinde görülürken en az renk değişimi AB numunesinde görülmüştür Donma çözülme çevrimlerinin numunelerin toplam renk değişimlerine ($\Delta E^* < 5$) etkisinin önemsiz oranda olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, Zaulet ve ark., (2022) mermerlerin, Uğur ve Toklu (2020) kireçtaşlarının donma çözülme çevrimleri sonrası toplam renk değişimlerinin önemli oranda değişmediğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4.21. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası ΔL, Δa, Δb ve ΔE parametre değerleri

	Kod	ΔL	Δa	Δb	$(\Delta L)^2$	$(\Delta a)^2$	$(\Delta b)^2$	$(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2$	ΔE
MB	20	-0.81	0.13	0.43	0.66	0.02	0.18	0.86	0.93
	40	-1.71	0.26	0.94	2.92	0.07	0.89	3.88	1.97
	60	-1.86	0.09	-0.14	3.44	0.01	0.02	3.47	1.86
AF	20	-0.61	0.14	0.13	0.37	0.02	0.02	0.41	0.64
	40	-1.42	0.12	0.16	2.03	0.01	0.03	2.07	1.44
	60	-1.72	0.19	0.29	2.95	0.03	0.08	3.07	1.75
AB	20	-0.29	0.12	0.23	0.08	0.01	0.05	0.15	0.39
	40	-0.46	0.10	0.16	0.21	0.01	0.02	0.24	0.49
	60	-0.07	-0.05	0.59	0.01	0.00	0.35	0.36	0.60







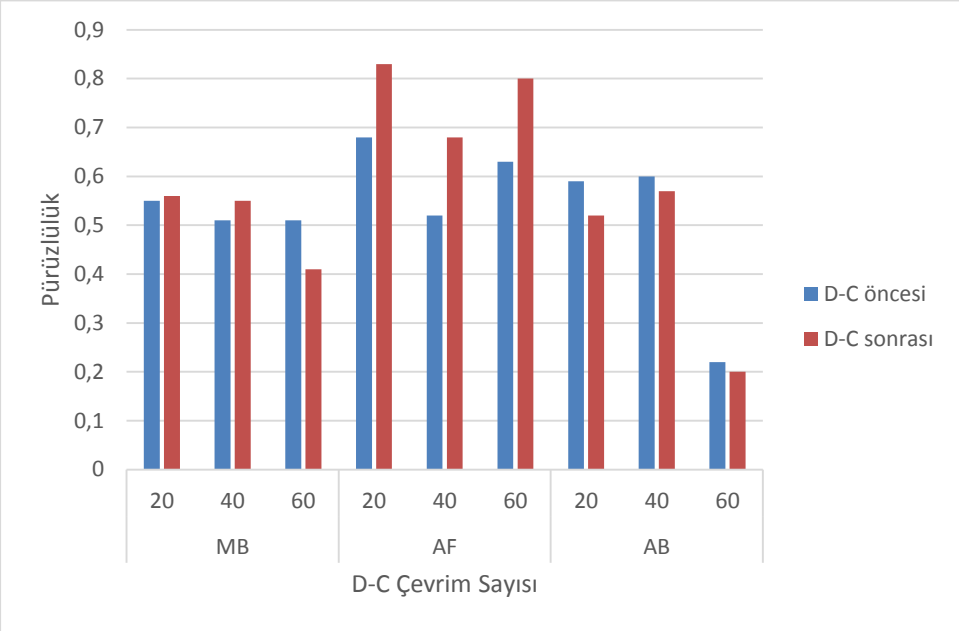
Şekil 4.23. MB, AF ve AB taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası ΔL, Δa, Δb ve ΔE parametre değerleri.

4.6.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

MB, AF ve AB taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri Çizelge 4.22 ve Şekil 4.24'de verilmiştir. Çizelge 4.22 den görüleceği üzere 60 D-Ç çevrimi sonrası MB, AF ve AB taşlarının pürüzlülük değerinde sırasıyla %53.66, %59.62 ve % 48.39 oranlarında artış meydana gelmiştir. 60 D-Ç çevrimi sonrası en fazla pürüzlülük değişimi AF numunesinde görülürken en az pürüzlülük değişimi AB numunesinde görülmüştür.

Çizelge 4.22. MB, AF ve AB taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Kod	Çevrim sayısı	D-Ç Öncesi Pürüzlülük (μm)	D-Ç Sonrası Pürüzlülük (μm)	Değişim (%)
MB	20	0.55	0.69	
	40	0.51	0.65	7.27
	60	0.41	0.63	27.45
AF	20	0.68	0.75	53.66
	40	0.63	0.81	10.29
	60	0.52	0.83	28.57
AB	20	0.6	0.64	59.62
	40	0.63	0.72	6.67
	60	0.62	0.92	14.29

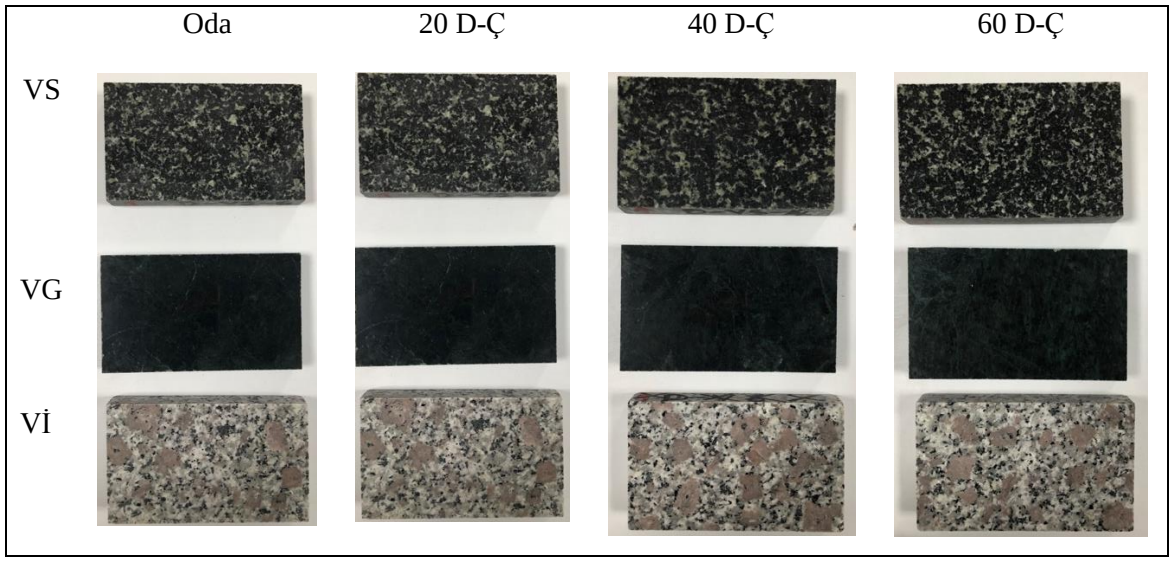


Şekil 4.24. MB, AF ve AB taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük değişimleri.

4.7. VS, VG ve Vİ Taşlarının Donma Çözülme Sonrası Analiz Sonuçları

4.7.1 Görünüş değişiklikleri

VS, VG ve Vİ taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası görünüş değişiklikleri Şekil 4.25'de verilmiştir. Donma çözülme çevrim sayısı artışı numunelerin görünüşlerinde önemli oranda bir yüzey değişikliğine sebep olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.25. VS, VG ve Vİ taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası görünümleri.

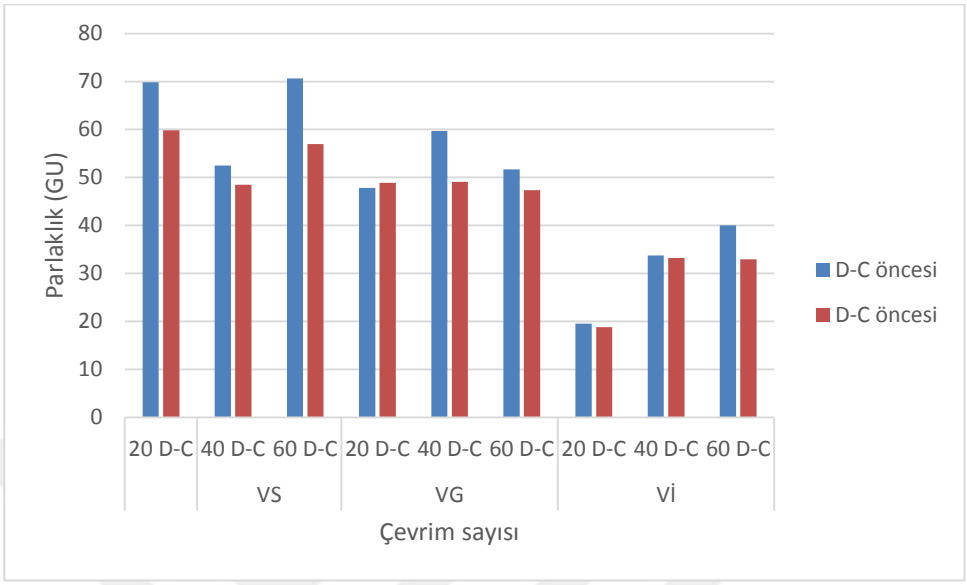
4.7.2. Yüzey parlaklık ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey parlaklık ölçüm değerleri Çizelge 4.23 ve Şekil 4.26'de verilmiştir. Çizelge 4.23'ten görüleceği üzere 20 D-Ç çevrimi öncesi VS, VG ve Vİ örneklerinde sırasıyla %7.57, %6.97 ve %3.58 oranlarında parlaklık kaybı olurken 60 D-Ç çevrimi sonrası VS, VG ve Vİ numunelerinde ise sırasıyla %19.5, %21.90 ve %17.67 parlaklık kaybı meydana gelmiştir. 60 D-Ç çevrimi sonrası en fazla parlaklık kaybı VG numunesinde görülürken en az parlaklık kaybı Vİ numunesinde görülmüştür. 60 donma çözülme çevrimleri sonrası numunelerin parlaklık kayıpları arasındaki farkların çok fazla olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.23. VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey parlaklık ölçüm değerleri

Kod	Çevrim sayısı	D-Ç Öncesi	D-Ç Sonrası	Parlaklık kaybı (%)
VS	20	52.47	48.50	-7.57
	40	69.82	59.85	-14.28
	60	70.62	56.95	-19.35
VG	20	47.83	44.50	-6.97
	40	59.68	49.07	-17.79
	60	51.70	40.38	-21.90
Vİ	20	19.53	18.83	-3.58

	40	33.73	30.10	-10.77
	60	40.00	32.93	-17.67



Şekil 4.26. VS, VG ve Vİ taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası parlaklık değerleri

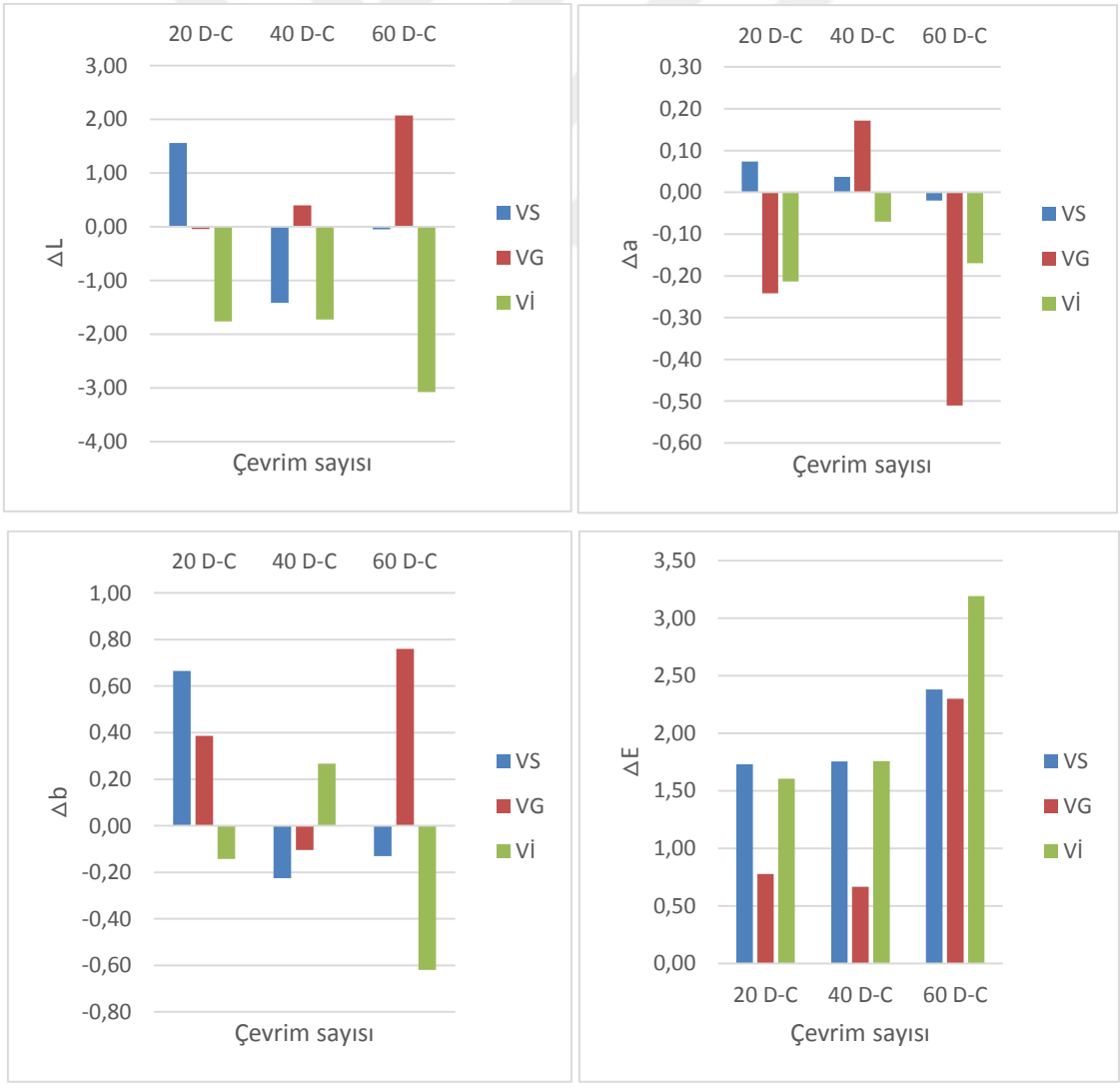
4.7.3. Renk ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının 20, 40 ve 60 donma çözülme çevrimi sorası ΔL, Δa, Δb parametreleri ve ΔE (toplam renk değişimi) parametresine ait değerler Çizelge 4.24 ve Şekil 4.27'de verilmiştir. VS, VG ve Vİ taşlarının 60 donma çözülme çevrim sonrası toplam renk değişimleri sırasıyla 2.38, 2.30 ve 3.19 olarak elde edilmiştir. Donma çözülme sonrası en fazla renk değişimi Vİ numunesinde görülürken en az renk değişimi VG numunesinde görülmüştür Donma çözülme çevrimlerinin numunelerin toplam renk değişimlerine ($\Delta E^* < 5$) etkisinin önemsiz oranda olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.24. VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme çevrimi sorası ΔL, Δa, Δb ve ΔE parametreleri

Kod	Çevrim sayısı	ΔL	Δa	Δb	ΔE
VS	20	1.56	0.07	0.67	1.73
	40	-1.42	0.04	-0.23	1.75
	60	-0.05	-0.02	-0.13	2.38
VG	20	-0.04	-0.24	0.39	0.78
	40	0.40	0.17	-0.11	0.66

	60	-1.76	-0.21	-0.14	2.30
Vİ	20	-1.76	-0.21	-0.14	1.60
	40	-1.72	-0.07	0.27	1.76
	60	-3.08	-0.17	-0.62	3.19



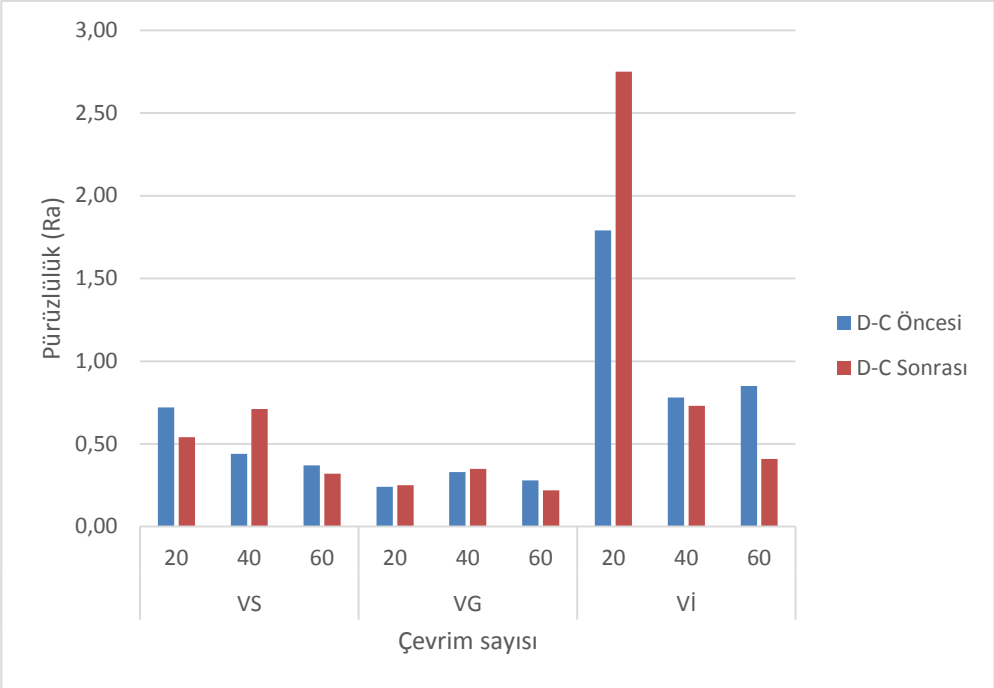
Şekil 4.27. VS, VG ve Vİ taşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası ∆L, ∆a, ∆b ve ∆E parametre değerleri.

4.7.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri Çizelge 4.25 ve Şekil 4.28'de verilmiştir. Çizelge 4.25'ten görüleceği üzere 60 D-Ç çevrim sonrası VS, VG ve Vİ taşlarının pürüzlülük değerlerindeki artışlar sırasıyla %20.75, %25.00 ve %18.82'dir. D-Ç çevrimleri sonrası pürüzlülük değerlerindeki değişikliklerin çok az oranda olduğu görülmüştür. En fazla pürüzlülük değişimi VG numunesinde görülürken en az pürüzlülük değişimi VI numunesinde görülmüştür.

Çizelge 4.25. VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Kod	Çevrim sayısı	D-Ç Öncesi	D-Ç Sonrası	Fark	Değişim
	20				(%)
VS	40	0.38	0.42	0.04	10.53
	60	0.44	0.5	0.06	13.64
	20	0.53	0.64	0.11	20.75
VG	40	0.32	0.36	0.04	12.50
	60	0.33	0.38	0.05	15.15
	20	0.28	0.35	0.07	25.00
Vİ	40	0.73	0.79	0.06	8.22
	60	0.81	0.9	0.09	11.11



Şekil 4.28. VS, VG ve Vİ taşlarının donma çözülme (D-Ç) çevrimleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri.

5. SONUÇ

- Bu çalışmada, ülkemizde bina cephe kaplamasında yaygın bir şekilde kullanılan doğal taşların yüksek sıcaklık, asit ve donma-çözülme etkisi sonrası görünüş, yüzey parlaklık, renk, yüzey pürüzlülük ve içyapı özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.
- Yüksek sıcaklık etkisinin tüm doğal taşların yüzey parlaklık, yüzey pürüzlülük ve toplam renk değişim değerlerinin olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir
- 800 ◦C sıcaklık sonrası MB, AF ve AB taşlarının parlaklık kayıpları % 60.30 ile %86.68 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde %17.09 ile %38.05 arasında değiştiği görülmüştür.
- 800 ◦C sıcaklık sonrası MB, AF ve AB taşlarının renk değişimlerinin 19.64 ile 25.59 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde 8.07 ile 20.26 arasında değiştiği görülmüştür.
- 800 ◦C sıcaklık sonrası MB, AF ve AB taşlarının pürüzlülük artışı % 367.44 ile %414.29 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde %68.63 ile %107.69 arasında değiştiği görülmüştür.
- Asit etkisi sonrası MB, AF ve AB taşlarının parlaklık kayıpları % 40.54 ile %54.50 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde %4.16 ile %12.21 arasında değiştiği görülmüştür.
- Asit etkisi sonrası MB, AF ve AB taşlarının renk değişimlerinin 6.95 ile 15.04 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde 1.39 ile 4.87 arasında değiştiği görülmüştür.
- Asit etkisi sonrası MB, AF ve AB taşlarının pürüzlülük artışı % 60,27 ile %68,22 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde %20 ile %28 arasında değiştiği görülmüştür.
- Asit etkisi sonrası, MB, AF ve AB taşlarının toplam renk değişiminin VS, VG ve Vİ numunelerine kıyasla daha fazla oranda olduğu görülmüştür. Bu durum, MB, AF ve AB taşlarının sülfürik asit ile reaksiyona girmesi ve numune yüzeyinde kalsiyum sülfatlı oluşumların meydana gelmesi neden olmuş olabilir.

- Asit etkisi sonrası MB, AF ve AB taşlarının parlaklık kayıpları % 40.54 ile %54 50 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde %4 16 ile %12.21 arasında değiştiği görülmüştür.
- Donma-Çözülme etkisi sonrası MB, AF ve AB taşlarının parlaklık kayıpları % 8.24 ile % 25.78 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde %17.67 ile %21.90 arasında değiştiği görülmüştür.
- Donma-Çözülme etkisi sonrası MB, AF ve AB taşlarının renk değişimlerinin 0.60 ile 1.86 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde 2.30 ile 3.19 arasında değiştiği görülmüştür.
- Donma-Çözülme etkisi sonrası MB, AF ve AB taşlarının pürüzlülük artışı %42.37 ile % 59.62 arasında değişirken bu değerlerin VS, VG, Vİ numunelerinde % 21.42 ile %25 arasında değiştiği görülmüştür.
- Çalışma sonuçlarına göre, MB, AF ve AB taşlarının asit etkisi sonrası görünüş, parlaklık ve renk özelliklerindeki değişimlerin donma çözülme etkisine kıyasla daha fazla oranda olduğu görülmüştür.
- Asit etkisi, donma çözülme etkisine kıyasla mermerlerin yüzeyinde hem kimyasal hem de fiziksel değişimlere neden olmuştur. Bu nedenle de sülfürik asit etkisi sonrası mermerlerde daha fazla parlaklık kaybı ve renk değişimi meydana gelmiştir.
- Doğal taşların yüksek sıcaklık, asit ve donma çözülme etkileri karşında estetik özelliklerinde meydana gelebilecek değişimler in önceden bilinmesinin doğal taş tasarımcılarının taş seçimi sırasında önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Ayrıca, gelecekte bina cephelerinde kullanılacak doğal taşların estetik özellikleri üzerinde çevresel etkilerin meydana getireceği hasarların tahmin edilmesi ile ilgili daha fazla sayıda çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Akbulut, Z. F., 2022. SO_2 buharına maruz bırakılmış bazı doğal taşların yüzey özelliklerinin incelenmesi. ***Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*** **27**(1):168-180.

Al-Omari, A., Beck, K., Brunetaud, X., Török, Á., Al-Mukhtar, M., 2015. Critical Degree of Saturation: A Control Factor of Freeze–Thaw Damage of Porous Limestones at Castle of Chambord, France, ***Engineering Geology,*** **185**: 71-80

Alves, C., Figueiredo, C. A., Sanjurjo-Sánchez, J., Hernández, A. C., 2021. Effects of water on natural stone in the built environment—A Review. ***Geosciences,*** **11(**11**),** 459.

Amirkiyaei, V., Ghasemi, E., Faramarzi, L., 2021. Estimating uniaxial compressive strength of carbonate building stones based on some intact stone properties after deterioration by freeze–thaw. ***Environmental Earth Sciences,*** **80**(9), 1-11.

ASTM D2244, 2015. ***Calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates***. ASTM International. ASTM D2244:2015, Pennsylvania, USA.

ASTM D523-14, 2018. ***Standard test method for specular gloss***. ASTM International. ASTM D523-14:2018, Pennsylvania, USA, 2018.

Biró, A., Hlavička, V., Lublóy, É., 2019. Effect of fire-related temperatures on natural stones. ***Construction and Building Materials,*** **212**, 92-101.

Chakrabarti, B., Yates, T., Lewry, A., 1995. Effect of fire damage on natural stonework in buildings, ***Constr. Build. Mater.*** **10** (7)539–544.

Chiu, Y. C., Chen, P. H., Liao, W. C., 2020. Impact of subtropical island climate on the appearance and aesthetics of white marble buildings. ***Journal of Building Engineering,*** **31,** 101334.

Crosby, Z. K., Gullett, P. M., Akers, S. A., et al., 2018. Char AFterization of the mechanical behavior of salem limestone containing thermally-induced microcracks. ***Int J Rock Mech Min Sci.*** **101**:54–62.

Çetintaş S., Akboğa, Z., 2020. Investigation of resistance to ageing by SO_2 on some building stones. ***Construction and Building Materials,*** **262,** 120341.

Çetintaş, S., Bağcı, M., Yıldız, A., Yalçın, M. G., 2022. Degradation of limestone used as building materials under the influence of H_2SO_3 and HNO_3 acids. ***Environmental Earth Sciences,*** **81**(19), 1-21.

Çetintaş, S., Akboğa, Z., 2020. Investigation of resistance to ageing by SO2 on some building stone. ***Construction and Building Materials,*** **262**, 120341.

Deng, L., Wu, Y., Ji, Y., Huang, Z., Zou, C., 2022. Physical and mechanical properties of granite after high-temperature and acidic treatment for the enhanced geothermal system. ***Bulletin of Engineering Geology and the Environment,*** **81**(10), 1-15.

DIN 4678, 1990. ***Determination of values of surfAFe roughness parameters Ra, Rz, Rmax using electronic contAFt Instruments Concepts and Measuring Conditions,*** Deutsches Institut fur Normung E.V., May 1990

Dionísio, A., Martinho, E., Pozo-António, J. S., Braga, M. S., Mendes, M., 2021. Evaluation of combined effects of real-fire and natural environment in a building granite. ***Construction and Building Materials,*** **277,** 122327.

Dong, Z., Sun, Q., Ye, J., Zhang, W., 2020. Changes in color and roughness of red sandstone at high temperatures. ***Bulletin of Engineering Geology and the Environment,*** **79(**4**),** 1959-1966.and Mass Transfer, 1-14.

El Jazouli, B., Tsangouri, E., 2022. Fire-exposed stones in constructions: Residual strength, performance loss and damage mode shift due to mineralogical transformation and micro-cracking. ***Engineering Geology,*** **302**, 106638.

Gautam, P. K., Jha, M. K., Verma, A. K., Singh, T. N., 2020. Experimental study of thermal damage under compression and tension of Makrana marble. ***Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,*** **139**(1), 609-627.

Gautam, P. K., Verma, A. K., Jha, M. K., Sharma, P., Singh, T. N., 2018. Effect of high temperature on physical and mechanical properties of Jalore granite. ***Journal of Applied Geophysics,*** **159,** 460-474.

Gomes, V., Dionísio, A., Pozo-Antonio, J. S., 2018. The influence of the SO_2 ageing on the graffiti cleaning effectiveness with chemical procedures on a granite substrate. ***Science of The Total Environment,*** **625**, 233-245.

Gomes, V., Dionísio, A., Pozo-Antonio, J. S., Rivas, T., Ramil, A., 2018. Mechanical and laser cleaning of spray graffiti paints on agranite subjected to a SO_2-rich atmosphere. ***Construction and Building Materials,*** **188**, 621-632.

Gomez-Heras, M., Alvarez de Buergo, R., Fort, M., Hajpal, A., To€ro€k, M. J., 2006. Varas, Evolution of por- osity in Hungarian building stones after simulated burning. ***In Heritage weathering and conservation HWC-2006*** (pp. 513–519). Taylor & Francis.

Graziani G., Sassoni E., Scherer G. W., Franzoni E., 2017. Resistance to simulated rain of hydroxyapatite-and calcium oxalate-based coatings for protection of marble against corrosion. ***Corrosion Science,*** **127**, 168-174.

Hajpal, M., 2010. Fire damaged stone structures in historical monuments. Laboratory analyses of changes in natural stones by heat effect. ***Building.*** 164–173.

Hasbay, U., Hattap, S., 2017. Doğal taşlardaki bozunma (ayrışma) türleri ve nedenleri. ***Munzur Üniversitesi Bilim ve Gençlik Dergisi*****,** **5**(1).

Huang, Z., Zeng, W., Gu, Q., Wu, Y., Zhong, W., Zhao, K., 2021. Investigations of variations in physical and mechanical properties of granite, sandstone, and marble after temperature and AFid solution treatments. ***Construction and Building Materials,*** **307**, 124943.

Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Nowicki, M., Shamrai, V., Skyba, G., Szewczyk, R., 2016. The study of corrosion resistance of pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods. ***Construction and Building Materials,*** **114**, 241-247.

Kucukkaya, A. G., 1999. Deterioration on Historic Buildings Due to Air Pollution and Some Difficulties During Their Restoration Works, in: Z. Zlatev (Ed.), Large-Scale Computations in Air Pollution Modelling, ***Kluwer Academic Publishers***, 215–220.

Li, B., Ju, F., 2018. Thermal stability of granite for high temperature thermal energy storage in concentrating solar power plants. ***Applied Thermal Engineering,*** **138**, 409-416.

Malaga-Starzec, K., Åkesson, U., Lindqvist, J. E., Schouenborg, B., 2006. Microscopic and mAFroscopic charAFterization of the porosity of marble as a function of temperature and impregnation. ***Constr Build Mater*** **20**:939–947. https://doi.org/10.1016/j.conbuildma t.2005.06.016.

Martinho, E., Dionísio, A., Amaral, M., Mendes, M., 2022. The whitish variety oAnçã limestone: Evaluation of fire-induced damage using ultrasonic tomography. ***Bulletin of Engineering Geology and the Environment,*** **81**(6), 1-21.

Martínez-Ibáñez, V., Benavente, D., Hidalgo Signes, C., Tomás, R., Garrido, M. E., 2021. Temperature-induced explosive behaviour and thermo-chemical damage on pyrite-bearing limestones: causes and mechanisms. ***Rock Mechanics and Rock Engineering,*** **54**(1), 219-234

Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Gomez-Heras, M., Marco-Castaño, L., García-del-Cura, M. Á., 2013. Non-linear decay of building stones during freeze–thaw weathering processes. ***Construction and Building Materials,*** **38**: 443-454.

Meng, Q. B., Wang, C. K., Liu, J. F., Zhang, M. W., Lu, M. M., Wu, Y., 2020. Physical and micro-structural characteristics of limestone after high temperature exposure. ***Bulletin of Engineering Geology and the Environment,*** **79**(3), 1259-1274.

Murru, A., Freire-Lista, D. M., Fort, R., Varas-Muriel, M. J., Meloni, P., 2018. Evaluation of post-thermal shock effects in Carrara marble and Santa Caterina di Pittinuri limestone. ***Construction and Building Materials,*** **186**, 1200-1211.

Németh, A., Antal, Á., Török, Á., 2021. Physical alteration and color change of granite subjected to high temperature. ***Applied Sciences,*** **11(**19**),** 8792.

Özdemir, E., 2022. Investigation of Some Property Changes of Light-Colored Turkish Natural Stones after High-Temperature Treatments. ***Sustainability,*** **14**(16), 10298.

Özgüven, A., Özçelik, Y., 2013. Investigation of some property changes of natural building stones exposed to fire and high heat. ***Construction and Building Materials,*** **38**, 813-821.

Peng, J., Rong, G., Cai, M., Yao, M. D., Zhou, C. B., 2016. Physical and mechanical behaviors of a thermal-damaged coarse marble under uniaxial compression. ***Engineering Geology,*** **200**, 88-93.

Peng, J., Rong, G., Cai, M., Yao, M., Zhou, C., 2016. Comparison of mechanical properties of undamaged and thermal-damaged coarse marbles under triaxial compression. ***International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,*** **83,** 135-139.

Sassoni, E., Franzoni, 2014. Influence of porosity on artificial deterioration of marble and limestone by heating, ***Appl. Phys. A. Mater.*** **115** 809–816, https://doi.org/10.1007/s00339-013-7863-4.

Schiavon, N., 2007. Kaolinisation of granite in an urban environment. ***Environ. Geol.*** **52**: 333–341. https://doi.org/10.1007/s00254-006-0473-0.

Sciarretta, F., Eslami, J., Beaucour, A. L., Noumowe, A., 2021. State-of-the-art of construction stones for masonry exposed to high temperatures. ***Construction and Building Materials,*** **304,** 124536

Shao, S., Wasantha, P. L., Ranjith, P. G., Chen, B. K., 2014. Effect of cooling rate on the mechanical behavior of heated Strathbogie granite with different grain sizes. ***International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,*** **70,** 381-387.

Shen, Y., Hou, X., Yuan, J., Xu, Z., Hao, J., Gu, L., Liu, Z., 2020. Thermal deterioration of high-temperature granite after cooling shock: multiple-identification and damage mechanism. ***Bulletin of Engineering Geology and the Environment,*** **79**(10), 5385-5398.

Siegesmund, S., Weiss, T., Vollbrecht, A., 2002. Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies: introduction. ***Geological Society, London, Special Publications,*** **205**(1), 1-7.

Sun, Q., Hu, J., 2021. Effects of heating on some physical properties of granite, Shandong, China. ***Journal of Applied Geophysics,*** **193**, 104410.

Tang, Z. C., Sun, M., Peng, J., 2019. Influence of high temperature duration on physical, thermal and mechanical properties of a fine-grained marble. ***Applied Thermal Engineering,*** **156**:34-50 .

Tomás, R., Cano, M., Pulgarín, L. F., Brotóns, V., Benavente, D., Miranda, T., Vasconcelos, G., 2021. Thermal effect of high temperatures on the physical and mechanical properties of a granite used in UNESCO World Heritage sites in north Portugal. ***Journal of Building Engineering,*** **43**, 102823.

TS EN 13755, 2014. ***Natural stone test method. Determination of water absorption at atmospheric pressure,*** Institute of Turkish Standards, Ankara, Turkey.

TS EN 1936, 2010. ***Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density and of total and open porosity***, Institute of Turkish Standards, Ankara, Turkey.

Uğur İ., Toklu H. Ö., 2020. Effect of Multi-Cycle Freeze-Thaw Tests on the Physico-Mechanical and Thermal Properties of Some Highly Porous Natural Stones. ***Bulletin of Engineering Geology and the Environment,*** **79**(1):255-267.

Wang, F., Konietzky, H., Frühwirt, T., Li, Y., Dai, Y., 2020. Impact of cooling on fracturing process of granite after high-speed heating. ***International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,*** **125**, 104155.

Wang, F., Konietzky, H., Frühwirt, T., Dai, Y., 2020. Laboratory testing and numerical simulation of properties and thermal-induced cracking of Eibenstock granite at elevated temperatures. ***Acta Geotechnica,*** **15**(8), 2259-2275.

Xie, S., Qi, L., Zhou, D., 2004. Investigation of the effects of acid rain on the deterioration of cement concrete using accelerated tests established in laboratory. ***Atmospheric Environment,*** **38**(27), 4457-4466.

Vagnon, F., Colombero, C., Colombo, F., Comina, C., Ferrero, A. M., Mandrone, G., Vinciguerra, S. C., 2019. Effects of thermal treatment on physical and mechanical properties of Valdieri Marble-NW Italy***. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,*** **116,** 75-86.

Vasanelli, E., Quarta, G., Masieri, M., Calia, A., 2021. High temperature effects on the properties of a high porosity calcareous stone building material. ***European Journal of Environmental and Civil Engineering,*** 1-13.

Vazquez, P., Acuña, M., Benavente, D., Gibeaux, S., Navarro, I., Gomez-Heras, M., 2016. Evolution of surface properties of ornamental granitoids exposed to high temperatures. ***Construction and Building Materials,*** **104**, 263-275.

Vazquez, P., Carrizo L., Thomachot-Schneider, C., Gibeaux, S., Alonso, F. J., 2016. Influence of Surface Finish and Composition on the Deterioration of Building Stones Exposed to Acid Atmospheres. ***Construction and Building Materials,*** **106**: 392-403.

Yang, J., Fu, L-Y., Zhang, W., Wang, Z., 2019. Mechanical property and thermal damage factor of limestone at high temperature. ***Int J Rock Mech Min Sci*** **117**:11–19. https://doi.org/10.1016/j.ijrmm s.2019.03.012

Yang, S. Q., Li, Y., Ma, G. W., Sun, B. W., Yang, J., Xu, J., Dai, Y. H., 2022. Experiment and numerical simulation study of dynamic mechanical behavior of granite specimen after high temperature treatment. ***Computers and Geotechnics,*** 105111.

Yin, T., Yang, Z., Wu, Y., Tan, X., Li, M., 2022. Experimental investigation on the effect of open fire on the tensile properties and damage evolution behavior of granite. ***International Journal of Damage Mechanics,*** 10567895221092168.

Zăuleț I. O., Ion R. M., Rizescu C. E., 2022. Evaluation of Marble Alteration Processes. ***Scientific Bulletin of' Valahia University***. Materials & Mechanics, 18(19).

Zhang, W., Sun, Q., Hao, S., et. al., 2016. Experimental study on the thermal damage characteristics of limestone and underlying mechanism. ***Rock Mech Rock Eng.*** **49**(8):2999–3008.

Zhang, W., Qian, H., Sun, Q., Chen, Y., 2015. Experimental study of the effect of high temperature on primary wave velocity and microstructure of limestone. ***Environmental Earth Sciences,*** **74**(7), 5739-5748.

Zhang, Y., Ta, X., Qin, S., 2022. Effect of heat treatment on physico-mechanical behaviour of a natural building stone: Laizhou dolomite marble. ***Journal of Building Engineering,*** **47**, 103885.

Zhao, Y., Sun, Q., Wang, S., Zhang, L., Jiang, Z., 2022. Pore characteristics and permeability changes of high-temperature limestone after rapid cooling by dry ice. ***Heat and Mass Transfer,*** **58**:1339-1352.

ÖZ GEÇMİŞ

Nihat BAYRAMOĞLU, ilk orta ve lise eğitimini Van'da tamamladı. 2005 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı, 2010 yılında mezun oldu. 2021 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. UBM Müşavirlik firması adı altında Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliğinde Maden Mühendisi olarak çalışmaktadır.

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORİJİNALLİK RAPORU

Tarih: 03/01/2023

Tez Başlığı / Konusu: Farklı Çevresel Koşulların Doğal Taşların Fiziksel ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 67 sayfalık kısmına ilişkin, 03.01.2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 (yüzde üç) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:
- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Eşleme boyutunu 7 kelimeyle sınırlayın)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Nihat Bayramoğlu
03.01.2023

Adı Soyadı: Nihat BAYRAMOĞLU

Öğrenci No: 20910001283

Anabilim Dalı: Jeofizik Mühendisliği

Programı:

Statüsü: **x** Yüksek Lisans □ Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR
Dr. Öğr. Üyesi
Zehra Funda AKBULUT

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR