

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUZ KRİSTALLENMESİNİN BAZI MERMERLERDE YÜZEY KALİTESİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

FADİME POLAT GÜZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2019

Tezin Başlığı: Tuz Kristallenmesinin Bazı Mermerlerde Yüzey Kalitesine Etkilerinin Araştırılması

Tezi Hazırlayan: Fadime POLAT GÜZEL

Sınav Tarihi: 20 Haziran 2019

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

Sınav Jüri Üyeleri:

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Didem EREN SARICI

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU

İnönü Üniversitesi

Doç.Dr. Dicle BAL AKKOCA

Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü



Sevgili Kayınbiraderim

Mehmet GÜZEL'in anısına...

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Tuz Kristallenmesinin Bazı Mermerlerde Yüzey Kalitesine Etkilerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.



Fadime POLAT GÜZEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi
TUZ KRİSTALLENMESİNİN BAZI MERMERLERDE YÜZEY KALİTESİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Fadime POLAT GÜZEL
İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

113+ xiv sayfa 2019
Danışman: Doç. Dr. Didem EREN SARICI

Bu çalışmada ülkemizde mermer olarak kullanılan bazı kayaçların yüzey kalitesi üzerinde değişik atmosferik kirleticilerin neden olduğu olumsuz etkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Doğu Anadolu Bölgesinde (Malatya, Elazığ) üretilen ve yaygın şekilde yurt içinde ve dışında kullanılan dört mermer biriminden (Elazığ Vişne, Hazar Bej, Malatya Kayısı, Petrol Yeşili) bir yüzeyi parlatılmış örnekler derlenmiştir.

Derlenen örneklerin mineralojik bileşimleri XRD analizi ve ince kesit analizi ile kimyasal bileşimleri XRF analizi ile belirlenmiştir. Mermerlerin ana bileşen olarak kalsit ve serpantin minerali içerdiği belirlenmiştir. Derlenen örneklerin bazı fiziksel özellikleri porozite, kuru ağırlık, birim hacim ağırlığı, Mohs sertliği, TS 699, TS 6809, ISRM tarafından önerilen yöntemlerle belirlenmiştir. Deneylere başlamadan önce mermer örneklerinin yüzey parlaklık değerleri, yüzey pürüzlülük değerleri, renk parametreleri (L, a, b) belirlenmiştir.

Örnekler üzerinde TS EN 12370 standardında tanımlanan yöntemle göre dört farklı tuz $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4 , BaCl_2 ve NaClO kullanılarak tuz kristallenmesi deneyleri 30 döngü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Her beş döngü sonunda kuru ağırlıkları, yüzey pürüzlülükleri, yüzey parlaklıkları ve renk parametreleri (L, a, b) ölçülmüştür. Döngüler süresince gerçekleşen değişimler döngülerin başlangıcı ile sonu arasında meydana gelen değişimler belirlenmiş ve örneklerde meydana gelen tuz kristalizasyonları SEM-EDX analizi ile açıklanmaya çalışılmıştır. Döngülerin sonucunda, mermer örneklerinin tümünde ağırlık kayıpları, parlaklık ve renk değişiklikleri meydana gelmiştir. Su emme ve porozite tuz kristalizasyonundan etkilenmede en önemli fiziksel parametrelerdir. Ayrıca bünyesinde önemli miktarda serpantin bulunan örneklerin tuz kristalizasyonundan daha çok etkilendikleri görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Tuz kristallenmesi, yüzey parlaklığı, yüzey pürüzlülüğü, renk, mermer.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SALT CRYSTALLING ON SURFACE QUALITY IN SOME MARBLE

Fadime POLAT GÜZEL

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

113 + xiv pages

2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Didem EREN SARICI

In this study, it is aimed to determine the negative effects caused by various salt effects in some rocks used in our country. Polished surface samples were collected from marble processing plants in eastern part of Turkey (Malatya-Elazığ) and they are (Rosso Levanto, Verde Antico, Hazar Beige, Malatya Apricot) widely used domestically and abroad.

The mineralogical structures were determined by XRD and thin section analysis and chemical composition was determined by XRF analysis. The physical properties (Moh's hardness, unit weight, dry weight loss, porosity, water absorbtion) were determined suggested by TSE and ISRM methods. Gloss and colour measurements were performed on polished surface of samples. Salt crystallisation tests were performed according to TS EN 12370 standart during 30 cycles. Four different salt ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4 , BaCl_2 , NaClO) were used in salt crystallization tests, at the and of the every five cycles weight, gloss, colour measurement ere recorded and changes were evaluated salt crystallizations in sample are explained by SEM-EDX analysis.

As a result of the cycles weight loss, gloss and colour changes were observed in all of the samples. Porosity and water absorbtion capacity are the most important in salt crystallization. In addition samples which contain significant amount serpentine were affected more salt crystallization.

Keywords: Salt crystallisation, surface glossiness, surface roughness colour, marble.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışması süresince her türlü olanağı sağlayarak, bu çalışmanın gerçekleşmesinde önemli katkıları olan, alanındaki değerli bilgi, tecrübe ve görüşlerini benimle paylaşarak ufkumu aydınlatan, kendimi geliştirmemi sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Didem EREN SARICI'ya,

Çalışmalarımızda her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen hocam Öğr.Gör. Nilgün KIZILKAYA'ya, Yüksek Lisans tez jüri üyelerim Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU, Doç. Dr. Dicle BAL AKKOCA'ya

Çalışmayı FYL-2018-1084 ID nolu proje ile maddi açıdan destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne,

Ayrıca, bugüne kadar maddi manevi hiç bir desteğini esirgemeyen değerli aileme, biricik oğlum Salih Bera'ya ve özellikle hayatımın her alanında olduğu gibi bütün çalışma süresince de tüm özverisiyle yanımda olan, beni destekleyen kıymetli eşim Mustafa GÜZEL'e

Sonsuz Teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Kapsam	2
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Mermerin Tanımı, Çeşitleri ve Özellikleri	3
2.1.1. Mermerin Tanımı	3
2.2. Mermerlerin Sınıflandırılması	3
2.2.1. Mermerlerin Jeolojik Oluşum Bakımından Sınıflandırılması.....	3
2.2.2. Mermerlerin Sertlik Özelliklerine Göre Sınıflandırılması.....	4
2.2.3. Mermerlerin Mineral Tane Boyutlarına Göre Sınıflandırılması	4
2.2.4. Mermerlerin Yapı ve Dokularına Göre Sınıflandırılması.....	5
2.2.5. Mermerlerin Kullanım Şekline Göre Sınıflandırılması.....	5
2.3. Mermerlerin Özellikleri	6
2.3.1. Sertlik.....	6
2.3.2. Birim Hacim Ağırlığı.....	6
2.3.3. Çözülme Özelliği	6
2.3.4. Renk	7
2.3.5. Saydamlık.....	7
2.3.6. Cila Tutma.....	7
2.3.7. Porozite	7
2.3.8. Direnç	7
2.3.9. Çatlaklılık Yapısı	8
2.3.10. Yabancı Maddeler	8
2.4. Mermerlerde Yüzey Kalitesi.....	8
2.4.1. Mermerlerde Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü	8

2.4.2.	Mermerlerde Yüzey Parlaklığının Ölçümü	9
2.5.	Bozunma	9
2.5.1.	Bozunma Türleri	10
2.5.1.1.	Fiziksel Bozunma	11
2.5.1.2.	Kimyasal Bozunma	12
2.5.1.3.	Biyolojik Bozunma.....	13
2.5.2.	Yapıtaşlarında Bozunma	13
2.5.3.	Yapıtaşlarında Bozunmaya Neden Olan Fiziksel Faktörler.....	14
2.5.3.1.	Çözünabilen Tuzlar	14
2.5.3.2.	Donma-Çözülme.....	15
2.5.3.3.	Islanma-Kuruma	16
2.5.3.4.	Farklı Termal Genleşme.....	16
2.5.3.5.	Rüzgar.....	16
2.5.4.	Yapıtaşlarında Bozunmaya Neden Olan Kimyasal Faktörler	17
2.5.4.1.	Çözünme-Oksidasyon-Hidroliz	17
2.5.5.	Atmosferik Kirleticiler	17
2.5.6.	Yapıtaşlarında Bozunmaya Neden Olan Biyolojik Faktörler.....	18
2.6.	Literatür Taraması.....	19
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1.	Örnek Derleme.....	24
3.2.	Deneysel Çalışmalar	24
3.2.1.	Örnek Hazırlama	24
3.2.2.	Kullanılan Araç-Gereç ve Kimyasallar.....	24
3.2.3.	Mermerlerin Fiziksel Özelliklerini Belirleyen Deneyler	25
3.2.3.1.	Birim Hacim Ağırlığı Deneyi	25
3.2.3.2.	Su Emme Deneyi	26
3.2.3.3.	Porozite Deneyi.....	27
3.2.3.4.	MOHS Sertliği	27
3.2.4.	Mermerlerin Mineralojik-Petrografik Özellikleri.....	28
3.2.4.1.	X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD)	28
3.2.4.2.	X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF).....	28
3.2.5.	Tuz Kristallenmesi Döngülerinin Uygulanması	29
3.2.5.1.	Parlaklık Ölçümleri.....	30

3.2.5.2.	Renk Özelliklerinin Belirlenmesi	31
3.2.5.3.	Ağırlık Kayıplarının Belirlenmesi	32
3.2.5.4.	Parlaklık Değişimlerinin Belirlenmesi.....	32
3.2.5.5.	Renk Değişimlerinin Belirlenmesi.....	33
3.2.5.6.	Değişim Hızlarının Belirlenmesi	33
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	35
4.1.	Çalışılan Kayaçların Fiziksel Özellikleri	35
4.1.1.	Birim Hacim Ağırlığı Deneyi Sonuçları	35
4.1.2.	Su Emme Deneyi Sonuçları.....	36
4.1.3.	Porozite Değerleri	38
4.1.4.	Sertlik.....	39
4.2.	Mermer Örneklerinin XRD Analizleri Sonuçları	40
4.3.	Mermer Örneklerinin XRF Analizleri Sonuçları	42
4.4.	İnce Kesit Analizi Sonuçları	43
4.5.	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonuçları	45
4.5.1.	Kuru Ağırlık Değişim Değerleri	45
4.5.2.	Toplam Kuru Ağırlık Değişimleri	53
4.5.3.	Parlaklık Değişim Değerleri	54
4.5.4.	Toplam Parlaklık Değişimleri	62
4.5.5.	Renk Ölçüm Değerleri.....	63
4.5.5.1.	L (Siyahlık-Beyazlık) Değişimleri.....	63
4.5.5.2.	Toplam L Değişimleri.....	71
4.5.5.3.	a (Yeşillik-Kırmızılık) Değişimleri	72
4.5.5.4.	Toplam a Değişimleri	80
4.5.5.5.	b (Mavilik-Sarılık) Değişimleri	82
4.5.5.6.	Toplam b Değişimleri	90
4.5.5.7.	Toplam Renk Değişimleri ΔE	92
4.5.5.8.	Döngüler Sonucunda Elde Edilen Toplam Renk Değişimleri (ΔE)	96
4.6.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) Analizleri Sonuçları	97
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	106
5.1.	Sonuçlar	106
5.2.	Öneriler	108
6.	KAYNAKLAR	109
	ÖZGEÇMİŞ	113

SİMGELER VE KISALTMALAR

CIELAB	Renk Tanımlama Sistemi
ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği
kN	Kilo Newton
MPa	Mega Pasgal
XRD	X-Işını Kırınım Yöntemi
XRF	X-Işınları Floresans Spektrometresi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Fiziksel bozunma süreçleri	12
Şekil 2.2.	Kimyasal bozunma süreçleri	13
Şekil 2.3.	İklimsel faktörler ve yapıtaşlarındaki bozunma ilişkisi	14
Şekil 3.1.	Tuz kristallenmesine tabii tutulan örneklerin genel görünümü	30
Şekil 3.2.	Yüzey parlaklığı ölçümlerine ait bir görüntü	31
Şekil 3.3.	CIELAB koordinat sisteminin şematik görüntüsü	31
Şekil 3.4.	Renk ölçümlerine ait bir görüntü	32
Şekil 4.1.	Elazığ Vişne mermerinin X-Ray difraktogramı	40
Şekil 4.2.	Hazar Bej mermerinin X-Ray difraktogramı	41
Şekil 4.3.	Malatya Kayısı mermerinin X-Ray difraktogramı	41
Şekil 4.4.	Petrol Yeşili mermerinin X-Ray difraktogramı	42
Şekil 4.5.	Elazığ Vişne mermeri içerisinde gözlenen serpantin (ser), kalsit (kal) ve opak (opk) mineraller	43
Şekil 4.6.	Hazar Bej mermeri içerisindeki birncil (kal-1) ve ikincil (kal-2) kalsit mineralleri	44
Şekil 4.7.	Malatya Kayısı mermeri içerisindeki kalsit (kal) mineralleri	44
Şekil 4.8.	Petrol Yeşili mermeri içerisindeki serpantin (ser), kalsit (kal) ve opak (opk) mineraller	45
Şekil 4.9.	Kuru ağırlık değişimleri (%) 1.grup	46
Şekil 4.10	Kuru ağırlık değişimleri (%) 2.grup	48
Şekil 4.11	Kuru ağırlık değişimleri (%) 3.grup	50
Şekil 4.12	Kuru ağırlık değişimleri (%) 4.grup	52
Şekil 4.13	Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda tahrip olan numunelerin görüntüsü	54
Şekil 4.14.	Parlaklık değişimleri (%) 1.grup	55
Şekil 4.15.	Parlaklık değişimleri (%) 2.grup	57
Şekil 4.16.	Parlaklık değişimleri (%) 3.grup	59
Şekil 4.17.	Parlaklık değişimleri (%) 4.grup	61

Şekil 4.18.	L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) 1.grup	64
Şekil 4.19.	L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) 2.grup	66
Şekil 4.20.	L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) 3.grup	68
Şekil 4.21.	L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) 4.grup	70
Şekil 4.22.	a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (%) 1.grup	73
Şekil 4.23.	a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (%) 2.grup	75
Şekil 4.24.	a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (%) 3.grup	77
Şekil 4.25.	a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (%) 4.grup	79
Şekil 4.26.	b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) 1.grup	83
Şekil 4.27.	b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) 2.grup	85
Şekil 4.28.	b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) 3.grup	87
Şekil 4.29.	b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) 4.grup	89
Şekil 4.30.	Mermerlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	99
Şekil 4.31.	Mermerlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları (MgSO_4)	100
Şekil 4.32.	Mermerlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları (BaCl_2)	102
Şekil 4.33.	Mermerlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları (NaClO)	104
Şekil 4.34.	Malatya Kayısı mermerinde gelişen tahribat görüntüsü	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Mermerlerin sertliğine göre sınıflandırılması	4
Çizelge 2.2.	Mermerlerin mineral tane boyutlarına göre sınıflandırılması	5
Çizelge 2.3.	Mermerlerin yapı ve dokularına göre sınıflandırılması	5
Çizelge 2.4.	ANON (1995) tarafından tüm kaya malzemesi grupları için önerilen bozunma sınıflaması	10
Çizelge 2.5.	Kayaçların bozunmasına neden olan ayrışmalar ve bunların kategorileri	11
Çizelge 4.1.	Elazığ Vişne mermerinin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri	35
Çizelge 4.2.	Hazar Bej mermerinin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri	35
Çizelge 4.3.	Malatya Kayısı mermerinin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri	36
Çizelge 4.4.	Petrol Yeşili mermerinin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri	36
Çizelge 4.5.	Elazığ Vişne mermerinin ağırlıkça su emme değerleri	37
Çizelge 4.6.	Hazar Bej mermerinin ağırlıkça su emme değerleri	37
Çizelge 4.7.	Malatya Kayısı mermerinin ağırlıkça su emme değerleri	37
Çizelge 4.8.	Petrol Yeşili mermerinin ağırlıkça su emme değerleri	38
Çizelge 4.9.	Elazığ Vişne mermerinin görünür porozite değerleri	38
Çizelge 4.10.	Hazar Bej mermerinin görünür porozite değerleri	38
Çizelge 4.11.	Malatya Kayısı mermerinin görünür porozite değerleri	39
Çizelge 4.12.	Petrol Yeşili mermerinin görünür porozite değerleri	39
Çizelge 4.13.	Mermer örneklerinin Mohs sertlikleri	40
Çizelge 4.14.	Mermer örneklerinin XRF analizleri sonuçları	42
Çizelge 4.15.	Kuru ağırlıklar ve değişim değerleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	46
Çizelge 4.16.	Kuru ağırlıklar ve değişim değerleri 2. grup (MgSO_4)	48
Çizelge 4.17.	Kuru ağırlıklar ve değişim değerleri 3. grup (BaCl_2)	50
Çizelge 4.18.	Kuru ağırlıklar ve değişim değerleri 4. grup (NaClO)	52
Çizelge 4.19.	Toplam kuru ağırlık değişimleri	53

Çizelge 4.20.	Parlaklık değişim değerleri 1. grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	55
Çizelge 4.21.	Parlaklık değişim değerleri 2. grup (MgSO_4)	57
Çizelge 4.22.	Parlaklık değişim değerleri 3. grup (BaCl_2)	59
Çizelge 4.23.	Parlaklık değişim değerleri 4. grup (NaClO)	61
Çizelge 4.24.	Toplam parlaklık değişimleri	62
Çizelge 4.25.	L (siyahlık-beyazlık) değişimleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	64
Çizelge 4.26.	L (siyahlık-beyazlık) değişimleri 2.grup (MgSO_4)	66
Çizelge 4.27.	L (siyahlık-beyazlık) değişimleri 3.grup (BaCl_2)	68
Çizelge 4.28.	L (siyahlık-beyazlık) değişimleri 4.grup (NaClO)	70
Çizelge 4.29.	Toplam L değişimleri	71
Çizelge 4.30.	a (yeşillik-kırmızılık) değişimleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	73
Çizelge 4.31.	a (yeşillik-kırmızılık) değişimleri 2.grup (MgSO_4)	75
Çizelge 4.32.	a (yeşillik-kırmızılık) değişimleri 3.grup (BaCl_2)	77
Çizelge 4.33.	a (yeşillik-kırmızılık) değişimleri 4.grup (NaClO)	79
Çizelge 4.34.	Toplam a değişimleri	81
Çizelge 4.35.	b (mavilik-sarılık) değişimleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	83
Çizelge 4.36.	b (mavilik-sarılık) değişimleri 2.grup (MgSO_4)	85
Çizelge 4.37.	b (mavilik-sarılık) değişimleri 3.grup (BaCl_2)	87
Çizelge 4.38.	b (mavilik-sarılık) değişimleri 4.grup (NaClO)	89
Çizelge 4.39.	Toplam b değişimleri	91
Çizelge 4.40.	Renk değişim değerleri (ΔE) 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	93
Çizelge 4.41.	Renk değişim değerleri (ΔE) 2.grup (MgSO_4)	94
Çizelge 4.42.	Renk değişim değerleri (ΔE) 3.grup (BaCl_2)	95
Çizelge 4.43.	Renk değişim değerleri (ΔE) 4.grup (NaClO)	96
Çizelge 4.44.	Başlangıç ve döngü sonunda gelişen toplam renk değişim değerleri (ΔE)	97

1. GİRİŞ

Bilimsel olarak mermerler; yüksek sıcaklık ve basınç altında metamorfizma geçirmiş kireçtaşları olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel anlamda ise; kesilip parlatılabilen ve ticari değeri olan her türlü kayaç mermer olarak adlandırılmaktadır. Petrografik olarak ise mermerler; masif görünümlü, genel olarak tekdüze büyüklükte (uğramış olduğu metamorfizma şekline göre) kalsit kristallerinin arasında boşluk olmaksızın sıralandığı bir mozayiktir [1].

Jeolojik yapısı itibariyle zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, bugünkü verilere göre 4 milyar m³ işletilebilir mermer, 2.8 milyar m³ işletilebilir traverten, 1 milyar m³ granit rezervi bulunmaktadır. Türkiye’de yapılan araştırmalarda, 650’ye yakın renk ve dokuda mermer çeşidinin bulunduğu belirlenmiştir. Rezervlerimizin, mermer çeşitliliği ile beraber değerlendirilmesine bakıldığında, mermer sektörünün önemli bir istihdam kaynağı oluşturduğu ve dünya pazarlarında da önemli bir yere sahip olduğumuz görülmektedir. Türkiye’de üretilen ve uluslararası piyasada en tanınmış mermer çeşitleri; Elazığ Vişne, Bilecik Bej, Hazar Bej, Denizli Traverten, Ege Bordo, Afyon Şeker, Süpren, Milas Leylaktır [2].

Mermerler, geçmiş zamanlardan günümüze kadar estetik görünümleri ve dayanıklı olmaları sebebiyle pek çok alanda kullanılmıştır. İnşaat sektöründe, mezarlıklarda, süs eşyası yapımında, heykellerde, dış cephe kaplamalarında, park ve bahçe düzenlemeleri gibi daha birçok alanda tercih edilmektedir [3].

Ayrıca, günümüz ekonomik şartlarında daha ucuz olan doğal taşların yapılarda kullanımı ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte, tüm tarihi devirlerde olduğu gibi günümüzde de yapıtaşları farklı renk ve doku özelliklerinin neticesinde dış görünümleri dolayısıyla yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Atmosferik koşullar, tekrarlayan kristalize olma-çözünme, hidrate-dehidrate olma koşulları birçok alanda kullanılan mermerlerin hızlı bir biçimde bozulmasına sebep olmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada mermer olarak kullanılan bazı kayaçlarda yüzey kalitesi üzerinde değişik atmosferik kirleticilerin neden olduğu olumsuz etkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Bu tez çalışması, örnek derlemesi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür;

1) Örnekler; Doğu Anadolu Bölgesinde üretimi yapılan, iç ve dış piyasada satılan mermer birimlerinden seçilmiştir.

2) Laboratuvar çalışmalarında kayaçların birim hacim ağırlığı, su emme, porozite ve sertlik tayini gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Yaptırılan XRD, XRF, ince kesit analizleri ile mineralojik-petrografik ve jeoimyasal özellikleri belirlenmiştir. Yüzey özelliklerini belirlemek için parlaklık ve renk ölçümleri alınmıştır.

Yapı elemanlarının bünyesinde bulunan ve bu elemanları etkileyen yaklaşık elli tuz iyonunun varlığı bilinmektedir. Bunlardan kloridler, sülfatlar, nitratlar, karbonatlar sodyum, magnezyum ve potasyum en yaygın olarak bilinenlerdir. Tuzlar; hava kirliliği, deniz suyu ve toprak ile temas, uygun olmayan kimyasallar ile muamele ve tuz içeren yapı malzemeleriyle etkileşim yolu ile yapı malzemelerine etki eder ve yıkıcı sonuçlar doğurur. Bu yıkıcı etkileri ortaya koymak amacıyla tuz kristallenmesi deneylerinde $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4 , BaCl_2 , NaClO tuzları kullanılmıştır.

TS EN 12370 standardında tanımlanan yöntemle tuz kristallenmesi deneyleri 30 döngü olacak şekilde yapılmıştır. Her 5 döngü 1 periyot olarak tanımlanmış ve her periyot sonunda numunelerin ağırlıkları, renk parametreleri (L, a, b), parlaklık değerleri belirlenmiştir. Herbir periyot sonunda parlaklık, renk ve ağırlık değerlerinde gelişen değişimler ve değişim hızları hesaplanarak değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Mermerin Tanımı, Çeşitleri ve Özellikleri

2.1.1. Mermerin Tanımı

“Boyutlandırılmış Taş” olarak bilinen mermerin tanımı ticari ve bilimsel anlamda olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır.

Bilimsel Tanımı

Mermerler kireçtaşı (CaCO_3) ve dolomitik kireçtaşlarının ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ısı ve basınç koşulları altında metamorfizma geçirerek tekrardan kristalleşip yeni bir yapı kazanmaları ile meydana gelen kayalardır.

Endüstriyel Tanımı

Endüstriyel alanda kesilip ebatlandırılabilen, dekoratif amaçlı kullanılan ve maddi değeri olan her türlü kayaç mermer olarak adlandırılmaktadır.

2.2. Mermerlerin Sınıflandırılması

2.2.1. Mermerlerin Jeolojik Oluşum Bakımından Sınıflandırılması

Mermerler jeolojik oluşumları bakımından üç grupta sınıflandırılabilir [4].

a) Metamorfik Kökenli Mermerler; Sedimanter ve volkanik kayaların yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında tam kristalleşmesi ile oluşan, renkleri çoğunlukla beyaz ve gri tonlarında olan bileşimlerinde de pek çok yabancı maddeyi ihtiva eden kayalardır.

b) Sedimanter Kökenli Mermerler; Kayaların parçalanıp, bulundukları yerden uzaklara taşınıp uygun bir ortamda birikerek çimentolanmasıyla meydana gelen konglomera, breş ve suda eriyik durumda bulunan kalsiyum ve magnezyum karbonatın fiziksel ve kimyasal durumlarının değişmesi sonucunda oluşan traverten, kireçtaşı, kumtaşı, oniks gibi kayalardır.

c) Magmatik Kökenli Mermerler; Yer kabuğunun alt kısımlarında yer alan magmanın yeryüzüne çıkması veya yerkabuğuna sokulması neticesinde oluşmuş granit, siyenit, serpantin, diyabaz, bazalt, andezit, gabro gibi kayalardır. Bu mermerler oluşum derinliklerine göre; derinlik, damar ve yüzey kayaları olarak, kimyasal içeriklerine

göre (bileşimlerinde bulunan SiO₂ oranına göre) asidik, bazik, nötr ve ultrabazik kayalar olarak sınıflandırılır. Bunlara örnek olarak granit, bazalt, diyabaz verilebilir.

Mağmatik kökenli mermerler çıkarılma ve işleme aşamalarındaki güçlükler rağmen, basınç ve aşınma dirençlerinin yüksek olması, kristal yapısı ve bünyesindeki minerallere bağlı olarak zengin renk ve desene sahip olmaları ayrıca uzun süre cilalarını korumaları gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedirler.

2.2.2. Mermerlerin Sertlik Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Mermerlerin kullanım alanlarının belirlenmesinde önemli olan unsurlardan biri olan sertlik, mermerin cinsine ve bünyesinde bulunan minerallere bağlı olarak değişmektedir.

Çizilebilirlik esasına göre belirlenen ve en sık kullanılan mineral sertlik değerini belirleme yöntemi Moh's skalasına göre belirlenen sertlik değerleridir.

Bununla birlikte sertlik, mermerin kesilebilirliği ve işlenebilirliğinin yanı sıra cila alma kapasitesini de belirleyen önemli bir faktördür. Sert mermerler yumuşak mermerlere göre daha iyi cilalanır. Çizelge 2.1'de doğal taşların sertlik özelliklerine göre sınıflandırılması verilmiştir [1].

Çizelge 2.1. Mermerlerin sertliğine göre sınıflandırılması [1]

MERMERLER			
YUMUŞAK MERMERLER S=3.5-4		SERT MERMERLER S=6-7	
<u>AÇIK RENKLİ</u>	<u>KOYU RENKLİ</u>	<u>AÇIK RENKLİ</u>	<u>KOYU RENKLİ</u>
Mermerler	Renkli mermerler	Granit	Diyabaz
Metamorfik kalker	Renkli metamorfik	Siyanit	Gabro
Şistler	kayaçlar	Kuvars	Serpantinit - Ultrabazik
Diğerleri	Yeşil şistler	Diyorit	
	Diğerleri		

S: Mohs Sertlik Değeri

2.2.3. Mermerlerin Mineral Tane Boyutlarına Göre Sınıflandırılması

Çizelge 2.2'de mermerlerin mineral tane boyutlarına göre sınıflandırılması verilmiştir [4].

Çizelge 2.2. Mermerlerin mineral tane boyutlarına göre sınıflandırılması [4]

KAYAÇ	TANE BOYUTU (mm)
İnce taneli mermer	<1 mm
Orta taneli mermer	1 mm – 5 mm
İri taneli mermer	5 mm – 1-2 cm

2.2.4. Mermerlerin Yapı ve Dokularına Göre Sınıflandırılması

Mermerlerin yapı ve dokularına göre sınıflandırılması Çizelge 2.3’te verilmiştir [4].

Çizelge 2.3. Mermerlerin yapı ve dokularına göre sınıflandırılması [4]

TÜRÜ	TANIMI
Masif mermer	Kompakt, ince ve iri taneli
Laminalı mermer	İnce taneli, renkli şeritli görünümde, şeritler farklı mineral veya elementler içerirler.
Şistli mermer	Yapraklı yapıda, önemli oranda mika içerirler.
Breşik mermer	Kırıklanmış, tekrar ikincil minerallerle dolgulanmıştır. Ara dolgular farklı renk ve mineral içerikli olabilirler.

2.2.5. Mermerlerin Kullanım Şekline Göre Sınıflandırılması

Mermerler kullanım açısından iki grupta sınıflandırılır.

- Parlatılmadan kullanılan mermerler
- Parlatılarak kullanılan mermerler

Parlatılmadan Kullanılan Mermerler

Ocaktan çıkarılan doğal taşların bir kısmı istenen özelliklere ve kullanım yerine göre parlatılmadan doğal hali ile boyutlandırılarak olduğu gibi kullanılır. Bu kullanım şekli son zamanlarda daha çok park, bahçe süslemelerinde, duvar kaplamalarında, şöminelerde tercih edilmektedir. Bu alanlarda tercih edilen mermer türlerine granit, andezit, bazalt, tüf, tüfit, şist ve benzeri kayalar örnek gösterilebilir [5].

Parlatıldıktan Sonra Kullanılan Mermerler

Doğal taşlar ocaktan çıkarılma işlemi tamamlandıktan sonra kullanılacağı yere varıncaya kadar bazı işlemlerden geçerler. Mermer işleme tesislerine gelen doğal taşlar kullanılacağı yere ve kullanılacak alanın özelliklerine göre istenilen kalınlıklarda kesilerek boyutlandırılır. Bu süreç içerisinde bazı aşındırıcı, silici, kazıyıcı ve kimyasal maddeler kullanılarak mermer yüzeylerinde bulunan pürüzler temizlenir ve cilalama işlemi ile yüzeyleri parlatılır.

Cila alma kapasitesi her mermer için farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar mermerin mineralojik yapısı ve tane boyutu ile alakalıdır [5]. Mekanik özellikleri bakımından zayıf ancak iyi cilalanan bir mermer, mekanik özellikleri bakımından iyi ama kötü cilalanan bir mermere göre pazarda daha çok tercih edilir.

2.3. Mermerlerin Özellikleri

2.3.1. Sertlik

Mermerlerin sertlik derecesi türlerine, kimyasal ve mineralojik bileşimine göre değişmektedir. İçeriğinde silikat minerallerinin fazla olmasına bağlı olarak mermerin sertliği artar. Mermerin sertliğinin, kesilme (işlenme) ve cilalanma konuları ile yakın ilgisi vardır.

Yumuşak mermerlerin cilalanması sert mermerlere göre daha zor, zaman alıcı ve daha masraflıdır. Ancak sert mermerlerin cila ömrü daha uzun olduğu için daha çok tercih edilirler [1].

2.3.2. Birim Hacim Ağırlığı

Mermer türüne göre birim hacim ağırlıkları $21.57-31.38 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmektedir. Birim hacim ağırlığının bilinmesi taşıma ücretlerinin hesaplanmasında, statik hesaplarda ve yük kaldırma aşamalarında kullanılacak halatların seçiminde gerekmektedir [1].

2.3.3. Çözülme Özelliği

Mermerin çözülmesi özellikle inşaatların dış kısımlarında dış cephe kaplamada kullanımı açısından oldukça önemli bir husustur. Mermerlerin çözülme şiddeti fiziksel özelliklerine, kimyasal bileşimine ve su emme özelliğine bağlı olarak değişmektedir [1].

2.3.4. Renk

Mermerler saf olduklarında renkleri beyaz veya süt beyazı tonlarındadır. Renklenme, mermeri oluşturan esas minerallerle birlikte ikincil veya az oranda yabancı element ve minerallerin varlığından kaynaklanmaktadır. Mermerin rengi ve dış görünümü pazar payında önemli rol oynamaktadır. Renk, mermerlere albeni kazandırmasının yanı sıra kullanım alanlarının doğru belirlenmesi açısından da önemli bir özelliktir [1].

2.3.5. Saydamlık

Mermerin ışığı geçirebilme kapasitesidir. İnce kristalli bir yapı gösteren mermerler saydamdır. Bu özelliklere sahip olan mermerler daha çok süs eşyası yapımında ve heykeltıraşılıkta tercih edilmektedir [1].

2.3.6. Cila Tutma

Mermerlerin cila alma kapasiteleri değişiktir. Sert mermerler iyi cila tutar fakat cilalanmaları daha fazla zaman ve işçilik ister. İyi cilalanan mermer türleri diğerlerine oranla daha çok tercih edilir. Mermer işletme tesislerinde levha haline getirilerek boyutlandırılmış mermerlerin pazar değeri, bu ürünlerin parlatılabilme özelliği ile yakın ilişkilidir [1].

2.3.7. Porozite

Gözeneklilik olarak da adlandırılan porozite, kayacı oluşturan tanelerin meydana getirdikleri boşluklu yapılara denir ve kayaçlarda bulunan boşluk hacminin ölçümü ile belirlenir.

Gözenekler arasında fazlaca irtibat olması bünyesine su alması ve donma-çözülme ile mikro çatlakların ortaya çıkmasına neden olduğu için doğal taşlarda istenmeyen bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Porozite oranı arttıkça mermerin ekonomikliği de azalmaktadır. Çünkü atmosferin etkilerine karşı koyabilme özelliği porozitenin artmasına bağlı olarak azalmaktadır [1].

2.3.8. Direnç

Mermerlerin dirençleri kayacın kristal yapısına, porozitesine, bileşiminde yer alan CaCO_3 oranına ve yabancı madde içeriğine göre değişiklik göstermekte olup, çoğunlukla tek eksenli basıncı dirençleri 50-150 MPa arasında değişmektedir [1].

2.3.9. Çatlaklılık Yapısı

Mermer yatağındaki kırık ve çatlaklar mermer bloklarının en kolay ayrılabilirlikleri süreksizliklerdir. Bu kırıklar bazen mermerde bulunan mika ve grafit parçaları ile daha da çoğalır ve bloklar daha çabuk parçalanabilir. Çatlakların aşırı derecede olması kayacı kullanılamayacak duruma getirmekte ve maliyeti arttırmaktadır [1].

2.3.10. Yabancı Maddeler

Mermerin bünyesinde yer alan yabancı maddelerin özelliğine göre mermer üzerinde oluşturdıkları etkileri de farklı olmaktadır. Bu yabancı maddeler çoğunlukla demir-sülfürler, silisli ve silikatlı mineraller olabilmektedir. Bu mineraller mermer yatağının ekonomikliğini düşürmektedir [1].

2.4. Mermerlerde Yüzey Kalitesi

Doğal taşlardan elde edilen gelirin artırılması; yüksek pazar payına sahip olması kaliteli ve verimli üretimden geçmektedir. Üretim sürecinde parlatma işlemi, maliyeti ve malzemenin kalitesini belirleyen en önemli özelliklerden biridir. Kaliteli bir parlatma işlemi mermer renginin ve içerisinde bulunan desenin daha net ortaya çıkmasına ve bu şekilde de daha yüksek fiyatlarda satılmasına olanak sağlar.

Bu sebeple mermerlerin parlatılmasında etkili olan faktörlerin iyi bilinmesi ve mermerlere uygun parametrelerin seçilmesi hem daha kaliteli görünüme sahip parlak bir ürün elde edilmesini hem de maliyet açısından daha ekonomik olmasını sağlamış olur.

Mermerler için yüzey kalitesini değerlendirmede iki önemli parametre kullanılmaktadır. Bunlar; yüzey pürüzlülüğü ve yüzey parlaklığıdır.

2.4.1. Mermerlerde Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

Pürüzlülük; işleyici bir takımın, yüzeyin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan pek çok çizikli, düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarıdır.

Mermerlerin süs eşyası yapımında ve dekoratif amaçlı kullanımı son zamanlarda yaygın hale gelmiştir. Bu nedenle mermerin yüzey pürüzlülüğü mermerin kullanım alanı için en önemli parametrelerden biri olmuştur. Pürüzlülük ölçümü için varolan sistemlerdeki ana yöntem iki boyutlu pürüzlülük profillerinin karşılaştırılarak sınıflandırılması ve derecelendirilmesi şeklindedir. Mermerlerde yüzey pürüzlülüğünün

belirlenmesinde, ölçüm yapılan yüzeye doğrudan temas halinde çalışan pürüzlülük ölçer cihazı kullanılmaktadır [6].

2.4.2. Mermerlerde Yüzey Parlaklığının Ölçümü

Bir yüzeye gelen ışın miktarının, yüzeyden yansıyan ışın miktarına oranı yüzeyin parlaklığı olarak ifade edilmektedir. Işığın yansıma kabiliyeti yüzeyin özellikleriyle doğrudan bağlantılıdır. Yüzeydeki pürüzlülükler ve düzensizlikler ışığın düzgün yansımalarını engelleyerek yüzey parlaklığının azalmasına sebep olur.

Ayrıca, malzemenin özelliğine bağlı olarak, yüzeye gelen ışınların cisim tarafından kısmen kırılmasından ötürü yansıtma miktarı azalabilir.

Yüzeyde bulunan mikro ve makro seviyedeki pürüzlülükler gelen ışığın değişik açılarda yansıtılarak dağılmasına ve cismin yüzeyinin mat görünmesine neden olmaktadır [7].

2.5. Bozunma

Doğal yapı taşı olarak kullanılan mermerler zamanla ve birtakım faktörlerin etkisiyle bozunmaya uğramaktadır. Bu faktörler çoğunlukla sıcaklık değişimleri, radyasyon, atmosferik kirleticiler ve iklim koşulları gibi dış etkenlerdir. Dış etkenlere maruz kalan yapı taşlarında bozunma neticesinde ufalanmalar, çatlaklar, kırılmalar ve pullanma gibi dış yüzeyde değişiklikler meydana gelebilmektedir.

Bozunma, hava ve suyun etkisiyle kayaların özelliklerini değiştiren en önemli unsurlardan bir tanesidir. Bu süreç sonucunda kayaların bünyesindeki minerallerin kimyasal bileşimi değişmekte, ikincil mineraller oluşmakta, gözeneklilik ve boşluk oranının artmasına paralel olarak dayanımları azalmaktadır.

Price (1995) bozunmayı, kaya kütlelerinin doğal ve yapay nedenlerden dolayı, yüzeye çıktıkları zaman gösterdikleri ve geri dönüşümü olmayan tepkimeler şeklinde tanımlamıştır. Bozunma, bölgesel olarak ve zaman içerisinde değişen iklim, bitki örtüsü gibi dış etkenler ile kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin özelliklerine bağlıdır [8].

Mineralojik bileşim, tane boyu ve gözeneklilik kaya malzemesinin bozunmaya karşı duyarlılığını kontrol eden en önemli faktörlerdendir. Bozunma sonucunda malzemelerin gözenekliliği artar, minerallerin dayanımı azalır ve taneler arasındaki bağlar zayıflar. Kaya içerisindeki boşluklara, minerallerin arasına ve eklemlere yeni

mineraller çökelir. Mineraller arasında gelişen çatlaklar kayayı kırılgan hale getirir.

Bozunmanın yapıtaşındaki derecesi; dış etkenlerin yanı sıra, kayanın fiziksel-mekanik yapısına, mineralojik bileşimine ve dokusuna bağlıdır. Bu nedenle farklı fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklere sahip kaya grupları bozunmaya karşı değişik derecelerde duyarlılık göstermekte, zamana bağlı bozunma performansları da farklı olmaktadır.

Çizelge 2.4'te ANON (1995) tarafından önerilen tüm kaya malzemesi türleri için oluşturulmuş geniş kapsamlı bir bozuma sınıflama sistemi verilmiştir [9].

Çizelge 2.4. ANON (1995) tarafından tüm kaya malzemesi grupları için önerilen bozunma sınıflaması [9]

Derece	Sınıf	Tanımlayıcı Özellikler
I	Taze	İlksel durum değişmemiştir.
II	Az bozunmuş	Hafif renk değişimi, dayanımda azalma.
III	Orta bozunmuş	Dayanımda önemli ölçüde azalma, renk değişimi kayanın içine etki etmiş, iri parçalar elle kırılmaz.
IV	Çok bozunmuş	İri taneler elle kırılabilir, kaya suda çabuk dağılmaz.
V	Tamamen bozunmuş	Dayanım oldukça azalmıştır, kaya suda çabuk dağılır, kayanın orijinal dokusu değişmemiştir.
VI	Kalıntı zemin	Bozunma sonucu kalıntı zeminler oluşmuştur, kayanın orijinal dokusu kaybolmuştur.

Bu sistemde, bozunma sonucu kayanın özelliklerindeki farklılaşmalar; renk değişimi, dayanımdaki azalma, süreksizliklerdeki değişimler ve bozunma ürünleri dikkate alınarak değerlendirilmekte ve bozunma sınıfları bu değerlere bağlı olarak gözlemsel olarak belirlenmektedir.

2.5.1. Bozunma Türleri

Bozunma fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Bozunmanın gerçekleşmesi için su en önemli unsurdur. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışmaların alt kategorileri Çizelge 2.5'te verilmiştir [10].

Çizelge 2.5. Kayaçların bozunmasına neden olan ayrışmalar ve bunların kategorileri [10]

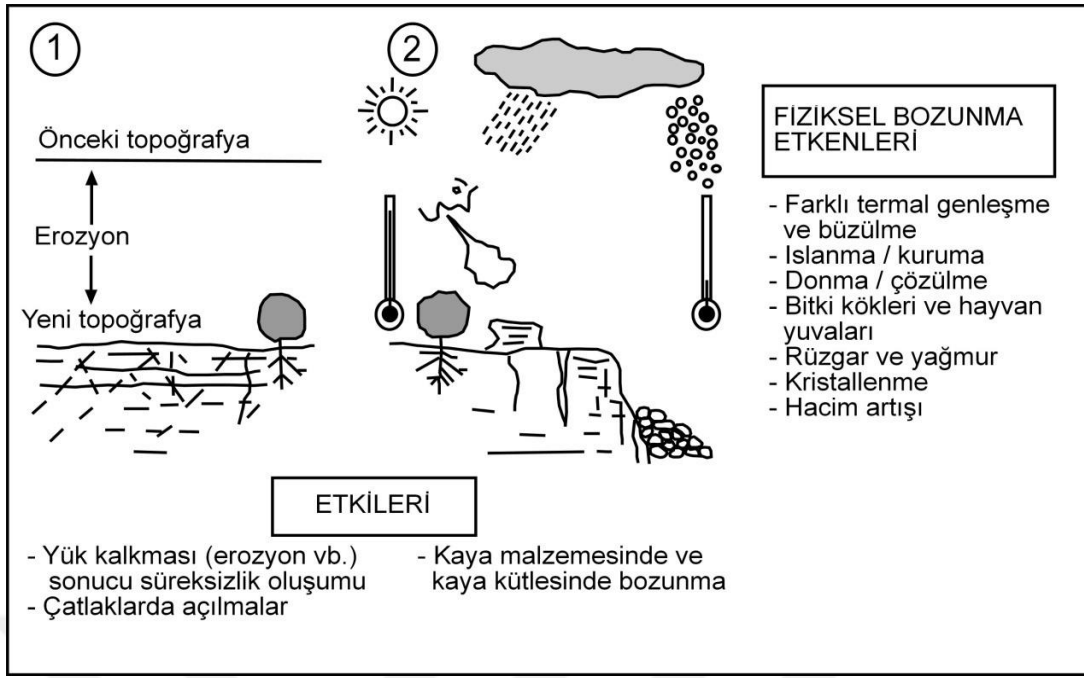
AYRIŞMA		
Fiziksel Ayrışma	Kimyasal Ayrışma	Biyolojik Ayrışma
1. Isıl Genleşme 2. Donma-Çözünme 3. Tuz Kristallenmesi 4. Neme Bağlı Bozunma 5. Mekanik Ayrışma	1. Hidratasyon 2. Oksidasyon 3. Çözünme	1. Fiziksel-Biyolojik Ayrışma 2. Kimyasal-Biyolojik Ayrışma

2.5.1.1. Fiziksel Bozunma

Kayaçların kimyasal ve mineralojik bileşiminde çok az bir değişiklik veya herhangi bir değişiklik olmaksızın parçalanıp ufalanması fiziksel bozunma olarak tanımlanır. Fiziksel bozunma çeşitli mekanik faktörlerin etkisiyle meydana gelir [11]. Bu faktörlerin bir kısmı kayanın kendi bünyesinde bulunan kuvvetlerden, bir kısmı da dış kuvvetlerden kaynaklanmaktadır.

Donma-çözülme, ıslanma-kuruma, ısınma-soğuma, tuz kristallenmesi gibi atmosferik faktörlerin etkisiyle kaya bünyesinde etkili olan dış kuvvetler kayanın mekanik anlamda bozunmasına neden olurken, kaya kütlesi üzerindeki düşey gerilmenin azalmasına bağlı olarak meydana gelen gerilme rahatlama sürecinin bir sonucu olan süreksizlik oluşumları veya mevcut eklemlerin açılması gibi iç faktörler de bozunmayı hızlandırmaktadır.

Fiziksel bozunma süreçlerinin şematik görüntüsü Şekil 2.1’de verilmiştir [9].



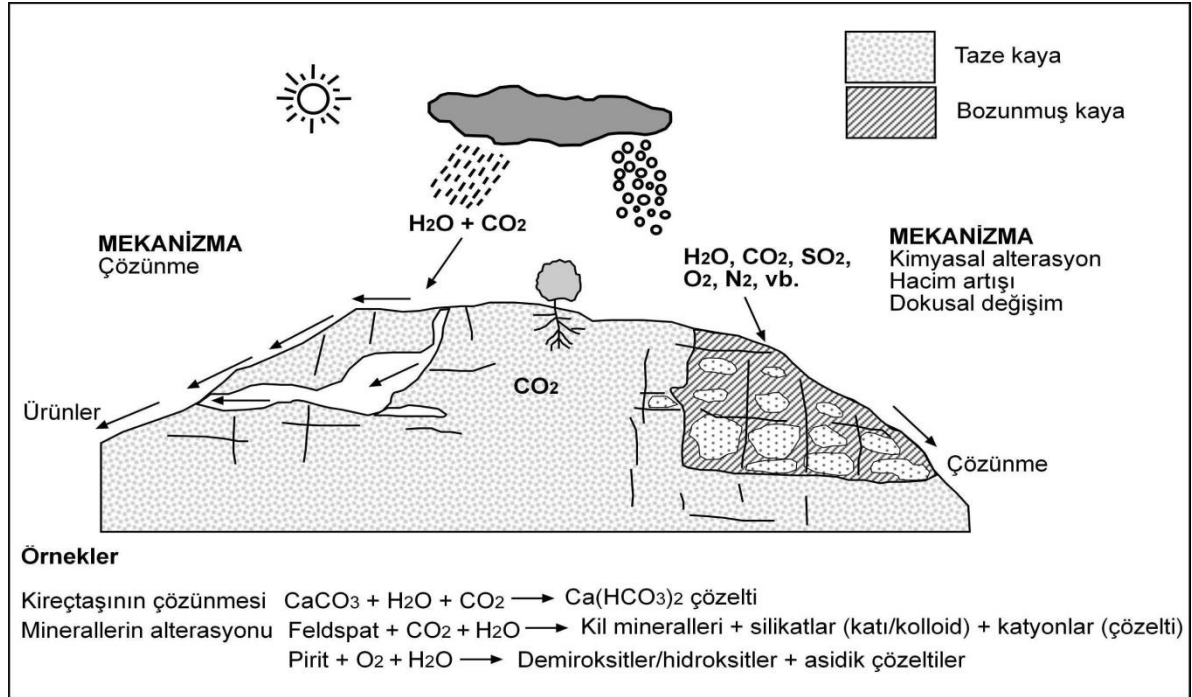
Şekil 2.1. Fiziksel bozunma süreçleri [9]

2.5.1.2. Kimyasal Bozunma

Yüzeyde ve yüzeye yakın kesimlerde kayayı oluşturan minerallerin kimyasal süreçler sonucunda ikincil minerallere dönüşmesi neticesinde oluşan bozunmadır. Minerallerin ve kaya malzemesinin kimyasal bozunması sonucunda bozunma ürününde hacimsel bir genişleme söz konusudur [11]. Bu hacimsel genişleme aynı zamanda fiziksel bozunmanın da etkisinin artmasına yardımcı olur. Bu gibi durumlarda kimyasal ve fiziksel bozunmanın ayırt edilmesi zorlaşmaktadır.

Kimyasal bozunma sonucu gelişen en önemli yıkıcı kuvvet, özellikle sülfat ve karbonat gibi bazı tuzların sıcaklık ve nemlilik değerlerindeki değişime bağlı olarak geçirdikleri hidrasyon ve dehidrasyon süreçlerinde oluşan basınçlardır [12].

Kayaların bünyesinde bulunan çeşitli minerallerin kimyasal bozunma karşısında gösterdikleri tepkiler farklıdır. Kimyasal bozunma süreçlerinin şematik görüntüsü Şekil 2.2’de verilmiştir [9].



Şekil 2.2. Kimyasal bozunma süreçleri [9]

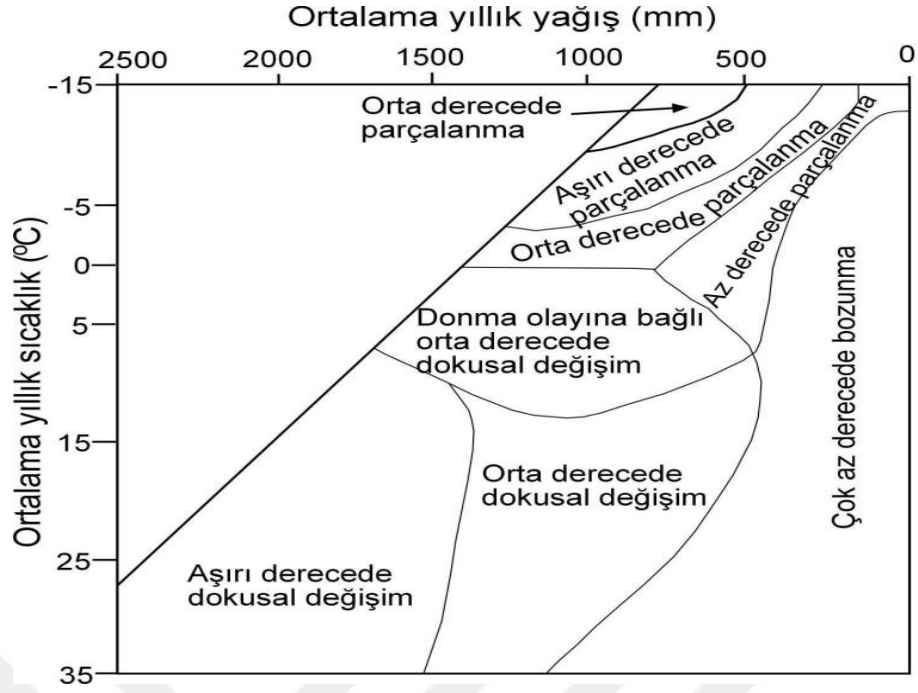
2.5.1.3. Biyolojik Bozunma

Kaya ve minerallerin bozunması, fiziksel ve kimyasal faktörlerin yanı sıra bitkiler, hayvanlar ve bakterilerin etkisiyle de gerçekleşebilmektedir. Yapılan çalışmalarda, bakterilerin etkisiyle kayalarda meydana gelen biyolojik bozunmanın sanılandan daha etkili olduğu belirlenmiştir [11]. Öte yandan organik malzemeler, çeşitli faktörlerin yardımıyla (sızıntı suyu, hayvansal faaliyetler vb.) derinlere taşınarak bozunmayı hızlandırmaktadır. Toprak içerisinde yaşayan hayvanlar da biyolojik bozunma sürecinde önemli bir yer tutmaktadır.

2.5.2. Yapıtaşlarında Bozunma

Yapıtaşlarındaki bozunmada, taşın bulunduğu çevrenin iklimsel özellikleri birinci derecede rol oynamaktadır.

Sözmen (2000) ve Winkler (1997) bozunma tipinin, kayanın fiziksel ve kimyasal yapısı ile dış ve iç etkilerin cinsine bağlı olduğunu açıklamıştır. Yapıtaşlarındaki bozunma sonucunda, taşın görünümü, dayanımı, bütünlüğü, boyutları ve kimyasal davranışı değişmektedir [13,14]. İklimsel faktörler ve yapıtaşlarındaki bozunma ilişkisi Şekil 2.3'te verilmiştir [15].



Şekil 2.3. İklimsel faktörler ve yapıtaşlarındaki bozunma ilişkisi [15]

Fiziksel bozunmada, çözünebilen tuzlar, donma-çözünme olayı, ıslanma-kuruma, sıcaklığa bağlı genişleme ve rüzgar etkili olmaktadır. Kimyasal bozunmada ise, yapıtaşını oluşturan minerallerin içsel yapısı, çözünme, oksidasyon ve hidroliz olayları sonucunda değişmektedir. Özellikle yarı kurak iklim koşullarında, kimyasal bozunmanın en önemli tepkimeleri hidroliz ve oksidasyondur [16].

2.5.3. Yapıtaşlarında Bozunmaya Neden Olan Fiziksel Faktörler

2.5.3.1. Çözünebilen Tuzlar

Yapıtaşlarında çözünebilen tuzların etkisiyle meydana gelen deformasyonlar, kristallenme basıncı, hidrasyon, farklı termal genişleme ve balpeteği bozunması sonucunda oluşmaktadır. Gözeneklerdeki tuz kristallenmesi sırasında oluşan hacimsel artış, gözenek duvarlarına gerilme uygulayarak kaya bünyesinde parçalanmalara ve dolayısıyla bozunmalara neden olmaktadır [14]. Özellikle tarihi ve kültürel yapılarda gözlemlenen bozunmanın en önemli sebebi tuz kristalizasyonu etkisidir.

Tuzun cinsi, kaya malzemesinin dokusu ve özellikle Na_2SO_4 'ün buharlaşma koşulları tuz kristallenmesinin etkisini ortaya koyan faktörlerdir. Kristallenen tuzun kayanın bünyesinden ayrılmayıp gözeneklerinde kalması durumunda yapıtaşı bozunması için daha olumsuz bir durum meydana gelmekte ve bir sonraki yağışlı

dönemde yeniden çözünen tuzların kurumasıyla birlikte bozunma hızlanmaktadır [13,17]. Bu bozunmanın sonucunda yeni kırık ve çatlakların gelişimi, pullanma, parça kopmaları ve nihayetinde tüm kayada meydana gelen topyekün bozunma sıklıkla görülmektedir [18].

Çözünebilen tuzların etkisi ile yüzeyde kristalleşme gerçekleşirse yüzeyde birikim (kabuk), bu da temizlenmediği takdirde yüzeyde ufalanmaya neden olur [19].

Yapıtaşlarındaki bozunma, atmosferdeki sıcaklık ve nemlilik koşullarının değişimi ile birlikte çözünebilen tuzlarda oluşan hidrasyon ve dehidrasyon etkisiyle de meydana gelebilmektedir. Hidrasyon sırasında kristal yapısının bünyesine su alması, hacimsel artışa neden olmakta ve bu durum gözenek duvarlarına belirli bir basınç uygulamaktadır [14]. Gözeneklerdeki tuz, farklı sıcaklık koşulları altında kayanın kendisinden daha fazla bir genişleme davranışı sergileyebilir. Bu durum çözünebilen tuzlarda farklı termal genişleme olarak adlandırılmaktadır.

2.5.3.2. Donma-Çözülme

Gözeneklerdeki veya eklemlerdeki suyun donarak buza dönüşmesi sonucu meydana gelen olgu donma olarak adlandırılmaktadır. Donma-çözülme olayı, iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama kayacın ortam sıcaklığı 0°C'nin altına düşmesi ile gelişen donma aşaması, ikinci aşama ise ortam sıcaklığının 0°C'nin üstüne çıkmasıyla kayacın çözülmesi aşamasıdır. Donma-çözülme süreci incelendiğinde en büyük etkenlerden biri olarak su görünmektedir. Bunun sebebi suyun donması ile hacminin % 9 oranında artmasıdır. Doygun bir kayacın donma-çözülme sürecine maruz kaldığında kayacın gözeneklerinde bulunan suyun donması ile hacmi genişleyecektir. Kayacın içerisinde buzun genişmesi için yer olmadığından hacmi genişleyen buz kayaya basınç uygulayacaktır. Kayacın gözeneklerinde oluşan buzun oluşturduğu basınçlar azalan sıcaklıkla artarak 22°C'de 200 MPa ulaşabilmektedir [20].

Çevrimsel olarak gelişen donma-çözülme sonucunda kayanın bünyesinde mikro kırıklar, çatlaklar, pullaşmalar (flaking) ve dökülmeler (spalling) meydana gelmektedir. Kayaların donmaya karşı duyarlılığı, kayanın cinsi, mineralojik özellikleri, gözenek yapısı, gözenekliliği, sıcaklığı, su emme kapasitesi ve bulunduğu ortama bağlıdır. Bu nedenle, bir bölge için yapıtaşlarının karşı karşıya kalacağı donma-çözülme çevrimlerinin sayısının belirlenmesi gerekmektedir [21,22].

2.5.3.3. İslanma-Kuruma

Çevrimsel olarak gerçekleşen ıslanma-kuruma olaylarının yapıtaşlarında bozunmanın gelişmesine neden olduğu bilinmektedir. Birçok kaya türü su emmesi ile birlikte genişlerken, kuruma ile birlikte büzülme davranışı sergiler. Bu genişleme-büzülme döngüsü sırasında tane sınırlarında gerilmeler oluşur ve bu gerilmeler zamanla tanelerin ayrılmasına ve kaya bünyesinde deformasyonlara yol açar. İslanma-kuruma döngüsünün kaya için oluşturduğu diğer bir olumsuzluk ise, ıslanma aşamasında gerçekleşen asidik etkilerdir [23].

Suyun kaya yüzeyinin özelliklerine bağlı olarak yüzeyden uzaklaşamaması durumunda, asidik karakterli sular kayaya zarar vermektedir. Öte yandan kuruma aşamasında atmosferik kökenli kirlетici maddelerin kristalleşmesi de kayanın ilksel özelliklerini kaybetmesine neden olmaktadır [13]. Kayaların ıslanma-kuruma karşısında gösterdikleri direnç, malzemenin dayanımına ve gözenek yapısına bağlıdır.

2.5.3.4. Farklı Termal Genleşme

Mineraller farklı oranlarda genleşme ve büzülme kapasitesine sahiptirler. Sıcaklık değerlerinin gece ve gündüz arasında büyük farklılıklar gösterdiği iklimlerde, ısınma-soğuma döngüsü içerisinde kayaların bünyesinde sıcaklık gradyanlarına bağlı olarak farklı gerilmeler oluşur.

Örneğin, bir malzeme güneş altında yüzeyden itibaren daha içlere doğru farklı sıcaklık değerlerine sahip olur. Bunun tersi olarak da sıcaklığın düştüğü bir ortamda yüzey soğumaya başlarken, iç kısımlar halen sıcaklığını korur. Bu sıcaklık farkları da kaya içerisinde eşit olmayan genleşmelerin oluşmasına neden olur. Bu döngüsel olaylar çerçevesinde kaya parçalanarak ilksel özelliğini kaybetmeye başlar.

Termal etkiler su içeriği, diğer kimyasal faktörler ile birleştikleri zaman kayalarda mineralojik-petrografik, mekanik ve yüzey kalite koşullarında (parlaklık, renk) değişiklik oluşturarak bozunma meydana getirirler [24].

2.5.3.5. Rüzgar

Fazla ve iri taneli zeminlerin olduğu bölgelerde, rüzgarla savrulan ve oldukça uzak mesafelere taşınabilen tanecikler yapıtaşlarında aşındırma etkisi yaratmakta ve bunun sonucu olarak da kayanın yüzeySEL özellikleri (parlaklık, pürüzlülük, doku vb.) değişerek bozunmanın hızlanması için uygun koşullar sağlanmış olmaktadır. Bununla

birlikte, rüzgar yardımıyla bozunmanın tetikleyici unsuru olan yağmur suları kayanın bünyesine daha kolay girebilmektedir.

2.5.4. Yapıtaşlarında Bozunmaya Neden Olan Kimyasal Faktörler

Bozunmaya neden olan kimyasal etmenler, karmaşık kimyasal tepkimeleri içermekte ve söz konusu tepkimeler kayanın mineral yapısındaki değişime neden olarak ilksel özelliklerinin ortadan kaybolmasına neden olmaktadır. Kayalarda gerçekleşen bu tepkimeler çözünme, oksidasyon ve hidroliz şeklinde gerçekleşmektedir. Bu süreçlerde su, en önemli eleman olmaktadır. Suyun yanı sıra, karbondioksit ve oksijen de bu tepkimelerde rol alabilmektedir.

2.5.4.1. Çözünme-Oksidasyon-Hidroliz

Çözünme, bazı minerallerin veya mineral bileşiminin bir kısmının su içerisinde erimesi sonucu meydana gelen bir olaydır. Suyun bünyesine asidik bir element girdiğinde kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum içeren minerallerin çözünmesi hızlanır. Öte yandan, atmosferdeki karbondioksitin suda çözünerek karbonik asit oluşturması halinde karbonatlı bir sıvı oluşur. Bu sıvının aşındırıcı etkisi oldukça yüksektir. Kireçtaşı, mermer, traverten gibi kalsiyum karbonat bileşimli kayaların kullanıldığı yapıtaşı malzemelerinde bu gibi faktörlerin yardımıyla bozunma olayı gerçekleşebilmektedir.

Oksidasyon, demir ve magnezyum içeren minerallerin kimyasal bozunmasında oldukça önemli bir olgudur. Oksidasyon sırasında Fe^{2+} , Fe^{+3} ’e çevrilir ve bu sırada mineral yapısında zayıflama ve renk değişimi gözlenir. Aynı zamanda mineralde hacimsel bir genişleme de söz konusudur [13]. Hidroliz, su ile mineral arasındaki kimyasal bir tepkimedir ve granit türü kayalardaki silikat minerallerinin bozunmasına neden olur.

2.5.5. Atmosferik Kirleticiler

Atmosferik kirleticiler, normal havanın bileşimini değiştiren maddelerdir. Havadaki katı tanecikler, sıvı damlacıklar, gaz veya bunların karışımı şeklinde bulunabilir [14].

Temiz havada, nitrojen (NO_2), oksijen (O_2), karbondioksit (CO_2) ve argonun yanı sıra, eser miktarda N_2O , CO , H_2 , SO_2 ve bazı hidrokarbonlar yer alır. Bu bileşikler,

yapıtaşını oluşturan minerallerle tepkimeye girerek bozunmaya neden olurlar. Temiz havada az miktarda bulunan bu elementlerin, insan faaliyetleri sonucunda yaratılan kirletici gazlar nedeniyle miktarlarının artırılmasıyla gerek yaşamsal faaliyetler, gerekse yapıtaşlarının bozunması açısından olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır.

Atmosferin kimyasal bileşimi en çok meteorolojik, iklimsel ve insan aktivitelerine bağlı olarak değişmektedir. En önemli atmosferik kirleticiler; karbondioksit ve asit sülfür bileşikleridir. Nitrik ve hidroklorik asitler ise daha az öneme sahiptir [21]. Kentsel ve endüstriyel kirleticilerin miktarının artmasına paralel olarak yapıtaşlarındaki bozunmanın hızı da artmaktadır. Özellikle karbonatlı kayalar, asidik bozunma koşullarına karşı oldukça duyarlıdır. Karbonatlı kayalardan oluşan yapıtaşlarında ortamda sülfürdioksit bulunması durumunda bozunma olayı kolaylıkla gerçekleşmektedir. Taş yapılarda sıklıkla gözlenen siyah kabuklaşma yapıları, karbonatlı minerallerle sülfürdioksit (SO₂) arasında gerçekleşen tepkimeler sonucu oluşan jipsleri içerirler.

Atmosferdeki kirleticiler yapıtaşları üzerine kuru veya yağışlı ortamlarda depolanabilirler. Normalde yağmur suyu zayıf bir karbonik asittir ve pH derecesi yaklaşık 5,6'dır. Sülfürdioksit gibi bazı kirleticiler bu pH derecesini 4,5 veya 3,5 civarına kadar düşürebilirler. Sülfürdioksitin sülfat olarak yapıtaşı üzerinde yağışın etkisiyle birikmesi (çökmesi) bozunmayı tetiklemektedir. Kirleticilerin kuru ortamlarda sülfat tanecikleri olarak yapıtaşları üzerine çökelişi sırasında da tepkimeler meydana gelerek bozunma olayı başlamaktadır.

2.5.6. Yapıtaşlarında Bozunmaya Neden Olan Biyolojik Faktörler

Yapıtaşlarındaki biyolojik bozunma, yaşayan organizmaların malzemede meydana getirdiği istenmeyen değişimler olarak bilinmektedir. Biyolojik bozunma taş eserlerde ve heykellerde bozunmanın ilerleyen aşamaları için bir başlangıç oluşturmakta ve artacak olan bozunma derecesinin bir göstergesi olmaktadır.

Biyolojik bozunmada kimyasal etkenler, mekanik etkenlere oranla daha fazladır. Taş yüzeyinde bozunmaya neden olan organizmalar, taşın cinsi, iklimsel koşullar ve atmosferik kirlilik derecesine bağlı olarak etki eder.

Biyolojik bozunma çalışmaları genellikle bakteri, alg, mantar ve likenler üzerinde yoğunlaşmıştır [13]. Bakteriler, yaşamları için ürettikleri enerji sonucunda asit meydana getirirler. Bu asitlerin yapıtaşı ile etkileşimi sonucunda bozunma olayı

gerçekleşir. Alglerin yapıtaşlarına etkisi nemli iklimlerde olmaktadır. Algler yapıtaşındaki nemliliğin korunmasına neden olarak bozunmaya katkıda bulunmaktadır. Öte yandan alglerin bazı organik asitler üretmesi de mümkündür. Mantarların bozunmadaki en önemli rolü silikatların çözünmesine yol açan sitrik ve oksalik asit üretmeleridir [23].

Yapıtaşlarında likenler tarafından meydana gelen bozunma etkileri hem kimyasal, hem de mekanik kökenlidir. Organik asit üretmeleri sonucunda kayada kimyasal bozunmaya yol açarken, suyu bünyelerinde uzun süre muhafaza etmeleri ve su içeriklerine bağlı olarak şişme-büzülme davranışı sergileyebilmelerinden dolayı da mekanik bozunmaya sebep olurlar.

2.6. Literatür Taraması

Son yıllarda doğal yapıtaşı endüstrisindeki gelişmeye paralel olarak, yapıtaşı bozunması üzerinde yapılan bilimsel araştırma sayısı da artmıştır. Yapıtaşlarında meydana gelen bozunma, kaya malzemesi bozunması ile benzerlik göstermektedir. Ancak, yapıtaşlarındaki bozunmanın değerlendirilmesinde içinde bulunulan ortam şartları da göz önüne alınarak kayaların uzun dönem performansları ortaya konmaya çalışılmaktadır.

Price (1995) [8], çalışmasında, tüm kaya türleri için genel bir sınıflama önermekle birlikte magmatik, sedimanter ve metamorfik kaya türleri için ayrı ayrı puanlama sistemi de geliştirmiştir. Bu puanlama sistemlerinde kaya dayanımı, renk değişimleri dikkate alınmıştır. Price (1995) [8], çalışmasında mühendislik yapılarının genellikle sığ derinliklerde inşa edildiğini belirterek, kayalarda meydana gelen bozunmanın mühendislik projeleri için dikkate alınması gereken önemli bir konu olduğunu vurgulamıştır. Bununla birlikte, kaya malzemesinin bozunmasını kontrol eden en önemli hususların mineraloji, tane boyu ve gözeneklilik ile geçirgenlik olduğunu ifade etmiştir.

Bortz ve Wonneberger (1995) [25], kireçtaşı, mermer ve granitten yapılan kaplama taşlarının uzun dönem kullanım performansının incelenmesi amacıyla hem taze örnekleri, hem de uzun yıllar doğal etkilere (donma-çözülme, ıslanma-kuruma, ısınma-soğuma) maruz kalmış binalardaki kaplama taşlarını incelemiştir. Deneysel çalışmalar sırasında donma-çözülme döngüleri yapmışlar ve tüm bu çalışmalar sonucunda yapay bozunma deneylerindeki 12 ile 16 arasında değişen donma-çözülme

çevriminin kuzey yarımküre iklimlerinde bir yıllık doğal bozunmaya eşit olduğunu ortaya koymuşlardır.

Zappia vd. (1998) [26], atmosferik kirliliğin karbonat bileşimli yapıtaşlarındaki bozunmaya etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, traverten ve çimento harcı üzerinde yaptıkları araştırmada sülfatlaşmanın atmosferik kirlilik etkisiyle yapıtaşlarında ve bağlayıcı harç malzemelerinde görülen en önemli bozunma mekanizması olduğunu belirlemişlerdir.

Fronteau vd. (1999) [27], bozunma ile iklim koşulları arasındaki ilişkinin incelenmesine yönelik olarak yaptıkları çalışmalarında, yapıtaşlarının bozunma performansının belirlenmesi için iklim faktörünün göz önüne alınması gerekliliğini vurgulamışlardır. Öte yandan şehirleşmenin fazla ve bunun sonucunda yoğun kimyasal kirleticilerin hakim olduğu bölgelerde, yapıtaşı bozunmasının daha fazla oluşabileceğini ifade etmişlerdir.

Tuğrul ve Zarif (1999) [28], İstanbul'daki bazı tarihi eserlerde kullanılan yapıtaşlarının kimyasal, biyolojik ve mekanik bozunma sonucunda ilksel özelliklerini kaybettiklerini belirtmişlerdir. Bozunmamış taze örnekler üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalar ve arazi incelemeleri sonucunda, atmosferik kirliliğe bağlı olarak artan sülfürdioksit (SO_2) oranlarının kireçtaşlarındaki bozunmayı hızlandırdığını vurgulamışlar ve yapıtaşını oluşturan minerallerin türlerinin, tipinin, boyutunun ve içerdiği fosillerin yöneliminin ve miktarının da yapıtaşı bozunmasında etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Benavente vd. (2004) [29], gözenekli yapıya sahip yapıtaşlarının duraylılık özelliklerinin tahmininde kayacın gözenek yapısı ve sağlam kaya dayanımı değişkenlerinden yararlanmışlar, tuz kristallenmesinin bozunmayı hızlandıran en önemli faktörlerden biri olduğunu ifade etmişlerdir.

Angeli vd. (2008) [30], gözeneklerdeki tuz kristallenmesi basınçlarının kaya bozunması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, farklı 9 kireçtaşı ve 5 kumtaşı üzerinde tuz kristallenmesi deneyleri gerçekleştirerek kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimi incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, tuz kristallenmesine bağlı olarak gelişen bozunmanın sayısal olarak ifade edilebilmesine imkan sağlayacak olan bozunma indeksi ve bozunma hızı kavramlarını önermişlerdir. Buna göre bozunma indeksi, tuz kristallenmesi deneyleri sırasında kayada meydana

gelen çatlakların ilk olarak görüldüğü çevrim sayısını ifade etmekte, bozunma hızı ise, kayanın parçalanma sürecine girmesi ile deney sonundaki ağırlık kayıpları dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Benavente vd. (2007) [31], gözenekli kayalardaki tuz kristallenmesine bağlı bozunmanın, kayaların petro-fiziksel özellikleri ile olan ilişkilerini araştırmışlardır.

Gözenek boyutu ve gözeneklilik, tuzun türü, çözeltinin kaya içerisindeki hareketliliği ve kaya dayanımı, gözenekli kayalarda kristallenme basınçlarının etkisini kontrol eden dört önemli unsur olarak vurgulanmıştır. Kumtaşı ve çakıltaşından oluşan 18 örnek üzerinde yaptıkları tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda, en büyük kristallenme basınçlarının küçük gözeneklerin oluşturduğu zonlarda meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, tuz bozunmasının en çok küçük gözenekli ve düşük su iletim katsayısına sahip gözenekli kayalarda etkili olduğu vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda, kaya dayanımının, su dolaşımı ve gözenek yapısına oranla tuz bozunmasında istatistiksel olarak daha etkili olduğu ortaya konmuştur.

Van vd. (2007) [32], tuz kristallenmesinin kayalarda yapısal hasarlara ve malzeme kayıplarına neden olduğunu belirterek iki farklı kireçtaşı üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalarla bu durumu ispatlamışlardır. Çalışmada, yapıtaşlarında bozunmaya neden olan tuzun kaynakları olarak hava kirliliği, toprak, rüzgarla taşınan deniz tuzu, uygun olmayan kimyasal iyileştirme ve çimento gibi yapı malzemeleri gösterilmektedir. Tuz kristallenmesi deneyleri sırasında, tuz çözeltisi içinde bekleyen örneklerin gözeneklerinde tuz birikimi olmasına karşın, deneyin kurutma aşamasında, gözeneklerdeki suyun buharlaştığı ve geriye kalan tuzların ikincil kristallenmesi sırasında basınçlar geliştiği belirtilmektedir. Araştırmacıların yaptıkları deneyler sonucunda, kılcallık etkisinin daha fazla olduğu kireçtaşı türünde diğerine oranla tuz bozunmasının daha etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, kayadaki kılcal emilmenin ve su hareketinin bozunma etkisinin ortaya konmasında anahtar unsurlar olduğu ifade edilmiştir.

Yavuz ve Topal (2007) [18], Batı Anadolu mermerleri üzerine yaptıkları çalışmada sıcaklık ve tuz kristallenmesinin mermerlerin bozunması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 6 adet farklı mermer çeşidi üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalarda, çevrimsel tuz kristallenmesi basınçları ve sıcaklık değişimlerinin bu mermerlerin bozunması üzerindeki etkisini belirlemişlerdir.

Buna göre, tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda mermerlerin kuru birim hacim ağırlığı, tek eksenli sıkışma dayanımı, kuru ve ıslak P dalgası hızları azalırken, su emme oranı ve efektif gözeneklilik önemli oranda artmıştır.

Özellikle gözeneklilikteki artış bazı mermer örnekleri için oldukça dikkat çekicidir. Çalışma sonucunda, su emme oranı, efektif gözeneklilik, tek eksenli sıkışma dayanımı, P dalgası hızı ve aşınma oranının mermerlerin bozunması ve kalitesi konusunda yapılacak çalışmalarda kullanılabilecek değişkenler olduğu vurgulanmıştır.

Bununla birlikte, yapay bozunma deneylerinden olan ıslanma-kuruma ve donma-çözülme deneylerinin, sağlam ve yüksek duraylılığa sahip kayalar üzerinde fazla etkili olmadığı, ancak sıcaklık değişimlerinin de bir sonucu olan tuz kristallenmesi basınçlarının, mermerlerin kötü iklim şartları karşısındaki duraylılığının belirlenmesinde faydalı olabileceği belirtilmiştir.

Angeli vd. (2010) [33], çalışmalarında sodyum sülfat ve sodyum klorür çözeltileriyle tuz kristalleşmesi deneyleri yaparak, deneye tabii tutulan tuf ve andezit örneklerinin tuz kristalleşmesine karşı gösterdikleri direnci incelemişlerdir. Su itici kimyasal madde sürülen ve sürülmeyen örneklere uygulanan 15 periyot tuz kristallenmesi deneyi sonunda ultrases dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımları ve ağırlık değişimleri incelenmiştir. Su itici kimyasalların uygulanması ile ultrases dalga hızlarının yaklaşık %60'ın üzerinde arttığı su itici, kimyasal sürülmeyen örneklere göre tuz kristalleşmesinin yıkıcı etkisinden daha az etkilendikleri tespit edilmiştir.

Dal (2011) [34], yaptığı çalışmada kireçtaşı ve mermer örnekleri üzerinde tuzların etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada sedimanter ve metamorfik kökenli, Kırklareli-Pınarhisar'ın bol-iri fosilli, az fosilli, fosilsiz kireçtaşları ile Marmara Beyazı mermerleri yapı taşlarındaki çözünür tuz kristalizasyonunun mekanizmasının belirlenmesi amaçlamıştır. Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri süresince, kayacın yapısal değişimi, görünümleri ve örneklerdeki değişiklikler gözlenmiş ve örnek yüzeylerinde oluşan renk değişimleri kaydedilmiştir. Doğal ortam koşullarında oluşabilecek gerçek tuz miktarını temsil etmek amacıyla %1 ve %3 oranlarında Na_2SO_4 ve MgSO_4 etkilerine maruz bırakılarak yapı taşının bozulma miktarı, bozulma şekli ve renk değişimi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda sedimanter kayaçların (kireçtaşı) ağırlık kaybının metamorfik kayaçların (mermer) ağırlık kaybından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Ghobadi ve Mousavi (2014) [35], yaptıkları çalışmada, asidik ve alkalın su etkisinde bırakılmış kumtaşlarında suda dağılma dayanımının değişimini incelemişlerdir. Kumtaşlarının suda dağılma dayanımlarının pH artışı ile azaldığını belirlemişlerdir.

Ruffolo vd. (2017) [36], yaptıkları çalışmada sanatsal yapılarda kullanılan kireçtaşları üzerinde tuz kristallenmesinin etkilerini azaltmak için üç farklı sağlamlaştırma yöntemi denemişler izopropil alkol içinde nanokireç nanosilika süspaniyonu, organik solvent içerisinde etil silikat kullanarak kireçtaşının tuz kristallenmesinden ekilenme koşullarını incelemişlerdir. Nanokireç içeren izopropil alkol uygulamasının mekanik özellikler üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu belirlemişlerdir.

Pötl vd. (2018) [37], yaptıkları çalışmada çok sayıda volkanik kayaç ve özellikle tüf kullanmışlar, kayaçların petrografik-petrofiziksel özelliklerini ve tuz kristallenmesi ile bozunma davranışlarını incelemişlerdir. Kayaç duraylılığında mekanik özelliklerin önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır.

Gibeaux vd. (2018) [38], yaptıkları çalışmada SO_2 / NO_x kirlilik oranının kayaç bozunması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla iki farklı kireçtaşı üzerinde gerçekleştirdikleri yaşlandırma testleriyle kayaçlarda gelişen değişimleri SEM, Xray computed tomography (HRXCT) gibi yıkıcı olmayan analiz yöntemleriyle değerlendirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Örnek Derleme

Çalışmada; Doğu Anadolu Bölgesinde üretilen ülkemizde iç piyasada kullanılan ve ihracatı yapılan bazı mermer örnekleri (Elazığ Vişne, Malatya Kayısı, Petrol Yeşili, Hazar Bej) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan mermer örnekleri Elazığ ili Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Alacakaya Mermer Fabrikasından temin edilmiştir.

3.2. Deneysel Çalışmalar

3.2.1. Örnek Hazırlama

Deneyler için Elazığ Vişne, Malatya Kayısı, Hazar Bej ve Petrol Yeşili mermer örneklerinden yaklaşık olarak 4x4x4 cm boyutlarında her birimden 6'şar adet olmak üzere 24 adet bir yüzeyi parlak örnek taş kesme testeresi ile kestirilerek hazırlanmıştır.

Hazırlanan örnekler ile TS 699 standardında belirtilen yöntemle göre birim hacim ağırlığı (kuru, doğal, doymuş koşullarda), ağırlıkça su emme, ağırlık kaybı, porozite, su deneyleri, TS EN 12370 standardına göre tuz kristallenmesi deneyleri yapılmıştır [39,40].

Örneklerin XRD, XRF analizlerinin yapımı için her bir mermer türünden yaklaşık olarak 2 kg kadar parça örnek; önce çenekli kırıcı kullanılarak boyutsal olarak küçültülmüş daha sonra bilyeli değirmende öğütülmüştür. Öğütülmüş numuneler elek açıklığı 0,2 mm olan eleler kullanılarak elenmiştir. Konileme-dörtleme ve karelej yöntemleri ile her birinden 100'er gram olacak şekilde azaltılarak analize tabi tutulmuştur. Petrografik analizler için her birimden 5x5x5 cm boyutlarında üçer adet numune alınmış, ince kesitler hazırlanarak analizler yapılmıştır.

3.2.2. Kullanılan Araç-Gereç ve Kimyasallar

Mermer örneklerinin kuru, doğal, doymuş birim hacim ağırlığı, ağırlıkça-hacimce su emme gibi özellikler ile ağırlık kaybı tayininde Nüve FN500 marka etüv, uygun büyüklükte desikatör, arşimet sehpası, 5 adet uygun büyüklükte kap, hassas terazi kullanılmıştır.

Yüzey parlaklığı ölçümlerinde QTEC solo glossmeter, renk ölçümlerinde MRC marka CLRM 310 model renk tayin cihazı kullanılmıştır.

Tuz kristallenmesi deneylerinde MERC marka $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4 , BaCl_2 , NaClO , manyetik karıştırıcı, ısıtıcı, uygun büyüklükte beher ve kaplar kullanılmıştır.

3.2.3. Mermerlerin Fiziksel Özelliklerini Belirleyen Deneyler

3.2.3.1. Birim Hacim Ağırlığı Deneyi

TS 699 standardında tanımlanan yönteme göre yapılmıştır [39]. Deneyde $40 \times 40 \times 40 \pm 2$ mm boyutlarında hazırlanan örnekler kullanılmıştır. Deney için hazırlanan numuneler önce tartılmıştır. Bulunan ağırlıklar doğal ağırlıklar olarak kaydedilmiştir. Deney numuneleri içerisinde 20 ± 5 °C sıcaklıkta su bulunan bir kap içerisine yarısına kadar daldırılmıştır. Bu şekilde 1 saat bekletildikten sonra üzeri tamamen su ile örtülecek şekilde su ilavesi yapılmış ve bu şekilde 24 saat bekletilmiştir.

Suya doygun hale getirilen deney örnekleri Arşimet terazisinde su içinde 0,1 g hassasiyette tartılarak tartım sonucu sudaki doygun ağırlık olarak kaydedilmiştir. Bundan sonra deney numuneleri üzerindeki su damlaları ıslak bir bez ile alınmış ve bekletilmeden 0,1 g hassasiyetdeki terazide tartılmış ve tartım neticeleri havadaki doygun ağırlık olarak kaydedilmiştir.

Daha sonra deney numuneleri 105 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş, desikatörde oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiş ve 0,1 g hassasiyetdeki terazide tartılarak, tartım sonuçları kuru ağırlık olarak kaydedilmiştir.

Örneklerin doğal birim hacim ağırlıkları aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_{\text{doğ}} = \frac{G_{\text{doğ}}}{G_d - G_{ds}} \quad (3.1)$$

Örneklerin doygun birim hacim ağırlıkları aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_d = \frac{G_d}{G_d - G_{ds}} \quad (3.2)$$

Örneklerin kuru birim hacim ağırlıkları aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_k = \frac{G_k}{G_d - G_{ds}} \quad (3.3)$$

Burada;

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

d_k : Kuru birim hacim ağırlığı (g/cm³)

d_d : Doygun birim hacim ağırlığı (g/cm³)

G_k : Numunelerin kuru haldeki ağırlığı (g)

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

G_d : Doygun haldeki numunelerin havadaki ağırlığı (g)

G_{ds} : Doygun haldeki numunelerin su içindeki ağırlığı (g)

3.2.3.2. Su Emme Deneyi

Deneyde 40x40x40 ± 2 mm boyutlarında hazırlanan örnekler kullanılmıştır. Deneyde TS 699 standardında tanımlanan yöntem uygulanmıştır [39]. Örnekler önce tartılmış ve doğal haldeki ağırlıkları bulunarak kaydedilmiştir.

Daha sonra içinde 20 ± 5 °C su bulunan uygun büyüklük ve derinlikteki bir kaba konulmuş ve ¼ üne kadar suya daldırılmış durumda 1 saat bekletilmiştir. Örneklerin ½ sine kadar suya batacak şekilde su ilave edilmiştir ve 1 saat daha bekletilmiştir. Örnekler ¾ üne kadar suya batacak şekilde su ilave edildikten sonra 1 saat daha bekletilmiş ve sonra deney örneklerinin üzeri tamamen su ile kaplanmıştır.

Bu vaziyette 24 saat suda bekletilerek suya doymun hale getirilen deney numuneleri sudan çıkarılarak örnekler üzerindeki su damlaları ıslak bir bezle silinmiş ve 0,1 g hassasiyetindeki terazide tartılmıştır. Tartım sonucu doymun ağırlık olarak kaydedilmiştir. Doygun haldeki deney örnekleri Arşimet terazisinde 0,1 g hassasiyetle tartılarak doymun örneklerin su içindeki ağırlıkları bulunmuştur.

Daha sonra deney örnekleri 105 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Desikatörde soğutulurak 0,1 g hassasiyetteki terazide tartılmış ve kuru ağırlıkları bulunmuştur.

Örneklerin ağırlıkça su emme oranı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır [39].

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (\%) \quad (3.4)$$

Numunelerin hacimce su emme oranı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır [39].

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad (\%) \quad (3.5)$$

Burada;

S_k : Örneğin ağırlıkça su emme oranı

S_h : Örneğin hacimce su emme oranı

G_d : Örneğin doymuş haldeki ağırlığı (g)

G_k : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş örneğin ağırlığı (g)

G_{ds} : Doymuş haldeki numunenin su içindeki ağırlığı

3.2.3.3. Porozite Deneyi

Görünür Porozite: Örneklerin görünür porozitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [39].

$$N = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \quad (\%) \quad (3.6)$$

Burada;

N : Porozite

G_d : Örneklerin doymuş haldeki ağırlıkları

G_k : Örneklerin kuru ağırlıkları

G_{ds} : Doymuş deney örneğinin su içindeki ağırlığıdır.

3.2.3.4. MOHS Sertliği

Örneklerin Mohs sertlikleri TS 6809 standardında tanımlanan yöntemle göe belirlenmiştir [42]. Yaklaşık olarak 5x5 cm boyutlarında, her birimden üçer adet deney örneği hazırlanmıştır. Deney örnekleri çizilecek yüzeyi üst tarafa gelecek şekilde sağlam bir zemin üzerine yerleştirilmiş ve sertlik değeri belli olan standart minerallerle

el ile çizme işlemi deneyin başından sonuna kadar eşit baskı uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Bu esnada numunenin ve standart mineralin kırılıp parçalanmamasına özen gösterilmiştir. İşlem taze kırılmış keskin köşeli standart mineral ile deney numunesi üzerinde 4 kez tekrarlanmıştır. Numune yüzeyinde oluşan çizgiler çıplak göz ve büyüteçle incelenmiştir. Her bir deney numunesi üzerinde sürekli çizgi oluşturan ilk standart mineralin Mohs sertliği o numunenin Mohs sertliği olarak kabul edilmiştir. Deney numunelerinin birden fazla çizilme sertliği olması durumunda en düşük değer Mohs sertliği olarak kabul edilmiştir [42].

3.2.4. Mermerlerin Mineralojik-Petrografik Özellikleri

Kayaçların mineralojik bileşimleri ve dokusal özellikleri dayanıklılığını etkileyen önemli faktörlerdir. Heterojen ve anizotrop özellikte olan kayaçların yapılarındaki minerallerin cinsinin yanı sıra minerallerin bağlarında kayaç dayanımında etkili olmaktadır. Kayaçların mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerini belirlemek için XRD, XRF, SEM, EDX ve İnce Kesit Analizleri yapılmaktadır.

3.2.4.1. X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD)

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

X-Işını kırınım metodu, numuneyi tahrip etmez ve çok az miktarda örnekle gerçekleştirilebilir. Örneğe X-Işını göndererek kırılma ve dağılma verileri toplanır. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde analiz edilmektedir.

3.2.4.2. X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)

XRF ile analiz yöntemi, X-Işınının analiz edilen malzemeye etkileşimiyle oluşan ikincil X-Işınlarının karakteristik dalga boyu ve şiddetinin ölçülmesiyle niteleyici ve niceleyici element analizinin yapıldığı tahribatsız bir analitik yöntemdir. Niteleyici ve

niceleyici analiz, XRF cihazında yer alan özel bir kristalde ışınların kırınımına uğraması sonucu dalga boylarına ayrılması ve şiddetlerinin ölçülmesiyle yapılır.

3.2.5. Tuz Kristallenmesi Döngülerinin Uygulanması

Tuz kristallenmesi çevrimleri TS EN 12370 standardında tanımlanan yöntemle göre gerçekleştirilmiştir [40]. Deneylerde mermer örneklerinin tuz kristallenmesine dirençlerinin belirlenmesi için $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4 , BaCl_2 , NaClO tuzları kullanılmıştır.

Döngüler %14 lük konsantrasyonlar da hazırlanan çözeltilerle gerçekleştirilmiştir. Deneyler için kenar uzunlukları 40 ± 2 mm olan 6 adet bir yüzeyi parlak örnekler hazırlanmıştır.

Döngülere başlamadan önce örnekler 105°C 'lik etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuş ve desikatörde soğutularak tartılmıştır. Daha sonra hazırlanan %14 lük tuz çözeltisine daldırılarak $(20 \pm 0,5)$ $^\circ\text{C}$ 'de 2 saat çözelti içerisinde bırakılmıştır. Bekleme süresi sonunda örnekler çözeltiden alınarak etüvde kurutulmuştur.

Etüv sıcaklığı kurutmanın ilk anlarında yüksek bağıl nemlilik sağlayacak şekilde ve örneklerin sıcaklığını 10 saatten az 15 saatten fazla olmayan bir süre içerisinde (105 ± 5) $^\circ\text{C}$ ye yükseltecek şekilde ayarlanmıştır. Başlangıçtaki yüksek bağıl nem, soğuk etüve sıcak su dolu bir kap yerleştirerek örnekleri koymadan önce (30 ± 5) dakikalık süreyle ısıtıcıyı çalıştırarak elde edilmiştir.

Örnekler 16 saat süreyle etüvde bırakılmış ve yeniden soğuk tuz çözeltisine daldırılmadan önce oda sıcaklığına soğutulmuştur. Bu işlem bir çevrim olarak kabul edilmiştir.

Deney süresince örnekler 30 çevrim uygulanmıştır. İşlem sonrası örnekler etüvden alınarak (23 ± 5) $^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki suda (24 ± 1) saat bekletilmiştir. Örnekler yeterince bütünlüklerini muhafaza ediyorsa sabit kütleye gelinceye kadar kurutulduktan sonra tartılmıştır.

Her beş döngü 1 periyot olarak tanımlanmıştır. Döngülerin başlangıcında ve her beş döngü sonunda örnekler kuru halde iken tartılmış ve yüzeylerinde parlaklık, renk ölçümleri alınmıştır. Şekil 3.1'de tuz çözeltisinde bekletilen bir grup örneğe ait görüntü verilmiştir.



Şekil 3.1. Tuz kristallenmesine tabii tutulan örneklerin genel görünümü

3.2.5.1. Parlaklık Ölçümleri

Parlaklık ölçümleri Q TQC GL0010 60° solo glossmetre kullanılarak 60° açı ile yapılmıştır. Parlaklık ölçerin çalışma prensibine göre cihaz ölçüm yapılacak yüzeye belli bir açı ile bir ışık göndermektedir.

Yüzey parlaklığı yüzeyden yansıyan ışığın numerik olarak belirlenmesiyle belirlenmektedir. Birimi GU (birim parlaklıktır) [41]. Deneylere başlamadan önce ve her periyot sonunda örneklerin parlak yüzeyinde üç noktadan parlaklık ölçümleri alınmış ve bu değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır. Şekil 3.2'de parlaklık ölçümlerine ait bir görüntü verilmektedir.

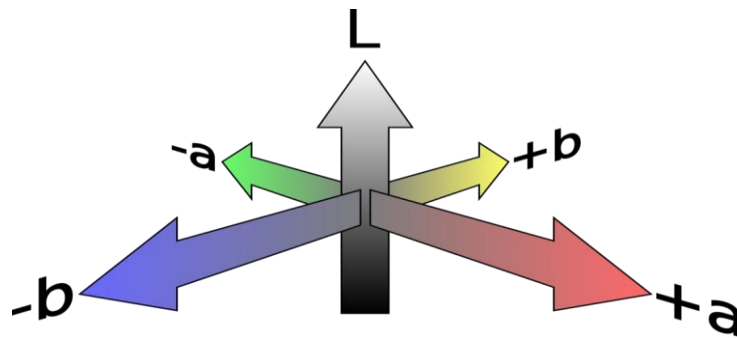


Şekil 3.2. Yüzey parlaklığı ölçümlerine ait bir görüntü

3.2.5.2. Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Renk ölçümleri MRC marka CLRM 310 model renk tayini ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Örneklerin parlak yüzeyinde üç noktadan renk ölçümleri alınarak bu değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır.

CIELAB sisteminde renk özellikleri L, a, b olarak adlandırılan üç kromatik koordinatla ifade edilmektedir. L parametresi; parlaklık (L:0 Siyah, L: 100 Beyaz), a parametresi kırmızılık-yeşillik ($a > 0$ Kırmızı, $a < 0$ Yeşil), b parametresi sarılık-mavilik ($b > 0$ Sarı, $b < 0$ Mavi) durumunu ifade etmektedir. CIELAB koordinat sisteminin şematik görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. CIELAB koordinat sisteminin şematik görüntüsü

Deneylere başlamadan önce ve her beş döngü sonunda (1 periyot) yapılan ölçümlerden elde edilen L, a, b değerleri kullanılarak toplam renk değişimi ΔE Eşitlik (3.7) ile belirlenmiştir [41].

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^{*2}) + (\Delta b^{*2})} \quad (3.7)$$

Şekil 3.4'te renk ölçümlerine ait bir görüntü verilmektedir.



Şekil 3.4. Renk ölçümlerine ait bir görüntü

3.2.5.3. Ağırlık Kayıplarının Belirlenmesi

Yapılan tuz kristallenmesi döngülerinde her bir periyot sonucunda meydana gelen ağırlık kayıpları aşağıda yer alan Eşitlik (3.8) kullanılarak belirlenmiştir.

$$\Delta m = \frac{mf - mo}{mo} \times 100 \quad (3.8)$$

Burada;

m_o : Deney öncesi kuru ağırlık (g)

m_f : Deney sonrası kuru ağırlık (g)

3.2.5.4. Parlaklık Değişimlerinin Belirlenmesi

Her bir periyot sonunda elde edilen parlaklık değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3.9) ile belirlenmiştir.

$$\Delta P = \frac{(Sp - Ip)}{Ip} \times 100 \quad (3.9)$$

ΔP : Parlaklıkta gerçekleşen % değişim

Sp : Son döngüde ölçülen parlaklık değeri

Ip : Deney öncesi ölçülen parlaklık değeri (R_a)

3.2.5.5. Renk Değişimlerinin Belirlenmesi

Her periyot sonunda elde edilen renk değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3.10-3.12) ile belirlenmiştir.

$$\Delta L = \frac{(SL - \bar{I}L)}{\bar{I}L} \times 100 \quad (3.10)$$

$$\Delta a = \frac{(Sa - \bar{I}a)}{\bar{I}a} \times 100 \quad (3.11)$$

$$\Delta b = \frac{(Sb - \bar{I}b)}{\bar{I}b} \times 100 \quad (3.12)$$

ΔL : L (siyahlık-beyazlık) değerindeki % değişim

SL : Son döngüde ölçülen L değeri

$\bar{I}L$: Deney öncesi ölçülen L değeri

Δa : a (yeşillik-kırmızılık) değerindeki % değişim

Sa : Son döngüde ölçülen a değeri

$\bar{I}a$: Deney öncesi ölçülen a değeri

Δb : b (mavilik-sarıklık) değerindeki % değişim

Sb : Son döngüde ölçülen b değeri

$\bar{I}b$: Deney öncesi ölçülen b değeri

3.2.5.6. Değişim Hızlarının Belirlenmesi

Örneklerin kuru ağırlık, parlaklık ve renk parametrelerinde gelişen değişim hızları eşitlik (3.13) ile belirlenmiştir.

$$\text{Değişim hızı} = \frac{\text{Kayaç özelliğindeki değişim}(\%)}{\text{Çevirim sayısı}} \quad (3.13)$$

Angeli ve arkadaşları tarafından ortaya konulan değişim hızı sınıflaması Çizelge 3.1’de verilmiştir [30].

Çizelge 3.1. Değişim hızına göre sınıflama

Değişim hızı (%) ΔV	Değişim hızı tanımı
$\Delta V \geq \%10$	Yüksek değişim hızı
$\Delta V = \%(10-1)$ $1 < \Delta V < 10$	Orta değişim hızı
$\Delta V \leq \%1$	Düşük değişim hızı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çalışılan Kayaçların Fiziksel Özellikleri

4.1.1. Birim Hacim Ağırlığı Deneyi Sonuçları

TS 699 standardına göre yapılan birim hacim ağırlığı deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1- 4.4'te verilmiştir [39].

Çizelge 4.1. Elazığ Vişne mermerinin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri

Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)
E1	26,78	26,87	26,68
E2	26,58	26,78	26,58
E3	26,19	26,38	26,19
E4	26,78	26,87	26,68
E5	26,19	26,38	26,19
Ortalama ± Std.Sapma	26,50 ± 0,29	26,65 ± 0,25	26,46 ± 0,25

Çizelge 4.2. Hazar Bej mermerinin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri

Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)
H1	26,58	26,68	26,48
H2	26,48	26,58	26,48
H3	26,68	26,78	26,58
H4	26,38	26,48	26,29
H5	26,48	26,58	26,48
Ortalama ± Std.Sapma	26,52 ± 0,11	26,62 ± 0,11	26,46 ± 0,10

Çizelge 4.3. Malatya Kayısı mermerinin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri

Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)
B1	26,48	26,58	26,38
B2	26,38	26,48	26,29
B3	26,48	26,68	26,48
B4	26,48	26,58	26,38
B5	26,58	26,68	26,48
Ortalama ± Std.Sapma	26,48 ± 0,07	26,60 ± 0,08	26,40 ± 0,08

Çizelge 4.4. Petrol Yeşili mermerinin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri

Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)
Y1	26,68	26,78	26,68
Y2	26,58	26,68	26,58
Y3	26,48	26,68	26,38
Y4	26,38	26,48	26,38
Y5	26,58	26,78	26,48
Ortalama ± Std. Sapma	26,54 ± 0,11	26,68 ± 0,12	26,50 ± 0,13

4.1.2. Su Emme Deneyi Sonuçları

TS 699 standardına göre yapılan su emme deneyinde bulunan ağırlıkça su emme değerleri Çizelge 4.5-4.8’de verilmiştir [39].

Çizelge 4.5. Elazığ Vişne mermerinin ağırlıkça su emme değerleri

Örnek No	Ağırlıkça Su Emme (%)
E1	0,32
E2	0,24
E3	0,32
E4	0,37
E5	0,34
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	0,31 $\pm$ 0,04

Çizelge 4.6. Hazar Bej mermerinin ağırlıkça su emme değerleri

Örnek No	Ağırlıkça Su Emme (%)
H1	0,16
H2	0,14
H3	0,18
H4	0,15
H5	0,13
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	0,15 $\pm$ 0,01

Çizelge 4.7. Malatya Kayısı mermerinin ağırlıkça su emme değerleri

Örnek No	Ağırlıkça Su Emme (%)
B1	0,18
B2	0,18
B3	0,16
B4	0,19
B5	0,17
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	0,17 $\pm$ 0,01

Çizelge 4.8. Petrol Yeşili mermerinin ağırlıkça su emme değerleri

Örnek No	Ağırlıkça Su Emme (%)
Y1	1,43
Y2	1,20
Y3	1,60
Y4	1,10
Y5	1,21
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	1,30 $\pm$ 0,20

4.1.3. Porozite Değerleri

TS 699 standardına göre belirlenen görünür porozite değerleri Çizelge 4.9-4.12'de verilmiştir [39].

Çizelge 4.9. Elazığ Vişne mermerinin görünür porozite değerleri

Örnek No	Görünür Porozite Değerleri (%)
E1	1,49
E2	0,76
E3	0,88
E4	0,99
E5	0,92
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	1,01 $\pm$ 0,28

Çizelge 4.10. Hazar Bej mermerinin görünür porozite değerleri

Örnek No	Görünür Porozite Değerleri (%)
H1	0,25
H2	0,27
H3	0,23
H4	0,29
H5	0,25
Ortalama $\pm$ Std. Sapma	0,25 $\pm$ 0,02

Çizelge 4.11. Malatya Kayısı mermerinin görünür porozite değerleri

Örnek No	Görünür Porozite Değerleri (%)
B1	0,56
B2	0,48
B3	0,42
B4	0,52
B5	0,46
Ortalama±Std. Sapma	0,48 ± 0,05

Çizelge 4.12. Petrol Yeşili mermerinin görünür porozite değerleri

Örnek No	Görünür PoroziteDeğerleri (%)
Y1	1,71
Y2	1,68
Y3	1,33
Y4	1,78
Y5	1,56
Ortalama ± Std. Sapma	1,61 ± 0,17

4.1.4. Sertlik

Mohs Sertliği

TS 6809 standardına göre belirlenen Mohs sertlik değerleri Çizelge 4.13'te verilmiştir [42].

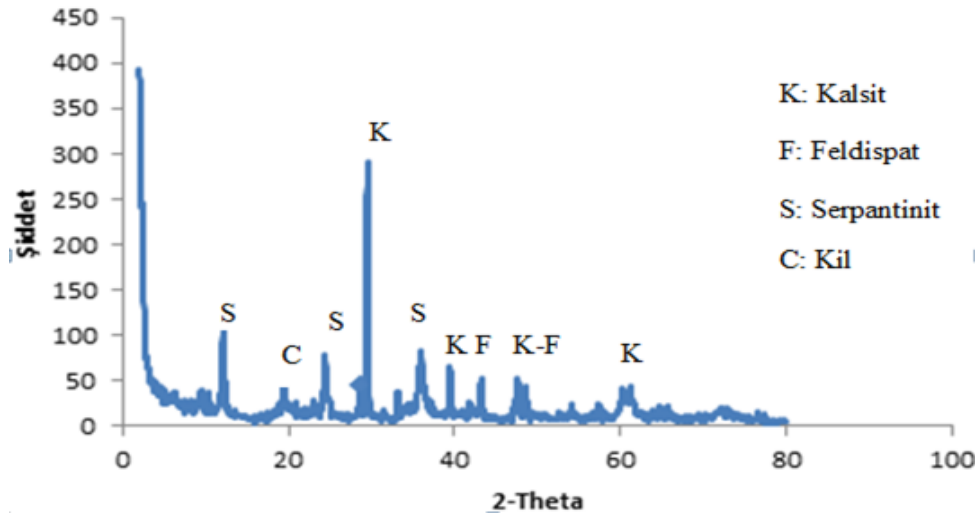
Çizelge 4.13. Mermer örneklerinin Mohs sertlikleri

Örnek	Mohs Sertliği
Elazığ Vişne	4
Hazar Bej	4
Malatya Kayısı	4
Petrol Yeşili	4

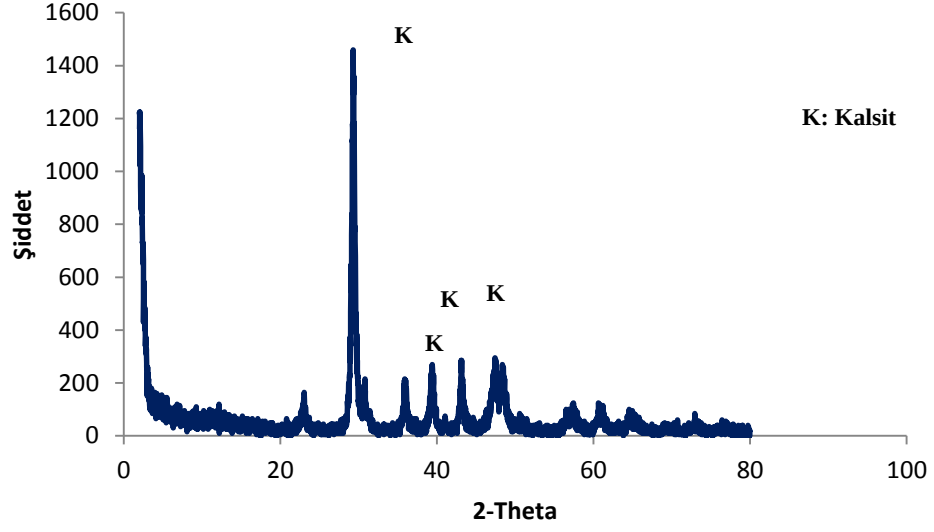
4.2. Mermer Örneklerinin XRD Analizleri Sonuçları

Çalışılan mermerlerin İnönü Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yaptırılan XRD analizi sonuçları Şekil 4.1-4.4'te verilmiştir.

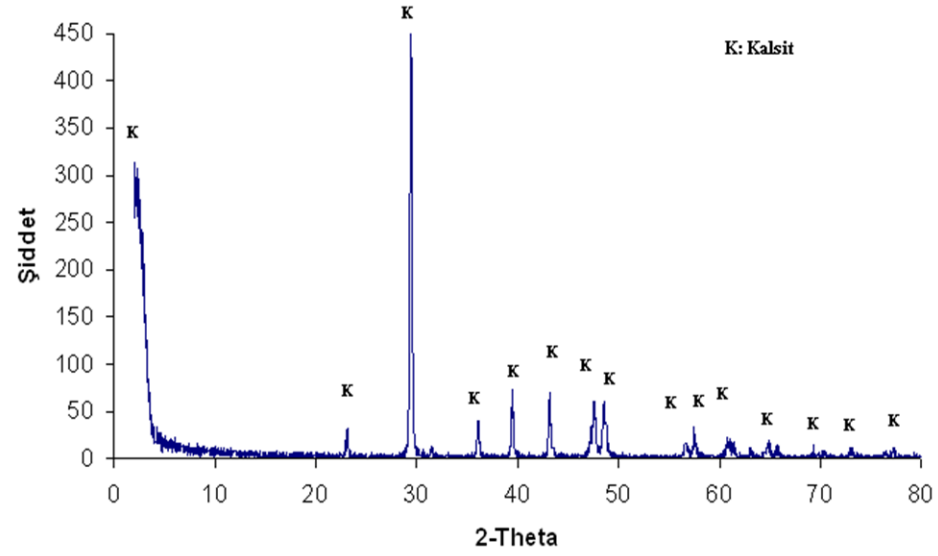
Yapılan incelemeler sonucunda; Malatya Kayısı ve Hazar Bej mermerlerinin ana bileşen olarak kalsit mineralinden oluştuğu saptanmıştır. Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili mermerlerinin bünyesinde kalsit, serpantin, kil ve feldispat minerallerinin bulunduğu belirlenmiştir.



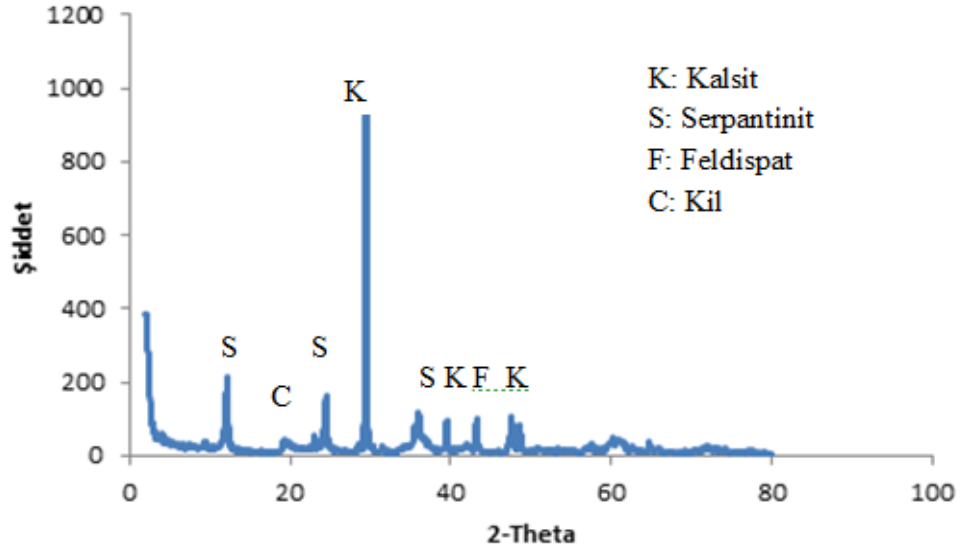
Şekil 4.1. Elazığ Vişne mermerinin X-Ray difraktogramı



Şekil 4.2. Hazar Bej mermerinin X-Ray difraktogramı



Şekil 4.3. Malatya Kayısı mermerinin X-Ray difraktogramı



Şekil 4.4. Petrol Yeşili mermerinin X-Ray difraktogramı

4.3. Mermer Örneklerinin XRF Analizleri Sonuçları

Çalışılan mermer örneklerinin XRF analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğal Taş Analiz Laboratuvarında yapılarak sonuçları Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Mermer örneklerinin XRF analizleri sonuçları

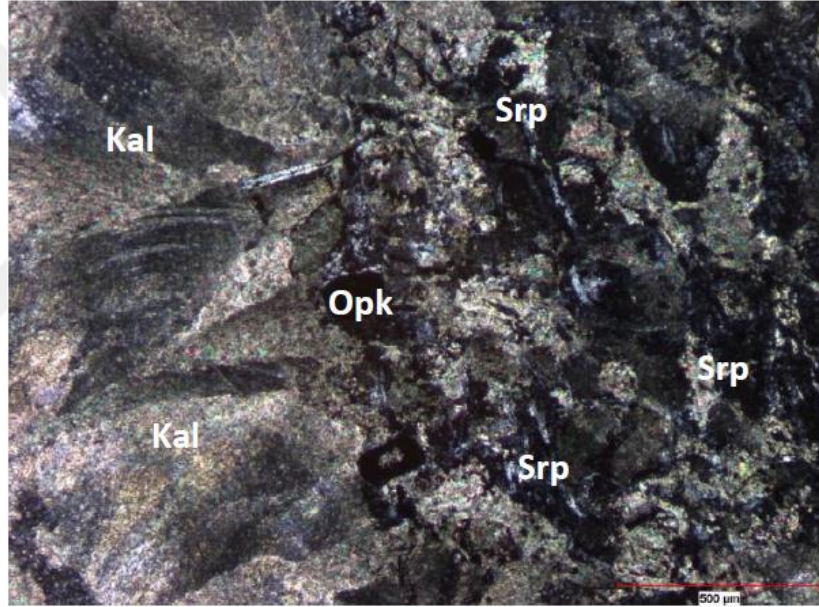
Örnek	Elazığ Vişne	Malatya Kayısı	Hazar Bej	Petrol Yeşili
SiO ₂	23,18	0,3555	0,16	25,60
Fe ₂ O ₃	7,335	0,086	0,13	8,62
CaO	20,71	59,06	55,41	18,70
MgO	26,25	0,378	1,04	25,40
Na ₂ O	<0,014	0,014	-	0,05
K ₂ O	<0,0012	Eser	0,0020	-
Al ₂ O ₃	1,328	0,1983	0,054	0,26
P ₂ O ₅	0,3611	0,0146	0,002	0,07
ZnO	0,00476	-	-	0,01
SrO	0,012	0,014	0,0171	0,06
Co ₂ O ₃	0,022	-	-	0,01
LOI	20,30	40,09	43,10	20,30
TOPLAM	98,51	100,20	99,91	99,53

4.4. İnce Kesit Analizi Sonuçları

Çalışılan mermerlerin Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğal Taş Analiz Laboratuvarında hazırlatılan ince kesitleri polarizan mikroskop kullanılarak incelenmiş ve 3/2 büyütme oranında resimleri çekilmiştir.

Elazığ Vişne mermerinin ince kesit analizi

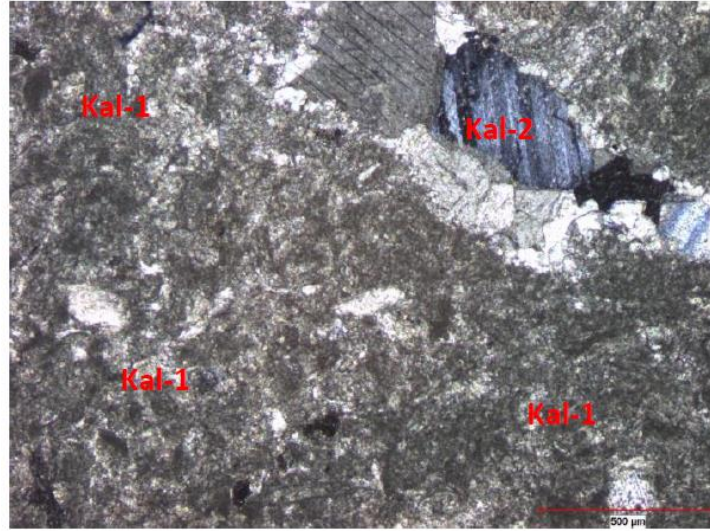
Sedimanter Breş kökenli beyaz, gölgeli kırmızı renklere sahip orta taneli olan Elazığ Vişne mermerinin içerisinde bulunan minerallerin tespiti için yapılan mikroskopik analizler sonucunda; %60 oranında serpantin, %39 oranında ikincil kalsit mineraller ve < %0,1 oranında opak mineraller içerdiği gözlenmektedir. Şekil 4.5'te Elazığ Vişne mermerinin çift nikolde çekilmiş ince kesit görüntüsü yer almaktadır.



Şeki 4.5. Elazığ Vişnemermeri içerisinde gözlenen Serpantin (Ser), Kalsit (Kal) ve Opak (Opk) mineraller

Hazar Bej mermerinin ince kesit analizi

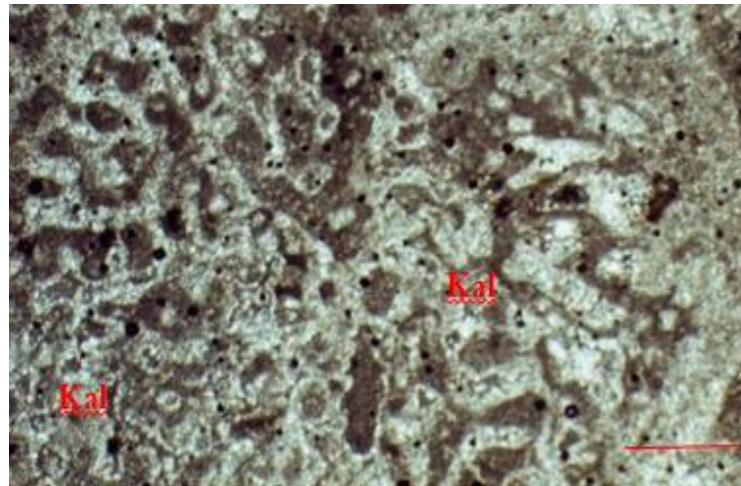
Sedimanter kökenli sarımsı, gri renkli küçük taneli olan Hazar Bej mermerinin içerisinde bulunan minerallerin tespiti için yapılan mikroskopik analizler sonucunda %99 oranında kalsit ve ikicil kalsit minerallerininve <%0,1 oranında opak minerallerin yer aldığı gözlenmektedir. Şekil 4.6'da Hazar Bej mermerinin çift nikolde çekilmiş ince kesit görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.6. Hazar Bej mermeri içerisindeki birincil (Kal-1) ve ikincil (Kal-2) kalsit mineralleri

Malatya Kayısı mermerinin ince kesit analizi

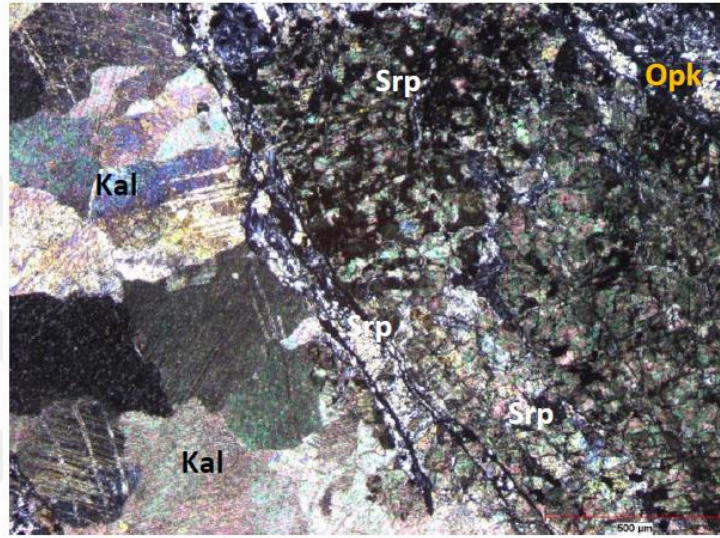
Sedimanter kökenli açık sarı renkli olan Malatya Kayısı mermerinin içerisinde bulunan minerallerin tespiti için yapılan mikroskopik analizler sonucunda %99 oranında kalsit mineralinin yer aldığı gözlenmektedir. Şekil 4.7'de Malatya Kayısı mermerinin çift nikolde çekilmiş ince kesit görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.7. Malatya Kayısı mermeri içerisindeki kalsit (kal) mineralleri

Petrol Yeşili mermerinin ince kesit analizi

Sedimanter Breş kökenli beyaz, açık zeytin grisi ve açık zeytin kahverenginde orta taneli olan Petrol Yeşili mermerinin içerisinde bulunan minerallerin tespiti için yapılan mikroskopik analizler sonucunda %71 oranında serpantin ve %28 oranında ikincil kalsit minerallerinin ve <%0,1 oranında opak minerallerin yer aldığı gözlenmektedir. Şekil 4.8’de Petrol Yeşili mermerinin çift nikolde çekilmiş ince kesit görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.8. Petrol Yeşili mermeri içerisindeki Serpantin (Ser), Kalsit (Kal) ve Opak (Opk) mineraller

4.5. Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonuçları

TS EN 12370 standartlarına göre yapılan tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda numunelerde meydana gelen kuru ağırlık, parlaklık ve renk ölçümlerindeki değişim değerleri gruplara göre değerlendirilmiştir [40].

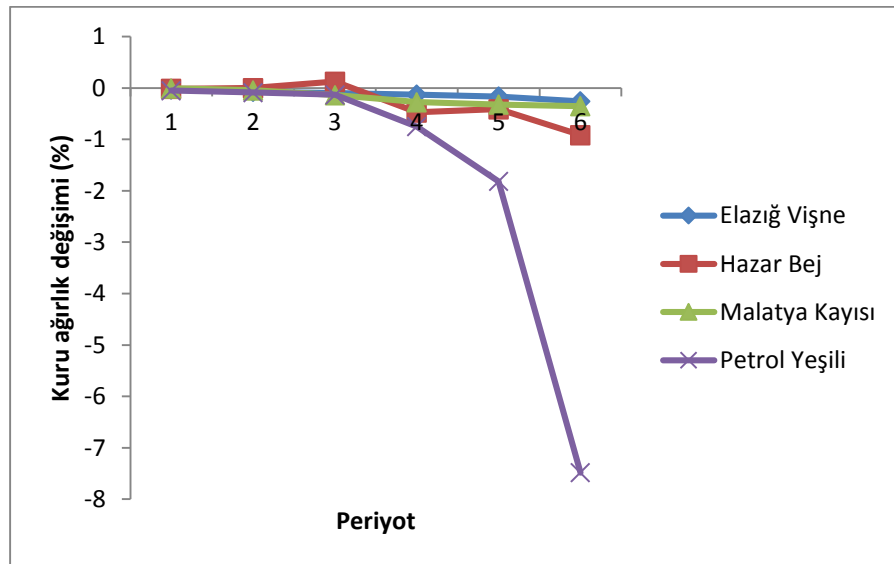
4.5.1. Kuru Ağırlık Değişim Değerleri

Na₂SO₄.10H₂O ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

Na₂SO₄.10H₂O ile yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde her bir periyot sonunda numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri Eşitlik (3.8)’e, değişimlerin hızları Eşitlik (3.13)’e göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.15’te verilmiştir. Periyotların sonunda elde edilen ağırlık değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Kuru ağırlıklar ve değişim değerleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	Kuru Ağırlık (g)	108,14	108,11	108,06	108,03	108,00	107,96	107,86
	% Değişim	0	-0,02	-0,07	-0,10	-0,12	-0,16	-0,25
	Değişim Hızı	0	-0,005	-0,007	-0,006	-0,006	-0,006	-0,008
Hazar Bej	Kuru Ağırlık (g)	130,99	130,97	130,99	131,15	130,37	130,45	129,79
	% Değişim	0	-0,01	0	0,12	-0,47	-0,41	-0,91
	Değişim Hızı	0	-0,003	0	0,008	-0,02	-0,01	-0,03
Malatya Kayısı	Kuru Ağırlık (g)	130,67	130,66	130,61	130,49	130,31	130,25	130,21
	% Değişim	0	-0,007	-0,04	-0,13	-0,27	-0,32	-0,35
	Değişim Hızı	0	-0,001	-0,004	-0,009	-0,01	-0,01	-0,01
Petrol Yeşili	Kuru Ağırlık (g)	114,51	114,45	114,41	114,36	113,65	112,43	105,94
	% Değişim	0	-0,05	-0,08	-0,13	-0,75	-1,81	-7,48
	Değişim Hızı	0	-0,01	-0,008	-0,008	-0,03	-0,07	-0,24



Şekil 4.9. Kuru ağırlık değişimleri (%) 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan tuz kristallenmesi deneyinde her bir periyot sonunda belirlenen kuru ağırlık değerleri, bu değerlerde gelişen % değişimler ve değişim hızlarını veren Çizelge 4.15 ve Şekil 4.9 incelendiğinde; bütün mermer örneklerinde döngü sayısı arttıkça değişen oranlarda ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Ağırlık kaybının en fazla gözlemlendiği örnek 6.periyot sonunda -%5,77 ile Petrol Yeşili örneğidir. Petrol Yeşili mermerinde döngüler ilerledikçe koparak ayrılmalara, çatlaklarda açılmalara gözlemlenmiştir. Bu durumun Petrol Yeşili mermerinin petrografik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

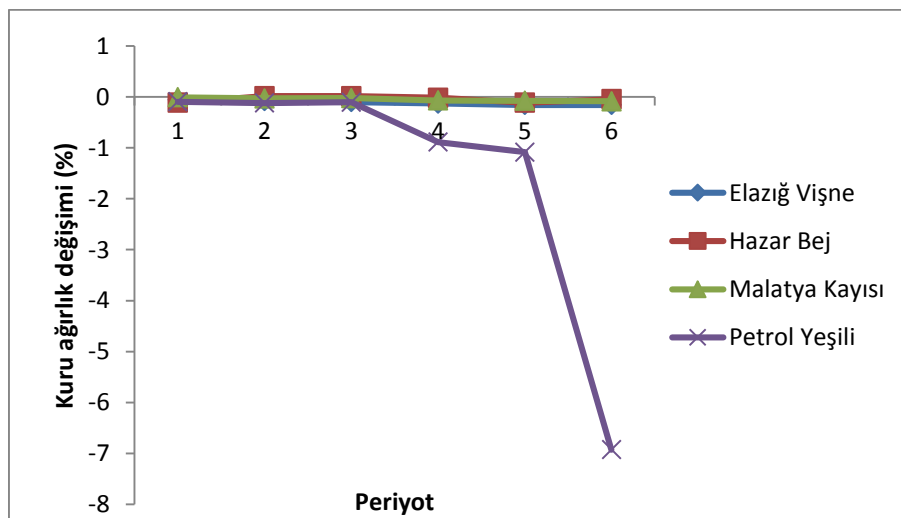
Tuz kristallenmesi deneylerinde örneklerin kuru ağırlıklarının periyotlara göre değişim hızları Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; tüm mermer örneklerinin düşük değişim hızına sahip oldukları görülmektedir. En yüksek değişim hızı Petrol Yeşili örneğinde görülmüştür.

MgSO₄ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

MgSO_4 ile yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde her bir periyot sonunda numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri Eşitlik (3.8)'e, değişimlerin hızları Eşitlik (3.13)'e göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.16'da verilmiştir. Periyotların sonunda elde edilen ağırlık değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Kuru ağırlıklar ve değişim değerleri 2.grup (MgSO₄)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	Kuru Ağırlık (g)	107,67	107,61	107,58	107,56	107,53	107,50	107,50
	% Değişim	0	-0,05	-0,08	-0,10	-0,13	-0,15	-0,15
	Değişim Hızı	0	-0,01	-0,008	-0,006	-0,006	-0,006	-0,005
Hazar Bej	Kuru Ağırlık (g)	130,56	130,41	130,58	130,58	130,54	130,41	130,50
	% Değişim	0	-0,11	0,01	0,01	-0,01	-0,11	-0,04
	Değişim Hızı	0	-0,02	0,001	0,001	-0,0007	-0,004	-0,001
Malatya Kayısı	Kuru Ağırlık (g)	130,54	130,53	130,50	130,51	130,45	130,44	130,43
	% Değişim	0	-0,007	-0,03	-0,02	-0,06	-0,07	-0,08
	Değişim Hızı	0	-0,001	-0,003	-0,001	-0,003	-0,003	-0,002
Petrol Yeşili	Kuru Ağırlık (g)	115,09	114,98	114,95	114,97	114,07	113,84	107,12
	% Değişim	0	-0,09	-0,12	-0,10	-0,88	-1,08	-6,92
	Değişim Hızı	0	-0,01	-0,01	-0,006	-0,04	-0,04	-0,23



Şekil 4.10. Kuru ağırlık değişimleri (%) 2.grup (MgSO₄)

MgSO₄ ile yapılan tuz kristallenmesi deneyinde her bir periyot sonunda belirlenen kuru ağırlık değerleri, % değişimler ve değişim hızlarını veren Çizelge 4.16 ve Şekil 4.10 incelendiğinde; döngüler sonunda tüm örneklerde değişen oranlarda ağırlık kaybının geliştiği gözlenmiştir. Bu değişim en çok Petrol Yeşili örneğinde gözlemlenmiştir. Özellikle 3. periyottan sonra ağırlık kayıpları meydana gelmiştir. 6. periyotta % 6,9'a varan bir ağırlık kaybı değişimi görülmüştür.

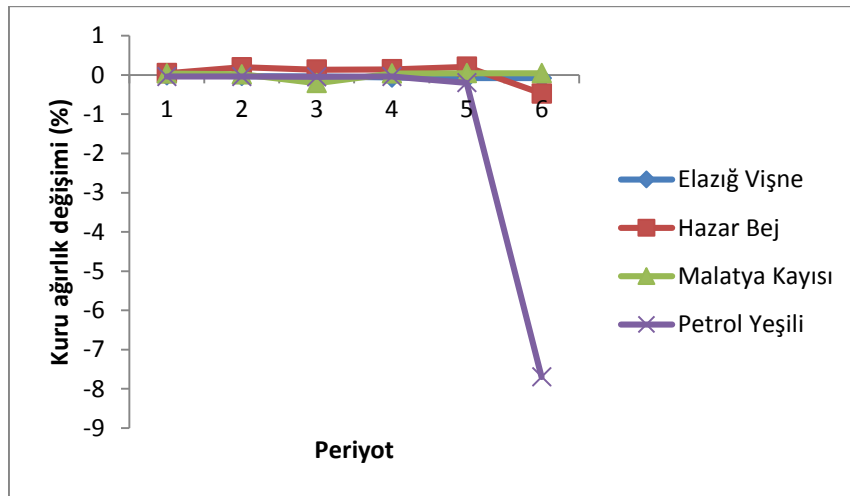
Çizelge 4.15'te yer alan değişim hızları Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; tüm mermer örneklerinin düşük değişim hızı değerlerine sahip olduğu ve değişimlerin döngüler süresince dalgalı bir seyir izlediği görülmektedir.

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde her bir periyot sonunda numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri Eşitlik (3.8)'e, değişimlerin hızları Eşitlik (3.13)'e göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.17'de verilmiştir. Periyotların sonunda elde edilen ağırlık değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kuru ağırlıklar ve değişim değerleri 3.grup (BaCl₂)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	Kuru Ağırlık (g)	110,17	110,16	110,14	110,13	110,10	110,08	110,08
	% Değişim	0	-0,009	-0,02	-0,03	-0,06	-0,08	-0,08
	Değişim Hızı	0	-0,001	-0,002	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002
Hazar Bej	Kuru Ağırlık (g)	133,31	133,37	133,57	133,49	133,50	133,59	132,68
	% Değişim	0	0,04	0,19	0,13	0,14	0,21	-0,47
	Değişim Hızı	0	0,009	0,01	0,009	0,007	0,008	-0,01
Malatya Kayısı	Kuru Ağırlık (g)	131,15	131,20	131,17	130,88	131,20	131,21	131,21
	% Değişim	0	0,03	0,01	-0,20	0,03	0,04	0,04
	Değişim Hızı	0	0,007	0,001	-0,01	0,001	0,001	0,001
Petrol Yeşili	Kuru Ağırlık (g)	119,03	118,98	118,98	118,97	118,98	118,79	109,87
	% Değişim	0	-0,04	-0,04	-0,05	-0,04	-0,20	-7,69
	Değişim Hızı	0	-0,008	-0,004	-0,003	-0,002	-0,008	-0,25



Şekil 4.11. Kuru ağırlık değişimleri (%) 3.grup (BaCl₂)

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmesi deneyinde her bir periyot sonunda belirlenen kuru ağırlık değerleri, bu değerlerde gelişen % değişimler ve değişim hızlarını veren Çizelge 4.17 ve Şekil 4.11 incelendiğinde; döngüler sonunda Malatya Kayısı örneği dışında tüm örneklerde değişen oranlarda ağırlık kaybının geliştiği gözlenmiştir. Bu durum 6.periyot sonunda % -7.6 değeri ile en çok Petrol Yeşili örneğinde gelişmiştir. Malatya Kayısı örneğinde ise çok az bir ağırlık artışı olmuştur. Bu durumun örnekte tuz birikmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür.

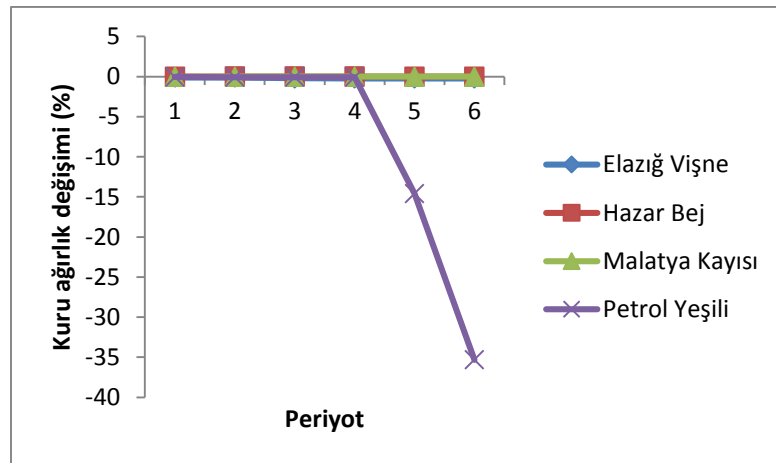
Belirlenen değişim hızı değerleri Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; mermer örneklerinin tümünün düşük değişim hızına sahip olduğu görülmektedir.

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde her bir periyot sonunda numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri Eşitlik (3.8)'e, değişimlerin hızları Eşitlik (3.13)'e göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.18'de verilmiştir. Periyotların sonunda elde edilen ağırlık değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Kuru ağırlıklar ve değişim değerleri 4.grup (NaClO)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	Kuru Ağırlık (g)	108,35	108,23	108,23	108,14	108,12	108,10	108,10
	% Değişim	0	-0,11	-0,11	-0,19	-0,21	-0,23	-0,23
	Değişim Hızı	0	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,009	-0,007
Hazar Bej	Kuru Ağırlık (g)	136,78	136,79	136,80	136,80	136,8	136,79	136,79
	% Değişim	0	0,007	0,01	0,01	0,01	0,007	0,007
	Değişim Hızı	0	0,001	0,001	0,0009	0,0007	0,0002	0,0002
Malatya Kayısı	Kuru Ağırlık (g)	131,4	131,38	131,39	131,40	131,39	131,40	131,41
	% Değişim	0	-0,01	-0,007	0	-0,007	0	0,007
	Değişim Hızı	0	-0,0030	-0,0007	0	-0,0003	0	0,0002
Petrol Yeşili	Kuru Ağırlık (g)	136,32	136,25	136,24	136,24	136,22	116,42	88,168
	% Değişim	0	-0,04	-0,05	-0,05	-0,07	-14,59	-35,32
	Değişim Hızı	0	-0,009	-0,005	-0,003	-0,003	-0,58	-1,17



Şekil 4.12. Kuru ağırlık değişimleri (%) 4.grup (NaClO)

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi deneyinde her bir periyot sonunda belirlenen kuru ağırlık değerleri, bu değerlerde gelişen % değişimler ve değişim hızlarını veren Çizelge 4.18 ve Şekil 4.12 incelendiğinde; döngüler sonunda tüm örneklerde değişen oranlarda ağırlık kaybının geliştiği gözlenmiştir. Bu durum 6.periyot sonunda % -35,32 değeri ile en çok Petrol Yeşili örneğinde gelişmiştir.

Belirlenen değişim hızı değerleri Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; mermer örneklerinin tümünün düşük değişim hızına sahip olduğu görülmektedir.

4.5.2. Toplam Kuru Ağırlık Değişimleri

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri süresince mermer örneklerinde başlangıç-döngü sonunda meydana gelen toplam ağırlık kaybı değerleri, kuru ağırlıkta meydana gelen toplam değişimler Eşitlik (3.8)'e, kuru ağırlık değişim hızı değerleri Eşitlik (3.13)'e göre hesaplanarak Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Mermer örneklerinin toplam ağırlık kayıpları, % değişimleri ve değişim hızları

		Elazığ Vişne	Hazar Bej	Malatya Kayısı	Petrol Yeşili
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O Kimyasal	Ağırlık Kaybı(g)	-0,28	-1,20	-0,45	-8,56
	Toplam Değişim (%)	-0,26	-0,92	-0,35	-7,48
	Değişim Hızı	-0,008	-0,03	-0,01	-0,24
MgSO ₄	Ağırlık Kaybı(g)	-0,17	-0,05	-0,11	-7,97
	Toplam Değişim(%)	-0,16	-0,04	-0,08	-6,93
	Değişim Hızı	-0,0005	-0,0001	-0,0002	-0,23
BaCl ₂	Ağırlık Kaybı(g)	-0,09	-0,62	0,06	-9,15
	Toplam Değişim (%)	-0,08	-0,47	0,05	-7,69
	Değişim Hızı	-0,002	-0,01	0,001	-0,25
NaClO	Ağırlık Kaybı(g)	-0,24	0,01	0,01	-48,15
	Toplam Değişim (%)	-0,23	0,007	0,007	-35,32
	Değişim Hızı	-0,007	0,0003	0,0003	-1,17

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda tüm mermer örneklerinde belirli oranlarda ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Tuz kristallenmesi döngüleri ilerledikçe örneklerin bünyelerindeki kılcal çatlaklarda açılma ve genişlemeler meydana gelmiş, bazı örneklerde kırılarak kopmalar ve ayrılmalar gözlemlenmiştir. Bu bozunmalar Şekil 4.13'te verilmiştir. Bu ayrılmalar nedeniyle örneklerin ağırlıklarında azalmalar meydana gelmiştir. Ağırlık kaybına neden olmasından dolayı örneklerde en fazla tahribat yaratan kimyasal NaClO'dur.



Şekil 4.13. Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda tahrip olan numunelerin görüntüsü

4.5.3. Parlaklık Değişim Değerleri

Bir yüzeyi parlatılmış numuneler üzerinde TS EN 12370 standartlarına göre yapılan tuz kristallenmesi döngülerine başlamadan önce ve her periyot sonunda numunelerin parlak yüzeylerinde 3 noktadan parlaklık ölçer aleti kullanılarak 60° açı ile parlaklık ölçümleri alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır [40].

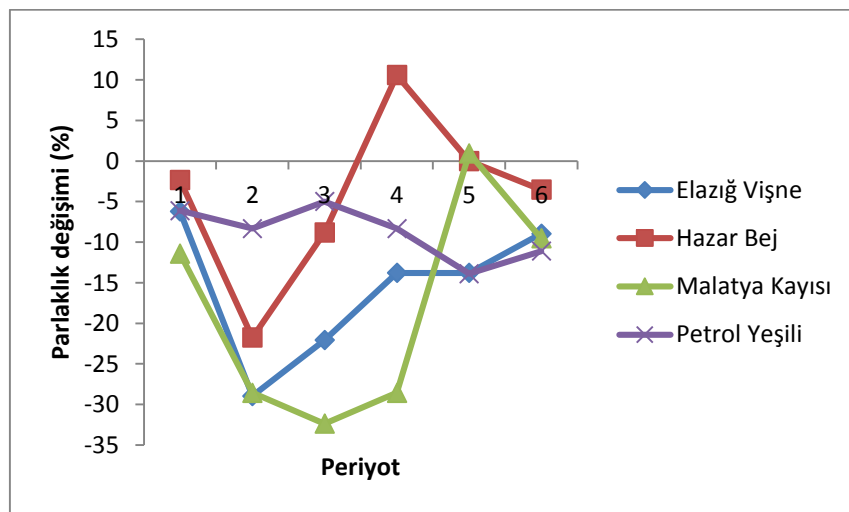
Herbir periyot sonunda parlaklık değerlerinde meydana gelen % değişimler Eşitlik (3.9)'a, parlaklık değişim hızları Eşitlik (3.13)'e göre hesaplanarak tuz kristallenmesi döngülerinde kullanılan kimyasallara göre gruplandırılarak Çizelge 4.20-4.23'te, parlaklık değişimlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.14-4.17'de verilmiştir.

Na₂SO₄.10H₂O ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

Na₂SO₄.10H₂O ile yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde her bir periyot sonunda numunelerde meydana gelen parlaklık değişimleri Eşitlik (3.9)'a, değişimlerin hızları Eşitlik (3.13)'e göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.20'de verilmiştir. Periyotların sonunda elde edilen parlaklık değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.20. Parlaklık değişim değerleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	Parlaklık(GU)	1,45	1,36	1,03	1,13	1,25	1,25	1,32
	% Değişim	0	-6,20	-28,96	-22,06	-13,79	-13,79	-8,96
	Değişim Hızı	0	-1,24	-2,89	-1,47	-0,68	-0,55	-0,29
Hazar Bej	Parlaklık(GU)	1,70	1,66	1,33	1,55	1,88	1,7	1,64
	% Değişim	0	-2,35	-21,76	-8,82	10,58	0	-3,52
	Değişim Hızı	0	-0,47	-2,17	-0,58	0,52	0	-0,11
Malatya Kayısı	Parlaklık(GU)	2,10	1,86	1,50	1,42	1,50	2,12	1,90
	% Değişim	0	-11,42	-28,57	-32,38	-28,57	0,95	-9,52
	Değişim Hızı	0	-2,28	-2,85	-2,15	-1,42	0,03	-0,31
Petrol Yeşili	Parlaklık(GU)	1,80	1,69	1,65	1,71	1,65	1,55	1,60
	% Değişim	0	-6,11	-8,33	-5	-8,33	-13,88	-11,11
	Değişim Hızı	0	-1,22	-0,83	-0,33	-0,41	-0,55	-0,37



Şekil 4.14. Parlaklık değişimleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Çizelge 4.20 ve Şekil 4.14 incelendiğinde; parlaklık değerlerinin döngüler süresince dalgalı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. 30 döngü sonunda tüm örneklerin parlaklık değerlerinde belirli oranda azalmalar meydana gelmiştir.

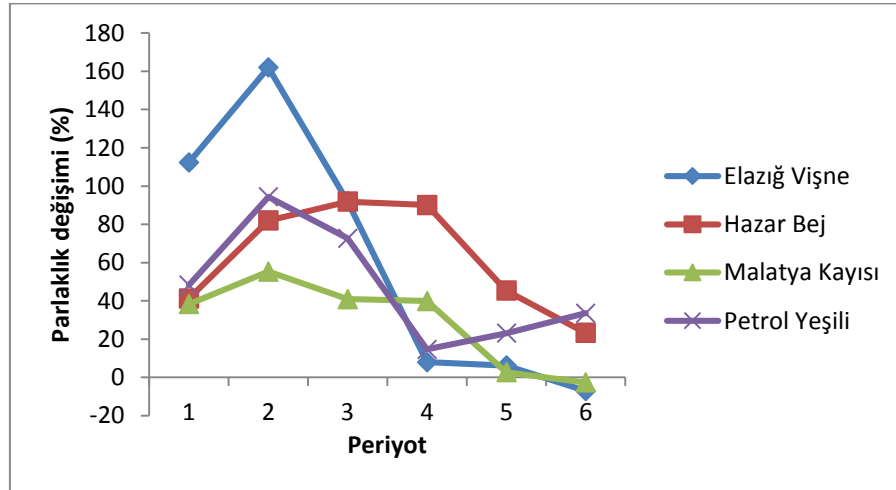
Çizelge 4.20’de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; tüm mermer örneklerinin parlaklık değerlerinin periyotlar boyunca düşük değişim hızına sahip olduğu ve dalgalı bir değişim seyri sergilediği görülmektedir.

MgSO₄ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

MgSO₄ ile yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde her bir periyot sonunda numunelerde meydana gelen parlaklık değişimleri Eşitlik (3.9)’a, değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.21’de verilmiştir. Periyotların sonlarında ölçülen parlaklık değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.21. Parlaklık değişim değerleri 2.grup (MgSO₄)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	Parlaklık(GU)	1,13	2,4	2,96	2,17	1,22	1,2	1,05
	% Değişim	0	112,38	161,94	92,03	7,96	6,19	-7,07
	Değişim Hızı	0	22,47	16,19	6,13	0,39	0,24	-0,23
Hazar Bej	Parlaklık(GU)	1,72	2,43	3,13	3,3	3,27	2,5	2,12
	% Değişim	0	41,27	81,97	91,86	90,11	45,34	23,25
	Değişim Hızı	0	8,25	8,19	6,12	4,50	1,81	0,77
Malatya Kayısı	Parlaklık(GU)	1,88	2,6	2,92	2,65	2,63	1,93	1,83
	% Değişim	0	38,29	55,31	40,95	39,89	2,65	-2,65
	Değişim Hızı	0	7,65	5,53	2,73	1,99	0,10	-0,08
Petrol Yeşili	Parlaklık(GU)	1,43	2,12	2,78	2,47	1,64	1,76	1,91
	% Değişim	0	48,25	94,40	72,72	14,68	23,07	33,56
	Değişim Hızı	0	9,65	9,44	4,84	0,73	0,92	1,11



Şekil 4.15. Parlaklık değişimleri 2.grup (MgSO₄)

Çizelge 4.21 ve Şekil 4.15 incelendiğinde; döngüler süresince mermer örneklerinin parlaklık değerlerinin önce arttığı daha sonra ise azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. 30 döngü sonunda tüm örneklerin parlaklık değerlerinde belirli oranda azalmalar meydana gelmiştir. Şekil 4.15'te yer alan % değişim değerleri incelendiğinde parlaklığın 2.periyoda kadar artı yönde değiştiği daha sonra azaldığı görülmektedir. Elazığ Vişne örneği değişimin en çok gözlemlendiği örnek olmuştur.

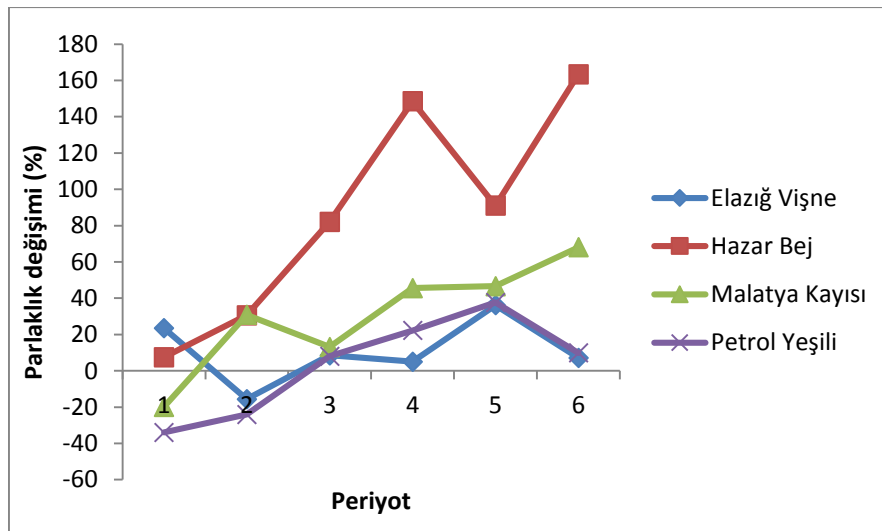
Çizelge 4.21'de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; tüm mermer örneklerinin periyotlar boyunca dalgalı bir seyir sergilediği görülmektedir. Elazığ Vişne mermerinin 1. ve 2.periyotta yüksek, 3.periyotta orta değişim hızına sahip olduğu Hazar Bej mermerinin ilk 5 periyotta, Malatya Kayısı mermerinin ilk 4 periyotta, Petrol Yeşili mermerinin 1.2.3. ve 6.periyotlarda orta değişim hızına sahip oldukları, diğer periyotlarda ise düşük değişim hızlarına sahip oldukları görülmektedir.

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde her bir periyot sonunda numunelerde meydana gelen parlaklık değişimleri Eşitlik (3.9)'a, değişim hızları Eşitlik (3.13)'e göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.22'de verilmiştir. Periyotların sonunda elde edilen parlaklık değerlerinin değişimlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Parlaklık değişim değerleri 3.grup (BaCl₂)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	Parlaklık(GU)	1,41	1,74	1,19	1,53	1,48	1,92	1,51
	% Değişim	0	23,40	-15,60	8,51	4,96	36,17	7,09
	Değişim Hızı	0	4,68	-1,56	0,56	0,24	1,44	0,23
Hazar Bej	Parlaklık(GU)	1,34	1,44	1,75	2,44	3,33	2,56	3,53
	% Değişim	0	7,46	30,59	82,08	148,50	91,04	163,43
	Değişim Hızı	0	1,49	3,05	5,47	7,42	3,64	5,44
Malatya Kayısı	Parlaklık(GU)	1,91	1,53	2,5	2,16	2,78	2,8	3,21
	% Değişim	0	-19,85	30,89	13,08	45,54	46,59	68,062
	Değişim Hızı	0	-3,97	3,08	0,87	2,27	1,86	2,26
Petrol Yeşili	Parlaklık(GU)	1,62	1,07	1,23	1,75	1,98	2,23	1,78
	% Değişim	0	-33,95	-24,07	8,02	22,22	37,65	9,87
	Değişim Hızı	0	-6,79	-2,40	0,53	1,11	1,50	0,32



Şekil 4.16. Parlaklık değişimleri 3.grup (BaCl₂)

Çizelge 4.22 ve Şekil 4.16 incelendiğinde; örneklerin parlaklık değerlerinin döngüler süresince geniş bir aralıkta dalgalı olarak değişim gösterdiği görülmektedir.

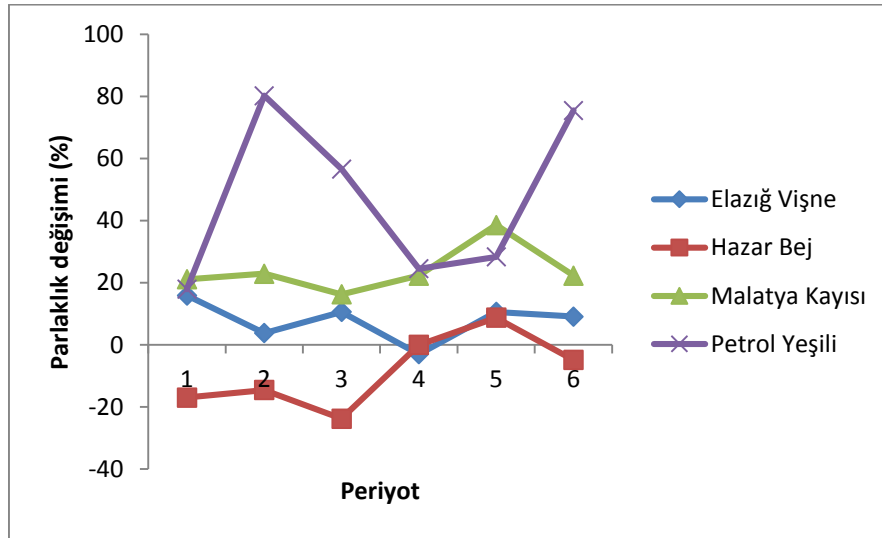
Çizelge 4.22’de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; Elazığ Vişne mermerinin 1.ve5.periyotta, Hazar Bej mermerinin tüm periyotlarda, Malatya Kayısı mermerinin 2.4.5. ve 6.periyotlarda, Petrol Yeşili mermerinin de 4.ve 5. periyotlarda orta bozunma hızına sahip oldukları, mermer örneklerinin diğer tüm periyotlarda ise düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir.

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde her bir periyot sonunda numunelerde meydana gelen parlaklık değişimleri Eşitlik (3.9)’a, değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.23’te verilmiştir. Periyotların sonunda elde edilen parlaklık değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Parlaklık değişim değerleri 4.grup (NaClO)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	Parlaklık(GU)	1,32	1,53	1,37	1,46	1,28	1,46	1,44
	% Değişim	0	15,90	3,78	10,60	-3,03	10,60	9,09
	Değişim Hızı	0	3,18	0,37	0,70	-0,15	0,42	0,30
Hazar Bej	Parlaklık(GU)	2,06	1,71	1,76	1,57	2,06	2,24	1,96
	% Değişim	0	-16,99	-14,53	-23,78	0	8,73	-4,85
	Değişim Hızı	0	-3,39	-1,45	-1,58	0	0,34	-0,16
Malatya Kayısı	Parlaklık(GU)	1,66	2,01	2,04	1,93	2,03	2,30	2,03
	% Değişim	0	21,08	22,89	16,26	22,28	38,55	22,28
	Değişim Hızı	0	4,21	2,28	1,08	1,11	1,54	0,74
Petrol Yeşili	Parlaklık(GU)	1,06	1,25	1,91	1,66	1,32	1,36	1,86
	% Değişim	0	17,92	80,18	56,60	24,52	28,30	75,47
	Değişim Hızı	0	3,58	8,01	3,77	1,22	1,13	2,51



Şekil 4.17. Parlaklık değişimleri 4.grup (NaClO)

Çizelge 4.23 ve Şekil 4.17 incelendiğinde; döngüler süresince mermer örneklerinin parlaklık değerlerinin dalgalı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Bu değişimler özellikle Petrol Yeşili örneğinde geniş bir aralıkta gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.23'te yer alan değişim hızları Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; Elazığ Vişne mermerinin 1.peryotta, Malatya Kayısı mermerinin tüm periyotlarda, Petrol Yeşili mermerinin de tüm periyotlarda orta değişim hızına sahip oldukları, Hazar Bej mermerinin ise tüm periyotlarda düşük değişim hızı sergilediği görülmektedir.

4.5.4. Toplam Parlaklık Değişimleri

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda mermer örneklerinde başlangıç-döngü sonunda meydana gelen toplam parlaklık değişimi değerleri, bu değişimlerin % değerleri Eşitlik (3.9)'a, parlaklık değerlerinin değişim hızları Eşitlik (3.13)'e göre hesaplanarak Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.24. Parlaklık değerlerinin toplam değişimleri, değişimlerin % cinsinden miktarları ve değişim hızları

Kimyasal		Elazığ Vişne	Hazar Bej	Malatya Kayısı	Petrol Yeşili
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	ParlaklıkDeğişimi (GU)	-0,13	-0,06	-0,2	-0,2
	Toplam Değişim (%)	-8,97	-3,53	-9,52	-11,11
	Değişim Hızı	-0,29	-0,11	-0,31	-0,37
MgSO ₄	ParlaklıkDeğişimi (GU)	-0,08	0,4	-0,05	0,48
	Toplam Değişim (%)	-7,08	23,26	-2,66	33,57
	Değişim Hızı	-0,23	0,77	-0,08	1,11
BaCl ₂	ParlaklıkDeğişimi (GU)	0,1	2,19	1,3	0,16
	Toplam Değişim (%)	7,09	163,43	68,06	9,88
	Değişim Hızı	0,23	5,44	2,26	0,32
NaClO	Parlaklık Değişimi (GU)	0,12	-0,1	0,37	0,8
	Toplam Değişim (%)	9,09	-4,85	22,29	75,47
	Değişim Hızı	0,30	-0,16	0,74	2,51

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri neticesinde mermer örneklerinin parlaklıklarında değişik oranlarda değişimler meydana gelmiştir. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile muamele edilen örneklerin tümünün parlaklığının azaldığı, bu azalmanın da numune yüzeylerinin çatlaması ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

MgSO_4 ve NaClO ile muamele edilen Elazığ Vişne ve Malatya Kayısı örneklerinin parlaklığı azalırken Hazar Bej ve Petrol Yeşili örneklerinde parlaklık artışı görülmüştür. NaClO tuzu ile muamele sonucunda da sadece Hazar Bej mermerinin parlaklığı azalmış diğer örneklerin parlaklık değerleri artmıştır. Bu artışın L değerindeki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. BaCl_2 ile muamele edilen örneklerin tümünün ise parlaklığının arttığı görülmektedir. BaCl_2 ile muamele sonundaki artışın örneklerin L değerinin artışına bağlı olduğu düşünülmüştür.

4.5.5. Renk Ölçüm Değerleri

TS EN 12370 standartına göre tuz kristallenmesi döngülerine tabii tutulan bir yüzeyi parlatılmış numunelerin yüzeylerinde döngülere başlamadan önce ve her beş döngü (1 periyot) sonunda 3 noktadan renk ölçümleri alınmıştır. Periyotlar sonunda renk parametrelerinin (L, a, b) değerlerinde meydana gelen yüzde değişimler Eşitlik (3.10, 3.11 ve 3.12)'ye ve bu değişimlerin hızları Eşitlik (3.13)'e göre hesaplanmıştır [40].

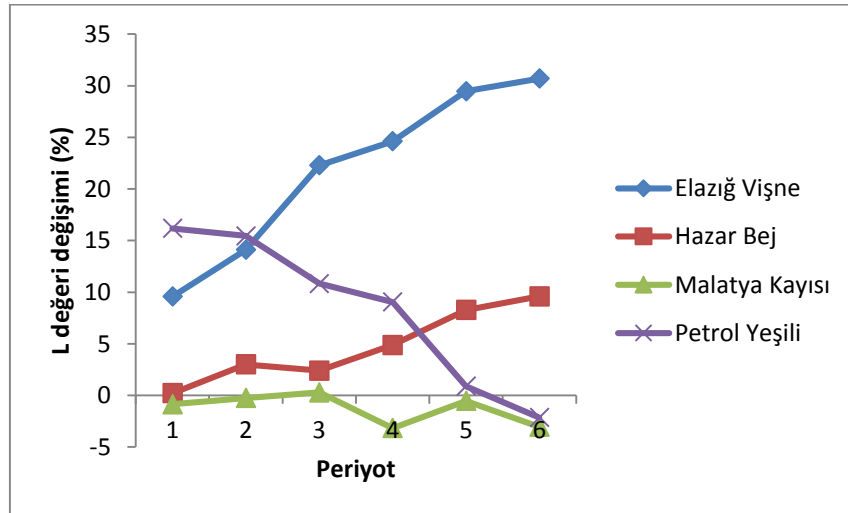
4.5.5.1. L (Siyahlık-Beyazlık) Değişimleri

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait L (siyahlık-beyazlık; $L=0 \rightarrow$ Siyah, $L=100 \rightarrow$ Beyaz) değerlerinin ortalamaları, bu değerlerdeki yüzde değişimler Eşitlik (3.10)'a, değişim hızları Eşitlik (3.13)'e göre hesaplanarak Çizelge 4.25'te, L değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. L (siyahlık-beyazlık) değişim değerleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	L	36,88	40,41	42,08	45,1	45,96	47,75	48,2
	% Değişim	0	9,57	14,09	22,28	24,62	29,47	30,69
	Değişim Hızı	0	1,91	1,40	1,48	1,23	1,17	1,02
Hazar Bej	L	73,28	73,43	75,48	75,04	76,85	79,34	80,31
	% Değişim	0	0,20	3,00	2,40	4,87	8,26	9,59
	Değişim Hızı	0	0,04	0,30	0,16	0,24	0,33	0,31
Malatya Kayısı	L	77,95	77,28	77,75	78,17	75,48	77,53	75,58
	% Değişim	0	-0,85	-0,25	0,28	-3,16	-0,53	-3,04
	Değişim Hızı	0	-0,17	-0,02	0,01	-0,15	-0,02	-0,10
Petrol Yeşili	L	34,81	40,44	40,19	38,58	37,96	35,12	34,06
	% Değişim	0	16,17	15,45	10,83	9,04	0,89	-2,15
	Değişim Hızı	0	3,23	1,54	0,72	0,45	0,03	-0,07



Şekil 4.18. L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Çizelge 4.25 ve Şekil 4.18 incelendiğinde; açık renkli mermer örnekleri olan Hazar Bej ve Malatya Kayısı örneklerinin L (siyahlık-beyazlık) değerlerinin daha dar bir alanda değiştiği, koyu renkli mermer örnekleri olan Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinde değişimin biraz daha geniş bir alanda geliştiği görülmektedir. Periyotlar boyunca değişimler artan-azalan bir seyir sergilemiş ve döngülerin sonunda Elazığ Vişne ve Hazar Bej mermelerinin L değeri artarken Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili örneklerinde ise azalmıştır.

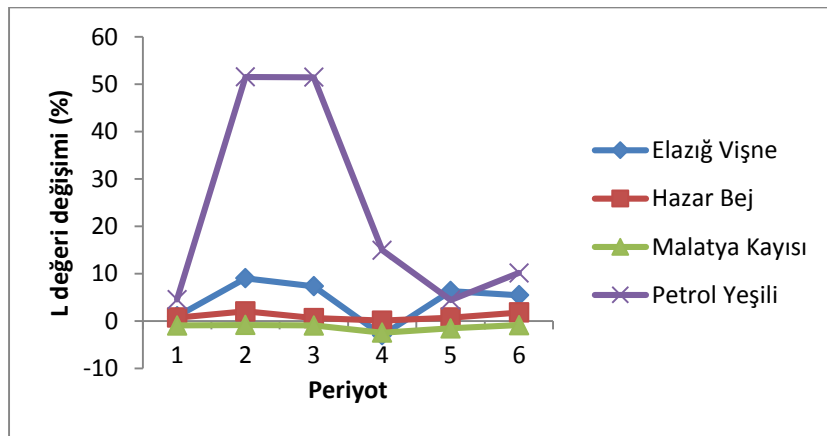
Çizelge 4.25'te yer alan değişim hızları Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; 1.periyotta Elazığ Vişne mermerinin orta değişim hızı, Petrol Yeşili mermerinin 1.ve 2.periyotlarda orta değişim hızına sahip olduğu, diğer tüm periyotlarda düşük değişim hızı sergilediği görülmektedir. Hazar Bej ve Malatya Kayısı mermerlerinin ise tüm periyotlarda düşük değişim hızı sergilediği görülmektedir.

MgSO₄ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

MgSO₄ tuzu ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait L (siyahlık-beyazlık; L=0→Siyah, L=100→Beyaz) değerlerinin ortalamaları, bu değerlerdeki yüzde değişimler Eşitlik (3.10)' a, değişim hızları Eşitlik (3.13)'e göre hesaplanarak Çizelge 4.26'da, L değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. L (siyahlık-beyazlık) değişim değerleri 2.grup (MgSO₄)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	L	38,83	39,21	42,33	41,68	37,66	41,28	40,94
	% Değişim	0	0,97	9,01	7,33	-3,01	6,30	5,43
	Değişim Hızı	0	0,19	0,90	0,48	-0,12	0,25	0,18
Hazar Bej	L	72,24	72,74	73,7	72,67	72,28	72,76	73,52
	% Değişim	0	0,69	2,02	0,59	0,05	0,71	1,77
	Değişim Hızı	0	0,13	0,20	0,03	0,002	0,02	0,05
Malatya Kayısı	L	78,34	77,59	77,67	77,59	76,4	77,13	77,66
	% Değişim	0	-0,95	-0,85	-0,95	-2,47	-1,54	-0,86
	Değişim Hızı	0	-0,19	-0,08	-0,06	-0,12	-0,06	-0,02
Petrol Yeşili	L	34,87	36,45	52,84	52,82	40,08	36,41	38,41
	% Değişim	0	4,53	51,53	51,47	14,94	4,41	10,15
	Değişim Hızı	0	0,90	5,15	3,43	0,74	0,17	0,33



Şekil 4.19. L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri 2.grup (MgSO₄)

Çizelge 4.26 ve Şekil 4.19 incelendiğinde; açık renkli (daha yüksek L değerine sahip olan) Malatya Kayısı ve Hazar Bej örneklerinin L değerlerinin periyotlar boyunca dar bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Döngülerin sonunda Hazar Bej örneğinin L değeri artarken (rengi açılırken), Malatya Kayısı örneğinin L değerinde azalma (rengi koyulaşmıştır) meydana gelmiştir. Koyu renkli mermer örneklerinin (L değeri düşük) olan Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinde ise L değişimi daha geniş bir aralıkta gerçekleşmiş, bu değişim dalgalı bir eğilim göstermiştir. Döngülerin sonunda Elazığ Vişne ve Hazar Bej mermerlerinin ikisinde L değeri artmış yani renklerinde açılmalar meydana gelmiştir.

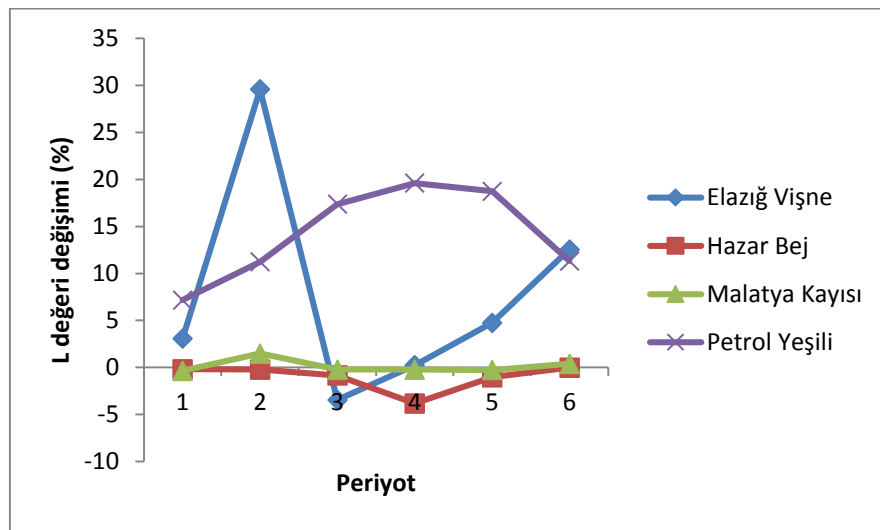
Çizelge 4.26’da yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; Petrol Yeşili mermerinin 2.ve 3.periyotlarda orta değişim hızı sergilediği, diğer periyotlarda ise düşük değişim hızı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Elazığ Vişne, Hazar Bej ve Malatya Kayısı mermerlerinin ise tüm periyotlarda düşük değişim hızına sahip oldukları görülmektedir.

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

BaCl₂ tuzu ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait L (siyahlık-beyazlık; L=0→Siyah, L=100→Beyaz) değerlerinin ortalamaları, bu değerlerdeki yüzde değişimler Eşitlik (3.10)’a, değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre hesaplanarak Çizelge 4.27’de, L değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. L (siyahlık-beyazlık) değişim değerleri 3.grup (BaCl₂)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	L	44,17	45,53	57,23	42,65	44,28	46,27	49,71
	% Değişim	0	3,07	29,56	-3,44	0,24	4,75	12,54
	Değişim Hızı	0	0,61	2,95	-0,22	0,01	0,19	0,41
Hazar Bej	L	74,48	74,35	74,32	73,85	71,64	73,71	74,47
	% Değişim	0	-0,17	-0,21	-0,84	-3,81	-1,03	-0,01
	Değişim Hızı	0	-0,03	-0,02	-0,05	-0,19	-0,04	-0,004
Malatya Kayısı	L	77,03	76,76	78,18	76,87	76,87	76,83	77,34
	% Değişim	0	-0,35	1,49	-0,20	-0,20	-0,25	0,40
	Değişim Hızı	0	-0,07	0,14	-0,01	-0,01	-0,01	0,01
Petrol Yeşili	L	35,61	38,16	39,61	41,79	42,59	42,28	39,64
	% Değişim	0	7,16	11,23	17,35	19,60	18,73	11,31
	Değişim Hızı	0	1,43	1,12	1,15	0,98	0,74	0,37



Şekil 4.20. L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri 3.grup (BaCl₂)

Çizelge 4.27 ve Şekil 4.20 incelendiğinde; $BaCl_2$ tuzu ile muamele edilen mermer örneklerinden Hazar Bej, Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili numunelerinin L (siyahlık-beyazlık) değerlerinin dar bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Elazığ Vişne örneğinin L değeri 2.periyot sonunda önemli ölçüde artmış daha sonra ise düşmüştür. Döngülerin sonunda Elazığ Vişne, Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili örneklerinin L değeri artarken (renkte açılmalar gelişirken), Hazar Bej örneğinin L değeri azalmış renk koyulaşmıştır.

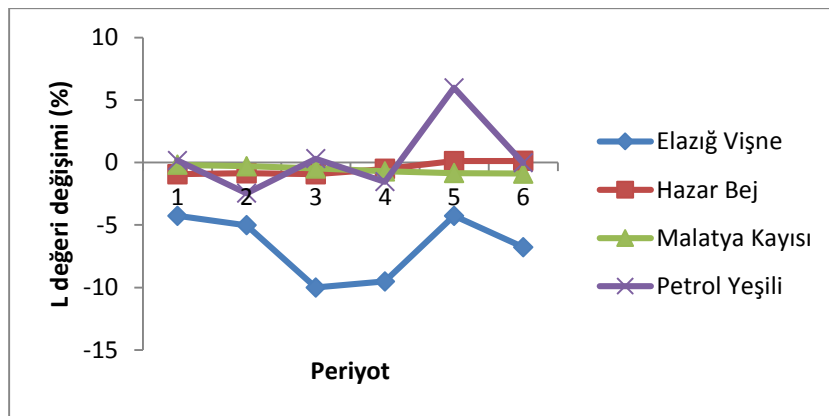
Çizelge 4.27’de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; Elazığ Vişne mermerinin 2.periyotta, Petrol Yeşili mermerinin ise 1.2. ve 3.periyotta orta değişim hızı, diğer periyotlarda ise düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir. Hazar Bej ve Malatya Kayısı mermerlerinin ise tüm periyotlarda düşük değişim hızı değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

NaClO tuzu ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait L (siyahlık-beyazlık; $L=0 \rightarrow$ Siyah, $L=100 \rightarrow$ Beyaz) değerlerinin ortalamaları, bu değerlerdeki yüzde değişimler Eşitlik (3.10)’a, değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre hesaplanarak Çizelge 4.28’de, L değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. L (siyahlık-beyazlık) değişim değerleri 4.grup (NaClO)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	L	40,86	39,12	38,81	36,77	36,97	39,12	38,09
	% Değişim	0	-4,25	-5,01	-10,09	-9,52	-4,25	-6,77
	Değişim Hızı	0	-0,85	-0,50	-0,66	-0,47	-0,17	-0,22
Hazar Bej	L	72,73	72,05	72,11	72,05	72,36	72,82	72,83
	% Değişim	0	-0,93	-0,85	-0,93	-0,50	0,12	0,13
	Değişim Hızı	0	-0,18	-0,08	-0,06	-0,02	0,004	0,004
Malatya Kayısı	L	77,74	77,6	77,51	77,37	77,2	77,09	77,06
	% Değişim	0	-0,18	-0,29	-0,47	-0,69	-0,83	-0,87
	Değişim Hızı	0	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02
Petrol Yeşili	L	35,87	35,93	34,99	35,98	35,32	38,02	35,86
	% Değişim	0	0,16	-2,45	0,30	-1,53	5,99	-0,02
	Değişim Hızı	0	0,03	-0,24	0,02	-0,07	0,23	-0,009



Şekil 4.21. L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri 4.grup (NaClO)

Çizelge 4.28 ve Şekil 4.21 incelendiğinde; NaClO tuzu ile muamele edilen açık renkli mermer örneklerinin periyotlar süresince L değerlerinin çok dar bir alanda değiştiği, koyu renkli örnekler olan Elazığ Vişne ve Petrol Yeşilinin ise 3.ve 5.periyotlarda daha geniş bir alanda değiştiği görülmektedir. Döngülerin sonunda Elazığ Vişne, Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili örneğinin L değeri çok düşük oranda azalırken (renkleri koyulaşırken), Hazar Bej örneğinin L değeri yine çok düşük oranda artmıştır (rengi açılmıştır).

Çizelge 4.28’de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; tüm mermer örneklerinin L değerlerinin tüm periyotlarda düşük değişim hızı değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

4.5.5.2. Toplam L Değişimleri

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri süresince mermer örneklerinde başlangıç-döngü sonunda meydana gelen toplam L (siyahlık-beyazlık; $L=0 \rightarrow$ Siyah, $L=100 \rightarrow$ Beyaz) değişim değerleri Eşitlik (3.10)’a, bu değişimlerin % değerleri ve değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre hesaplanarak Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29. L değerlerinin toplam değişimleri, değişimlerin % cinsinden miktarları ve değişim hızları

Kimyasal		Elazığ Vişne	Hazar Bej	Malatya Kayısı	Petrol Yeşili
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	L	11,32	7,03	-2,37	-0,75
	Toplam Değişim (%)	30,69	9,59	-3,04	-2,15
	Değişim Hızı	1,02	0,31	-0,10	-0,07
MgSO ₄	L	2,11	1,28	-0,68	3,54
	Toplam Değişim (%)	5,43	1,77	-0,87	10,15
	Değişim Hızı	0,18	0,05	-0,02	0,33
BaCl ₂	L	5,54	-0,01	0,31	4,03
	Toplam Değişim (%)	12,54	-0,01	0,4	11,32
	Değişim Hızı	0,41	-0,0003	0,01	0,37
NaClO	L	-2,77	0,1	-0,68	-0,01
	Toplam Değişim (%)	-6,78	0,14	-0,87	-0,03
	Değişim Hızı	-0,22	0,004	-0,02	-0,001

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda başlangıç ve döngü sonunda numune yüzeylerinden ölçülen L (siyahlık-beyazlık; $L=0 \rightarrow$ Siyah, $L=100 \rightarrow$ Beyaz) değerlerinin değişimleri incelendiğinde; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile yapılan döngüler sonunda Elazığ Vişne ve Hazar Bej örneklerinin L değerlerinin arttığı, Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili örneklerinin ise L değerinin azaldığı görülmektedir. L değerindeki artış özellikle Elazığ Vişne mermerinde %30,69 ile yüksek oranda gerçekleşmiştir. L değerinin artışı örneğin renginin açıldığı anlamına gelmektedir.

MgSO_4 tuzu ile muamele sonucunda sadece Malatya Kayısı mermerinde, BaCl_2 tuzu ile muamele sonucunda sadece Hazar Bej örneğinin L değerinde az oranda azalma görülmektedir.

NaClO tuzu ile muamele edilen örneklerin L değerlerinin değişimlerine bakıldığında sadece Hazar Bej örneğinin L değerinin az miktarda arttığı, diğer örneklerin ise L değerinin az miktarda azaldığı görülmektedir.

L değerinin artışı örneğin yüzeyinin renginin açıldığının, azalışı ise yüzeyinin renginin koyulaştığının göstergesidir. L değerindeki toplam değişimlere bakıldığında en büyük etkiyi yaratan tuzun $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ olduğu, en az etkiyi yaratan tuzun ise NaClO olduğu söylenebilir. Ancak bu etki tüm mermer örneklerinde farklı şiddet ve yönlüdür.

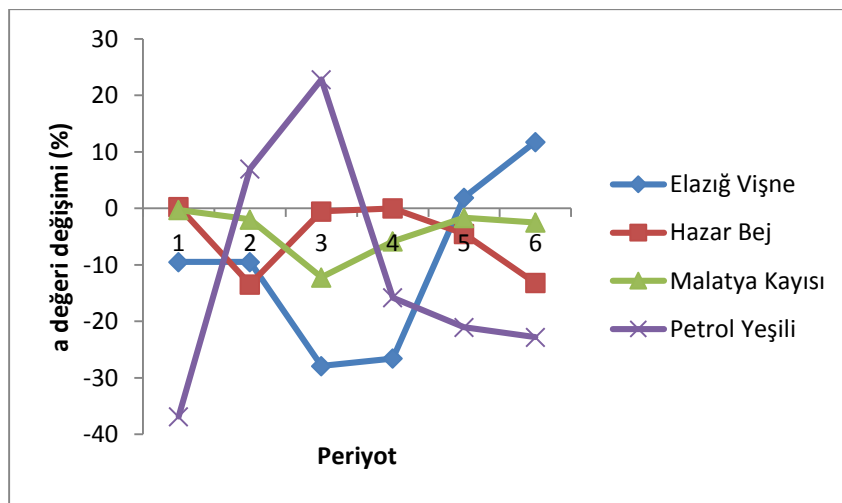
4.5.5.3. a (Yeşillik-Kırmızılık) Değişimleri

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile yapılan döngüler sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait a değerlerindeki (yeşillik-kırmızılık; $a < 0 \rightarrow$ yeşil, $a > 0 \rightarrow$ kırmızı) % değişimler Eşitlik (3.11)'e, değişim hızları Eşitlik (3.13)'e göre hesaplanarak Çizelge 4.30'da, a değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. a (yeşillik-kırmızılık) değişim değerleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	a	5,27	4,77	4,77	3,80	3,87	5,37	5,89
	% Değişim	0	-9,48	-9,48	-27,89	-26,56	1,89	11,76
	Değişim Hızı	0	-1,89	-0,94	-1,85	-1,32	0,07	0,39
Hazar Bej	a	3,79	3,80	3,28	3,77	3,79	3,62	3,29
	% Değişim	0	0,26	-13,45	-0,52	0	-4,48	-13,19
	Değişim Hızı	0	0,05	-1,34	-0,03	0	-0,17	-0,43
Malatya Kayısı	a	3,61	3,60	3,54	3,17	3,40	3,55	3,52
	% Değişim	0	-0,27	-1,93	-12,18	-5,81	-1,66	-2,49
	Değişim Hızı	0	-0,05	-0,19	-0,81	-0,29	-0,06	-0,08
Petrol Yeşili	a	-0,57	-0,36	-0,61	-0,70	-0,48	-0,45	-0,44
	% Değişim	0	-36,84	7,01	22,80	-15,78	-21,05	-22,80
	Değişim Hızı	0	-7,36	0,70	1,52	-0,78	-0,84	-0,76



Şekil 4.22. a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Çizelge 4.30 ve Şekil 4.22 incelendiğinde; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile muamele edilen mermerlerde Elazığ Vişne ve Hazar Bej örneklerinin a değerlerinin periyotlar süresince geniş bir alanda dalgalı bir değişim, Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili örneklerinin ise daha dar bir alanda değişim sergilediği görülmektedir. Döngüler sonunda koyu renkli örnekler olan Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinin renklerinde a değerinde artış (kırmızılaşma), açık renkli örnekler olan Malatya Kayısı ve Hazar Bej örneklerinin a değerlerinde ise azalma (yeşillenme) gerçekleşmiştir.

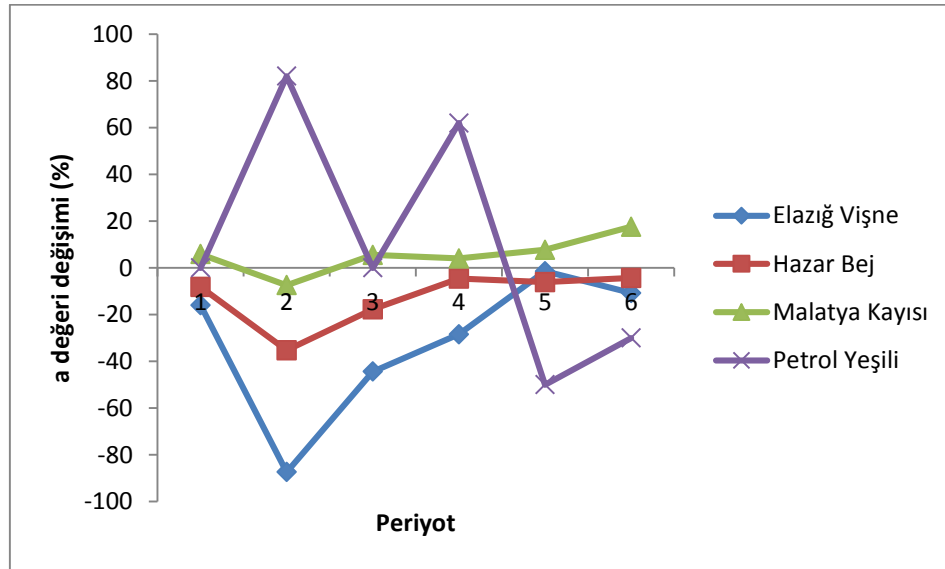
Çizelge 4.30’da yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; Petrol Yeşili mermerinin 3.periyotta orta değişim hızı değerine sahip olduğu, diğer tüm mermerlerin bütün periyotlarda düşük değişim hızı değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

MgSO_4 ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

MgSO_4 tuzu ile yapılan döngüler sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait a değerlerindeki (yeşillik-kırmızılık; $a < 0 \rightarrow$ yeşil, $a > 0 \rightarrow$ kırmızı) % değişimler Eşitlik (3.11)’e, değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre hesaplanarak Çizelge 4.31’de, a değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.23’te verilmiştir.

Çizelge 4.31. a (yeşillik-kırmızılık) değişim değerleri 2.grup (MgSO₄)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	a	4,19	3,52	0,53	2,33	3,00	4,13	3,74
	% Değişim	0	-15,99	-87,35	-44,39	-28,40	-1,43	-10,73
	Değişim Hızı	0	-3,19	-8,73	-2,95	-1,42	-0,05	-0,35
Hazar Bej	a	3,94	3,62	2,55	3,24	3,76	3,7	3,77
	% Değişim	0	-8,12	-35,27	-17,76	-4,56	-6,09	-4,31
	Değişim Hızı	0	-1,62	-3,52	-1,18	-0,22	-0,24	-0,14
Malatya Kayısı	a	3,24	3,43	3,00	3,42	3,37	3,49	3,81
	% Değişim	0	5,86	-7,40	5,55	4,01	7,71	17,59
	Değişim Hızı	0	1,17	-0,74	0,37	0,20	0,30	0,58
Petrol Yeşili	a	-0,5	-0,5	-0,91	-0,5	-0,81	-0,25	-0,35
	% Değişim	0	0	82	0	62	-50	-30
	Değişim Hızı	0	0	8,2	0	3,1	-2	-1



Şekil 4.23. a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri 2.grup (MgSO₄)

Çizelge 4.31 ve Şekil 4.23 incelendiğinde; Hazar Bej ve Malatya Kayısı örneklerinde a değeri değişimlerinin döngüler boyunca dar bir alanda değiştiği görülmektedir. Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinde ise özellikle 2.periyot sonunda a değeri keskin bir düşüş göstermiş ve 3.periyot sonunda tekrar artmıştır. Döngülerin sonunda Elazığ Vişne ve Hazar Bej örneklerinde a değerlerinde azalma (yeşillenme), Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili örneklerinde ise a değerlerinde artma (kırmızılaşma) meydana gelmiştir.

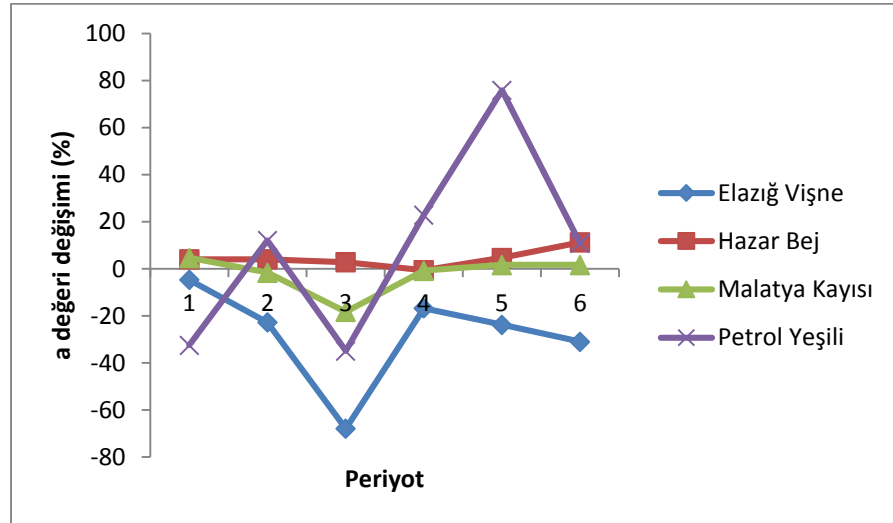
Çizelge 4.31’de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; Malatya Kayısı mermerinin 1.periyotta orta değişim hızı, Petrol Yeşili mermerinin ise 3. ve 4.periyotlarda orta değişim hızına sahip olduğu, diğer tüm periyotlarda mermerlerin düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir.

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

BaCl₂ tuzu ile yapılan döngüler sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait a değerlerindeki (yeşillik-kırmızılık; $a < 0 \rightarrow$ yeşil, $a > 0 \rightarrow$ kırmızı) % değişimler Eşitlik (3.11)’e, değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre hesaplanarak Çizelge 4.32’de, a değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.32. a (yeşillik-kırmızılık) değişim değerleri 3.grup (BaCl₂)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	a	3,87	3,69	2,99	1,24	3,22	2,95	2,67
	% Değişim	0	-4,65	-22,79	-67,95	-16,79	-23,77	-31,00
	Değişim Hızı	0	-0,93	-2,27	-4,53	-0,83	-0,95	-1,03
Hazar Bej	a	3,21	3,34	3,34	3,3	3,19	3,36	3,57
	% Değişim	0	4,04	4,04	2,80	-0,62	4,67	11,21
	Değişim Hızı	0	0,80	0,40	0,18	-0,03	0,18	0,37
Malatya Kayısı	a	3,66	3,83	3,60	2,99	3,63	3,72	3,72
	% Değişim	0	4,64	-1,63	-18,30	-0,81	1,63	1,63
	Değişim Hızı	0	0,92	-0,16	-1,22	-0,04	0,06	0,05
Petrol Yeşili	a	-0,83	-0,56	-0,93	-0,54	-1,02	-1,46	-0,92
	% Değişim	0	-32,53	12,04	-34,93	22,89	75,90	10,84
	Değişim Hızı	0	-6,50	1,20	-2,32	1,14	3,03	0,36



Şekil 4.24. a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri 3.grup (BaCl₂)

Çizelge 4.32 ve Şekil 4.24 incelendiğinde; periyotlar boyunca mermerlerden sadece Hazar Bej örneğinin a değerinin dar bir alanda ufak dalgalanmalar şeklinde değişim gösterdiği görülmektedir. Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili mermerlerinin a değerlerinin 3.periyot sonunda keskin bir düşüş gösterdiği daha sonra ise arttığı görülmektedir. Malatya Kayısı örneğinde ise a değeri periyotlar boyunca geniş bir alanda dalgalı bir değişim sergilemiştir. Döngüler sonunda koyu renkli olan Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinin a değeri azalırken (yeşillenme), Malatya Kayısı ve Hazar Bej örneklerinin ise a değerlerinde artma (kırmızılaşma) olduğu görülmektedir.

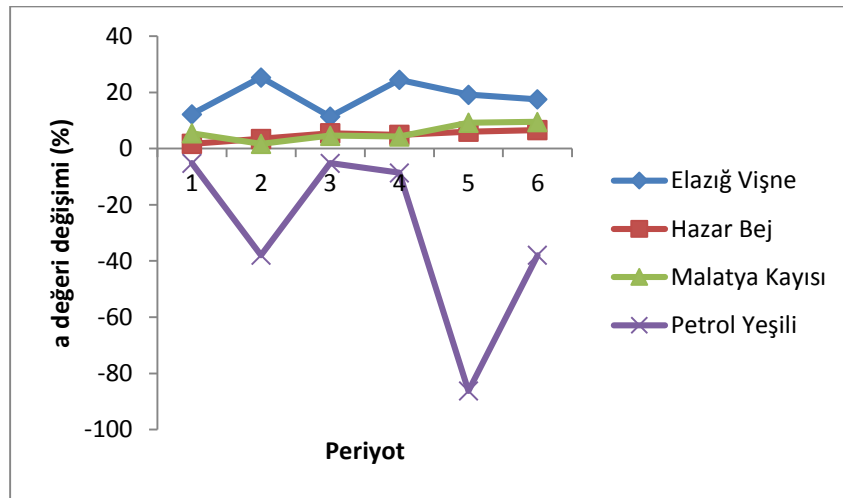
Çizelge 4.32’de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; Petrol Yeşili mermerinin 2.4.5.periyotlarda orta değişim hızı sergilediği diğer periyotlarda mermer örneklerinin düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir.

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

NaClO tuzu ile yapılan döngüler sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait a değerlerindeki (yeşillik-kırmızılık; $a < 0 \rightarrow$ yeşil, $a > 0 \rightarrow$ kırmızı) % değişimler Eşitlik (3.11)’e, değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre hesaplanarak Çizelge 4.33’te, a değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.25’te verilmiştir.

Çizelge 4.33. a (yeşillik-kırmızılık) değişim değerleri 4.grup (NaClO)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	a	4,74	5,32	5,94	5,28	5,9	5,65	5,57
	% Değişim	0	12,23	25,31	11,39	24,47	19,19	17,51
	Değişim Hızı	0	2,44	2,53	0,75	1,22	0,76	0,58
Hazar Bej	a	3,49	3,55	3,61	3,68	3,66	3,70	3,72
	% Değişim	0	1,71	3,43	5,44	4,87	6,01	6,59
	Değişim Hızı	0	0,34	0,34	0,36	0,24	0,24	0,21
Malatya Kayısı	a	3,48	3,67	3,54	3,64	3,63	3,80	3,81
	% Değişim	0	5,45	1,72	4,59	4,31	9,19	9,48
	Değişim Hızı	0	1,09	0,17	0,30	0,21	0,36	0,31
Petrol Yeşili	a	-0,58	-0,55	-0,36	-0,55	-0,53	-0,08	-0,36
	% Değişim	0	-5,17	-37,93	-5,17	-8,62	-86,20	-37,93
	Değişim Hızı	0	-1,03	-3,79	-0,34	-0,43	-3,44	-1,26



Şekil 4.25. a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri 4.grup (NaClO)

Çizelge 4.33 ve Şekil 4.25 incelendiğinde; NaClO tuzu ile muamele edilen mermer örneklerinde periyotlar boyunca tüm örneklerin a değerleri değişik oranlarda artmıştır. Döngüler sonunda Malatya Kayısı ve Hazar Bej örneklerinin a değerleri çok dar bir alanda, Elazığ Vişne örneğinin a değeri ise geniş bir alanda dalgalı bir değişim göstermiştir. Petrol Yeşili örneğinin a değeri değişiminin 2. ve 6.periyotlar sonunda daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.33'te yer alan değişim hızları Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; Elazığ Vişne mermerinin 1.2.ve 4.periyotlarda, Malatya Kayısı mermerinin 1.periyotta orta değişim hızı sergilediği, diğer periyotlarda mermerlerin düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir.

4.5.5.4. Toplam a Değişimleri

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri süresince mermer örneklerinde başlangıç-döngü sonunda meydana gelen toplam a değişim değerleri, bu değişimlerin % değerleri Eşitlik (3.11)'e, değişim hızları Eşitlik (3.13)'e göre hesaplanarak Çizelge 4.34'te verilmiştir.

Çizelge 4.34. a değerlerinin toplam değişimleri, değişimlerin % cinsinden miktarları ve değişim hızları

Kimyasal		Elazığ Vişne	Hazar Bej	Malatya Kayısı	Petrol Yeşili
Na₂SO₄.10H₂O	a	0,62	-0,5	-0,09	0,13
	Toplam Değişim (%)	11,76	-13,19	-2,49	-22,81
	Değişim Hızı	0,39	-0,43	-0,08	-0,76
MgSO₄	a	-0,45	-0,17	0,57	0,15
	Toplam Değişim (%)	-10,74	-4,31	17,59	-30
	Değişim Hızı	-0,35	-0,14	0,58	-1
BaCl₂	a	-1,2	0,36	0,06	-0,09
	Toplam Değişim (%)	-31,01	11,21	1,64	10,84
	Değişim Hızı	-1,03	0,37	0,05	0,36
NaClO	a	0,83	0,23	0,33	0,22
	Toplam Değişim (%)	17,51	5,16	8,91	-37,93
	Değişim Hızı	0,58	0,17	0,29	-1,26

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda başlangıç ve döngüler sonunda numune yüzeylerinden ölçülen a (yeşillik-kırmızılık) değerlerinin değişimleri incelendiğinde; Na₂SO₄.10H₂O tuzu ile muamele edilen Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinde artış, Hazar Bej ve Malatya Kayısı örneklerinde azalma olduğu görülmektedir. a değeri artışı renkte kırmızı rengin, azalması ise yeşil rengin arttığı anlamına gelmektedir.

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile muamele edilen koyu renk mermerlerde kırmızılaşma, açık renk mermerlerde ise yeşillenme gelişmiştir.

MgSO_4 tuzu ile muamele edilen Elazığ Vişne ve Hazar Bej mermerinin a değerleri azalırken, Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili mermerlerinin a değerleri artmıştır. Elazığ Vişne ve Hazar Bej örneklerinde yeşillenme, Malatya Kayısı ve Petrol Yeşili örneklerinde kırmızılaşma olmuştur.

BaCl_2 tuzu ile muamele edilen mermer örneklerinden Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinin a değerlerinde azalma, Hazar Bej ve Malatya Kayısı örneklerinin a değerlerinde artma gerçekleşmiştir. Koyu renk mermer örnekleri yeşillenirken, açık renklerde kırmızılaşma olmuştur.

NaClO tuzu ile muamele edilen tüm örneklerde a değerleri artmıştır. Bu da tüm örneklerde kırmızılaşmanın geliştiğini göstermektedir. Bu artış en fazla Petrol Yeşili örneğinde gözlenmiştir.

a değişim hızları incelendiğinde tüm tuzlarla etkileşimde örneklerin a değerlerinin düşük değişim hızına sahip olduğu görülmektedir.

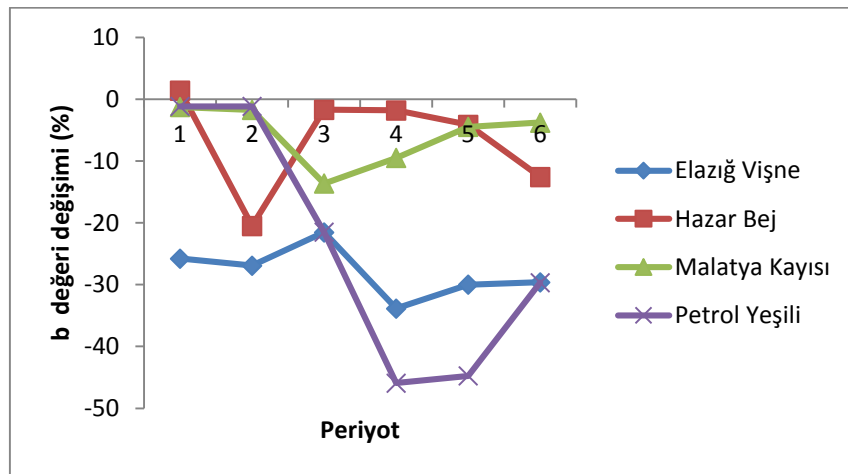
4.5.5.5. b (Mavilik-Sarılık) Değişimleri

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile yapılan döngüler sonucunda örneklerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3.12)'ye, değişim hızları (3.13)'e göre hesaplanmıştır. Mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b (mavilik-sarılık; $b > 0 \rightarrow \text{sarı}$, $b < 0 \rightarrow \text{mavi}$) değerlerinin ortalamaları, bu değerlerdeki yüzde değişimler ve değişim hızları Çizelge 4.35'te, b değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.35. b (mavilik-sarılık) değişim değerleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	b	2,60	1,93	1,90	2,04	1,72	1,82	1,83
	% Değişim	0	-25,76	-26,92	-21,53	-33,84	-30	-29,61
	Değişim Hızı	0	-5,15	-2,69	-1,43	-1,69	-1,2	-0,98
Hazar Bej	b	9,95	10,09	7,91	9,78	9,77	9,54	8,7
	% Değişim	0	1,40	-20,50	-1,70	-1,80	-4,12	-12,56
	Değişim Hızı	0	0,28	-2,05	-0,11	-0,09	-0,16	-0,41
Malatya Kayısı	b	12,76	12,60	12,54	11,02	11,55	12,19	12,28
	% Değişim	0	-1,25	-1,72	-13,62	-9,48	-4,46	-3,7
	Değişim Hızı	0	-0,25	-0,17	-0,90	-0,47	-0,17	-0,12
Petrol Yeşili	b	1,72	1,70	1,70	1,35	0,93	0,95	1,21
	% Değişim	0	-1,16	-1,16	-21,51	-45,93	-44,76	-29,65
	Değişim Hızı	0	-0,23	-0,11	-1,43	-2,29	-1,79	-0,98



Şekil 4.26. b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Çizelge 4.35 ve Şekil 4.26 incelendiğinde; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile muamele edilen mermerlerden Elazığ Vişne ve Malatya Kayısı örneklerinin b değerlerinin dar alanda değiştiği, Hazar Bej ve Petrol Yeşili örneklerinin ise geniş bir alanda dalgalı bir değişim gösterdiği gözlenmiştir. Döngüler sonunda tüm örneklerde b değeri değişik oranlarda azalmış yani örneklerin mavilik değeri artmıştır.

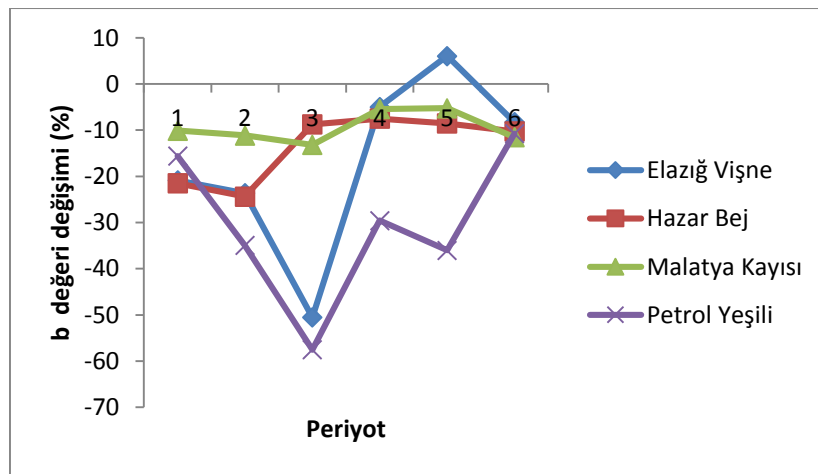
Çizelge 4.35'te yer alan değişim hızları Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; mermer örneklerinin bütün periyotlarda düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir.

MgSO₄ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

MgSO₄ tuzu ile yapılan döngüler sonucunda örneklerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3.12)'ye, değişim hızları (3.13)'e göre hesaplanmıştır. Mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b (mavilik-sarılık; $b > 0 \rightarrow$ sarı, $b < 0 \rightarrow$ mavi) değerlerinin ortalamaları, bu değerlerdeki yüzde değişimler ve değişim hızları Çizelge 4.36'da, b değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.36. b (mavilik-sarılık) değişim değerleri 2.grup (MgSO₄)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	b	1,82	1,44	1,39	0,90	1,73	1,93	1,67
	% Değişim	0	-20,87	-23,62	-50,54	-4,94	6,04	-8,24
	Değişim Hızı	0	-4,17	-2,36	-3,36	-0,24	0,24	-0,27
Hazar Bej	b	10,42	8,18	7,88	9,51	9,64	9,53	9,35
	% Değişim	0	-21,49	-24,37	-8,73	-7,48	-8,54	-10,26
	Değişim Hızı	0	-4,29	-2,43	-0,58	-0,37	-0,34	-0,34
Malatya Kayısı	b	12,59	11,32	11,19	10,93	11,91	11,93	11,14
	% Değişim	0	-10,08	-11,11	-13,18	-5,40	-5,24	-11,51
	Değişim Hızı	0	-2,01	-1,11	-0,87	-0,27	-0,20	-0,38
Petrol Yeşili	b	1,86	1,57	1,21	0,79	1,31	1,19	1,66
	% Değişim	0	-15,59	-34,94	-57,52	-29,56	-36,02	-10,7
	Değişim Hızı	0	-3,11	-3,49	-3,83	-1,47	-1,44	-0,35



Şekil 4.27. b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri 2.grup (MgSO₄)

Çizelge 4.36 ve Şekil 4.27 incelendiğinde; $MgSO_4$ tuzu ile muamele edilen mermerlerden koyu renkli olan Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinin b değerleri döngüler sırasında geniş bir alanda dalgalı değişim sergilemişlerdir. Bu örneklerin değişimi çok dar bir değişim aralığında ufak dalgalanmalar şeklinde gelişmiştir. Açık renkli mermer örnekleri olan Hazar Bej ve Malatya Kayısı örneklerinin ise daha dar aralıkta değişim sergilemiştir. Döngülerin sonunda tüm örneklerin b değerleri değişik oranlarda azalmıştır.

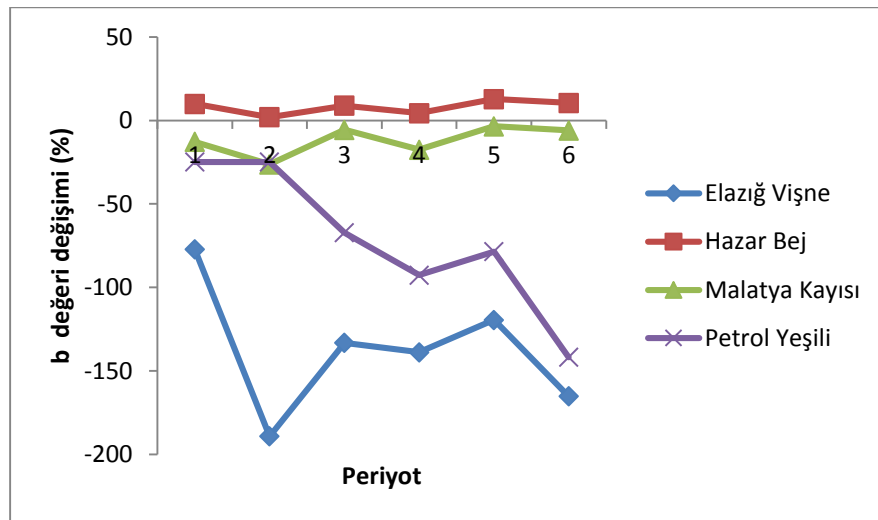
Çizelge 4.36'da yer alan değişim hızları Çizelge 3.1'e göre değerlendirildiğinde; mermer örneklerinin bütün periyotlarda düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir.

$BaCl_2$ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

$BaCl_2$ tuzu ile yapılan döngüler sonucunda örneklerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3.12)'ye, değişim hızları (3.13)'e göre hesaplanmıştır. Mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b (mavilik-sarılık; $b > 0 \rightarrow$ sarı, $b < 0 \rightarrow$ mavi) değerlerinin ortalamaları, bu değerlerdeki yüzde değişimler ve değişim hızları Çizelge 4.37'de, b değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.37. b (mavilik-sarılık) değişim değerleri 3.grup (BaCl₂)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	b	1,75	0,40	-1,56	-0,58	-0,68	-0,34	-1,14
	% Değişim	0	-77,14	-189,1	-133,1	-138,8	-119,4	-165,1
	Değişim Hızı	0	-15,42	-18,91	-8,87	-6,94	-4,77	-5,50
Hazar Bej	b	7,98	8,77	8,14	8,69	8,33	9,00	8,82
	% Değişim	0	9,89	2,00	8,89	4,38	12,78	10,52
	Değişim Hızı	0	1,97	0,20	0,59	0,21	0,51	0,35
Malatya Kayısı	b	12,79	11,16	9,43	12,07	10,56	12,34	12,03
	% Değişim	0	-12,74	-26,27	-5,62	-17,43	-3,51	-5,94
	Değişim Hızı	0	-2,54	-2,62	-0,37	-0,87	-0,14	-0,19
Petrol Yeşili	b	1,77	1,33	1,33	0,58	0,13	0,38	-0,74
	% Değişim	0	-24,85	-24,85	-67,23	-92,65	-78,53	-141,8
	Değişim Hızı	0	-4,97	-2,48	-4,48	-4,63	-3,14	-4,70



Şekil 4.28. b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri 3.grup (BaCl₂)

Çizelge 4.37 ve Şekil 4.28 incelendiğinde; $BaCl_2$ tuzu ile muamele edilen Malatya Kayısı ve Hazar Bej örneklerinin b değerlerinin periyotlar süresince doğrusala yakın bir şekilde ufak değişiklikler sergilediği görülmektedir. Petrol Yeşili ve Elazığ Vişne mermerlerin ise geniş aralıkta dalgalanmalar şeklinde değişim sergilemiştir. Döğülerin sonunda yalnızca Hazar Bej örneğinin b değeri artmış yani sarılaşma oluşmuş, diğer örneklerin b değerleri azalmış yani mavileşme gelişmiştir.

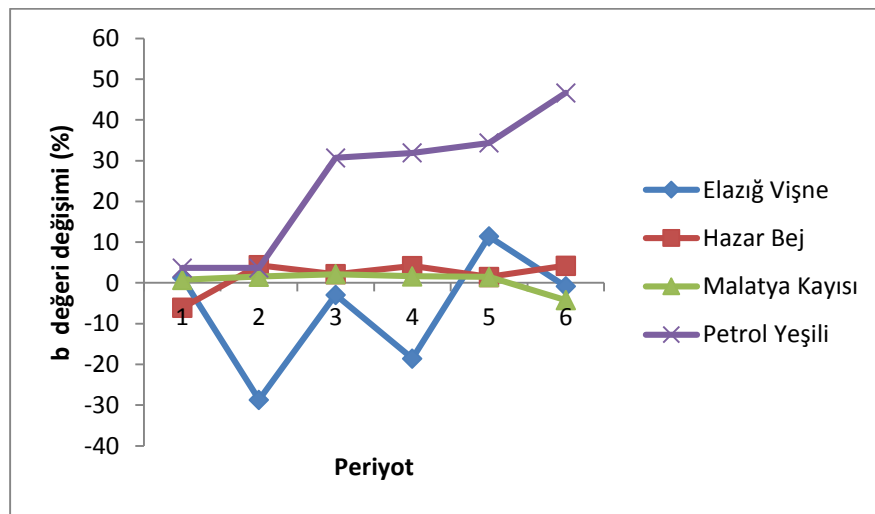
Çizelge 4.37’de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; tüm mermer örneklerinin periyotlar boyunca dalgalı bir seyir sergilediği görülmektedir. Hazar Bej mermerinin 1.periyotta orta değişim hızı sergilediği, mermer örneklerinin diğer bütün periyotlarda düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir.

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

NaClO tuzu ile yapılan döğüler sonucunda örneklerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3.12)’ye göre, değişim hızları (3.13)’e göre hesaplanmıştır. Mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b (mavilik-sarılık; $b > 0 \rightarrow$ sarı, $b < 0 \rightarrow$ mavi) değerlerinin ortalamaları, bu değerlerdeki yüzde değişimler ve değişim hızları Çizelge 4.38’de, b değerlerinin periyotlara göre grafiksel gösterimi Şekil 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.38. b (mavilik-sarılık) değişim değerleri 4.grup (NaClO)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	b	2,37	2,4	1,69	2,30	1,93	2,64	2,35
	% Değişim	0	1,26	-28,69	-2,95	-18,56	11,39	-0,84
	Değişim Hızı	0	0,25	-2,86	-0,19	-0,92	0,45	-0,02
Hazar Bej	b	8,98	8,43	9,37	9,17	9,35	9,11	9,36
	% Değişim	0	-6,12	4,34	2,11	4,12	1,44	4,23
	Değişim Hızı	0	-1,22	0,43	0,14	0,20	0,05	0,14
Malatya Kayısı	b	13,04	13,14	13,24	13,32	13,25	13,23	12,49
	% Değişim	0	0,76	1,53	2,14	1,61	1,45	-4,21
	Değişim Hızı	0	0,15	0,15	0,14	0,08	0,05	-0,14
Petrol Yeşili	b	1,63	1,69	1,69	2,13	2,15	2,19	2,39
	% Değişim	0	3,68	3,68	30,67	31,90	34,35	46,62
	Değişim Hızı	0	0,73	0,36	2,04	1,59	1,37	1,55



Şekil 4.29. b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri 4.grup (NaClO)

Çizelge 4.38 ve Şekil 4.29 incelendiğinde; NaClO tuzu ile muamele edilen Hazar Bej ve Malatya Kayısı örneklerinin b değeri değişiminin çok dar bir aralıkta dalgalanmalar şeklinde geliştiği, Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinin ise dalgalı bir değişim seyri gösterdiği görülmektedir. Döngüler sonunda Elazığ Vişne ve Malatya Kayısı örneklerinin b değerleri azalırken (mavileşme), Hazar Bej ve Petrol Yeşili örneklerinin b değerleri artmıştır (sarılma).

Çizelge 4.38’de yer alan değişim hızları Çizelge 3.1’e göre değerlendirildiğinde; Petrol Yeşili mermerinin ise 3.4.5. ve 6.periyotlarda orta değişim hızı sergilediği, diğer tüm periyotlarda mermerlerin düşük değişim hızı sergiledikleri görülmektedir.

4.5.5.6. Toplam b Değişimleri

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri süresince mermer örneklerinde başlangıç-döngü sonunda meydana gelen toplam b değişim değerleri % Eşitlik (3.12)’ye, değişim hızları Eşitlik (3.13)’e göre hesaplanarak Çizelge 4.39’da verilmiştir.

Çizelge 4.39. b değerlerinin toplam değişimleri, değişimlerin % cinsinden miktarları ve değişim hızları

Kimyasal		Elazığ Vişne	Hazar Bej	Malatya Kayısı	Petrol Yeşili
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	b	-0,77	-1,25	-0,48	-0,51
	Toplam Değişim (%)	-29,62	-12,56	-3,76	-29,65
	Değişim Hızı	-0,98	-0,41	-0,12	-0,98
MgSO_4	b	-0,15	-1,07	-1,45	-0,2
	Toplam Değişim (%)	-8,24	-10,27	-11,52	-10,75
	Değişim Hızı	-0,27	-0,34	-0,38	-0,35
BaCl_2	b	-2,89	0,84	-0,76	-2,51
	Toplam Değişim (%)	-165,14	10,53	-5,94	-141,81
	Değişim Hızı	-5,50	0,35	-0,19	-4,72
NaClO	b	-0,02	0,38	-0,55	0,76
	Toplam Değişim (%)	-0,84	4,23	-4,22	46,63
	Değişim Hızı	-0,02	0,14	-0,14	1,55

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda başlangıç ve döngü sonunda numune yüzeylerinden ölçülen b (mavilik-sarılık) değerlerinin değişimleri incelendiğinde;

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve MgSO_4 tuzları ile yapılan döngülerin sonunda tüm örneklerin b değerlerinin azaldığı görülmektedir. b değerlerinde meydana gelen düşüş örneklerde mavi rengin arttığı anlamına gelmektedir.

Örneklerde gelişen değişimlerin oranları incelendiğinde; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzunun b değerini daha fazla azalttığı bu azalmanın Elazığ Vişne (-%29,62) ve Petrol

Yeşili (%-29,65) örneklerinde daha çok gözlemlendiği görülmektedir. $MgSO_4$ tuzunun b değeri üzerindeki etkisi ise daha düşük olmuştur.

$BaCl_2$ tuzu ile yapılan döngüler sonunda Hazar Bej mermerinin b değerinde artış(sarılaşma) diğer örneklerin b değerinde ise azalmanın geliştiği (mavileşme) görülmektedir. Bu etki koyu renk mermer olan Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinde çok fazla olmuştur.

$NaClO$ tuzu ile yapılan döngüler sonunda Elazığ Vişne ve Malatya Kayısı örneklerinin b değerlerinde azalma (mavileşme), Hazar Bej ve Petrol Yeşili örneklerinin b değerlerinde artma (sarılaşma) olduğu görülmektedir. Bu değişimler oransal olarak ve değişim hızı açısından çok yüksek değerlerde değildir. $NaClO$ tuzu örneklerde b değerini etkileme potansiyeli bakımından en az etki yaratan kimyasal olmuştur.

4.5.5.7. Toplam Renk Değişimleri (ΔE)

$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ tuzu ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda Eşitlik (3.7) kullanılarak toplam renk değişim değerleri, Eşitlik (3.13) kullanılarak renk değişim hızları hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.40'ta verilmiştir.

Çizelge 4.40. Renk değişim değerleri (ΔE) 1.grup ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	% değişim	0	27,48	4,41	10,28	15,79	6,99	1,08
	Değişim Hızı	0	5,49	0,44	0,68	0,78	0,27	0,03
Hazar Bej	% değişim	0	1,41	21,77	23,64	2,41	4,00	8,88
	Değişim Hızı	0	0,28	2,17	0,57	0,12	0,16	0,29
Malatya Kayısı	% değişim	0	1,51	0,76	12,13	5,90	6,16	2,61
	Değişim Hızı	0	0,3	0,07	0,8	0,29	0,24	0,08
Petrol Yeşili	% değişim	0	16,21	0,61	20,96	31,15	7,78	27,52
	Değişim Hızı	0	3,24	0,061	1,39	1,55	0,31	0,91

MgSO₄ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

MgSO₄ tuzu ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk değişim değerlerinin yüzdeleri ve değişim hızları Çizelge 4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.41. Renk değişim değerleri (ΔE) 2.grup ($MgSO_4$)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	% değişim	0	0,97	7,95	1,53	9,64	9,612	0,82
	Değişim Hızı	0	0,19	0,79	0,10	0,48	0,38	0,02
Hazar Bej	% değişim	0	0,69	1,31	1,39	0,53	0,66	1,04
	Değişim Hızı	0	0,13	0,13	0,09	0,02	0,02	0,03
Malatya Kayısı	% değişim	0	0,95	0,1	0,103	1,53	0,95	0,68
	Değişim Hızı	0	0,19	0,01	0,006	0,07	0,03	0,02
Petrol Yeşili	% değişim	0	4,53	44,96	0,03	24,11	9,15	5,49
	Değişim Hızı	0	0,9	4,49	0,002	1,20	0,36	0,18

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

BaCl₂ tuzu ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk değişim değerlerinin yüzdeleri ve değişim hızları Çizelge 4.42’de verilmiştir.

Çizelge 4.42. Renk değişim değerleri (ΔE) 3.grup ($BaCl_2$)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	% değişim	0	3,07	25,69	25,47	3,82	4,49	7,43
	Değişim Hızı	0	0,61	2,56	1,69	0,19	0,17	0,24
Hazar Bej	% değişim	0	0,17	0,04	0,63	2,99	2,88	1,03
	Değişim Hızı	0	0,03	0,004	0,04	0,14	0,11	0,03
Malatya Kayısı	% değişim	0	0,35	1,84	1,67	0	0,05	0,66
	Değişim Hızı	0	0,07	0,18	0,11	0	0,002	0,02
Petrol Yeşili	% değişim	0	7,16	3,79	5,5	1,91	0,72	6,24
	Değişim Hızı	0	1,43	0,37	0,36	0,09	0,02	0,20

NaClO ile yapılan tuz kristallenmesi döngülerinin sonuçları

NaClO tuzu ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda mermer örneklerinin yüzeylerinden alınan renk değişim değerlerinin yüzdeleri ve değişim hızları Çizelge 4.43'te verilmiştir.

Çizelge 4.43. Renk değişim değerleri (ΔE) 4.grup (NaClO)

		Doğal Durum	1. Periyot Sonu	2. Periyot Sonu	3. Periyot Sonu	4. Periyot Sonu	5. Periyot Sonu	6. Periyot Sonu
Elazığ Vişne	% değişim	0	4,25	0,79	5,25	0,54	5,81	2,63
	Değişim Hızı	0	0,85	0,07	0,35	0,02	0,23	0,08
Hazar Bej	% değişim	0	0,93	0,08	0,08	0,43	0,63	0,01
	Değişim Hızı	0	0,18	0,008	0,005	0,02	0,02	0,00
Malatya Kayısı	% değişim	0	0,18	0,11	0,18	0,21	0,14	0,03
	Değişim Hızı	0	0,03	0,01	0,01	0,01	0,005	0,001
Petrol Yeşili	% değişim	0	0,16	2,61	2,82	1,83	7,64	5,68
	Değişim Hızı	0	0,03	0,26	0,18	0,09	0,30	0,18

Çizelge 4.40-4.43 incelendiğinde $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4 , BaCl_2 ve NaClO ile muamele edilen örneklerde periyotlar boyunca değişik oranlarda renk değişimlerinin olduğu görülmektedir. Bu değişim en çok $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile muamele edilen örneklerde gözlemlenmiştir.

4.5.5.8. Döngüler Sonucunda Elde Edilen Toplam Renk Değişimleri (ΔE)

Yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonunda mermer örneklerinde başlangıç-döngü sonunda meydana gelen toplam E değişim değerleri (ΔE) Eşitlik (3.7)'e göre hesaplanarak Çizelge 4.44'te verilmiştir.

Çizelge 4.44. Başlangıç ve döngü sonunda gelişen toplam renk değişim değerleri (ΔE)

Kimyasal		Elazığ Vişne	Hazar Bej	Malatya Kayısı	Petrol Yeşili
Na₂SO₄.10H₂O	Toplam Değişim (ΔE)	11,34	7,14	2,41	0,90
MgSO₄	Toplam Değişim (ΔE)	2,11	1,66	1,60	3,54
BaCl₂	Toplam Değişim (ΔE)	6,24	0,84	0,66	4,74
NaClO	Toplam Değişim (ΔE)	2,76	0,39	0,87	0,76

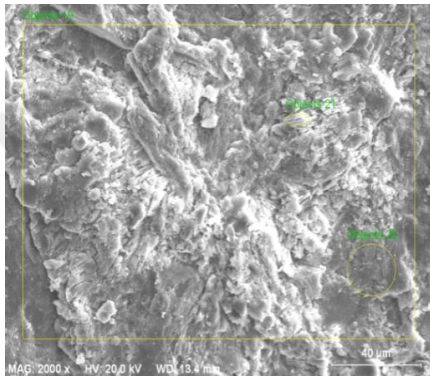
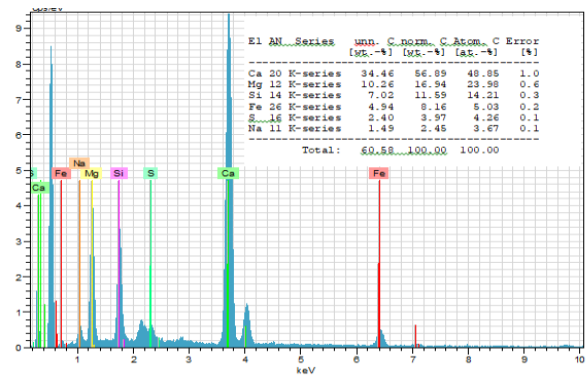
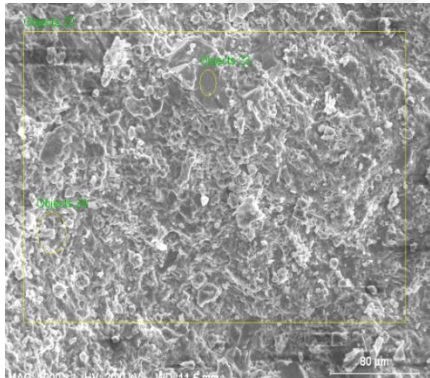
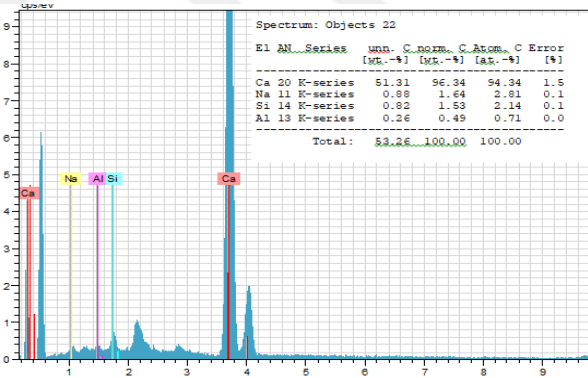
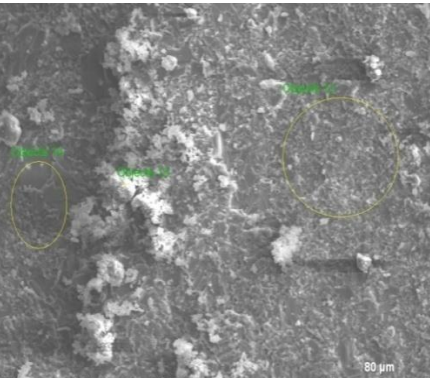
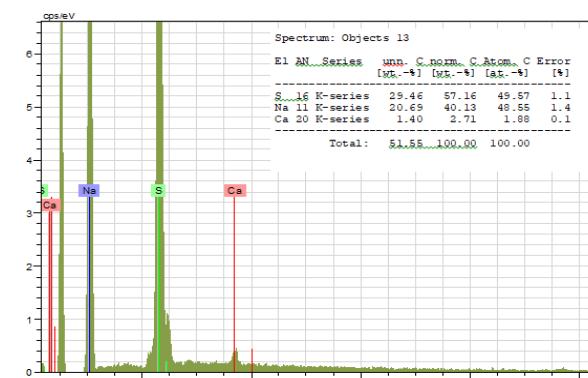
Çizelge 4.44 incelendiğinde; dört farklı tuz ile muamele edilen mermer örneklerinin hepsinde değişen oranlarda renk değişimlerinin meydana geldiği görülmektedir. Renk değişiminin en fazla gözlemlendiği örnek koyu renge sahip olan Elazığ Vişne mermeridir. Tuzlar içerisinde renk değişimi açısından en büyük etkiyi yaratan Na₂SO₄.10H₂O olmuştur.

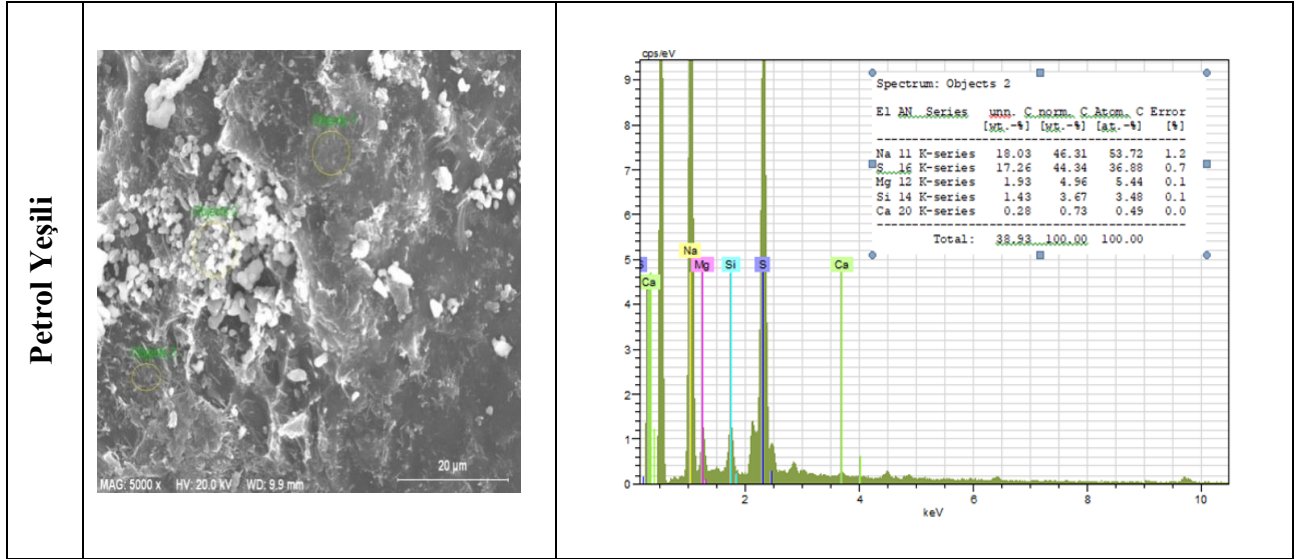
4.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) Analizleri Sonuçları

Mermer örneklerinde tuz kristalizasyonu sonucunda gelişen ayrışma mekanizmaları ve oluşan kristalleşmeler SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve elementer analiz EDX ile belirlenmiştir. İnönü Üniversitesi Bilimsel Teknolojik Araştırma Merkezi Fizik Laboratuvarında LEO Marka EVO40 model SEM cihazı ve Bruker Marka 125 elektronvolt EDX cihazı ile yaptırılan analizlere ait sonuçlar Şekil 4.30-4.33'te verilmiştir.

Na₂SO₄.10H₂O Kristallenmeleri

Na₂SO₄.10H₂O tuzu ile yapılan tuz kristallenmeleri döngüleri neticesinde mermer örneklerinde sülfat kristallenmeleri oluşumları net olarak gözlemlenmiştir. Bu oluşumlara ait SEM görüntüleri ve tuz oluşumlarının elemental bileşimini belirlemek için yapılan EDX analizleri sonuçları Şekil 4.31'de verilmiştir.

	SEM GÖRÜNTÜSÜ	EDX SONUCU																																													
Elazığ Vişne		 <table><tr><th>El AN...Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[keV-1]</th><th>[keV-1]</th><th>[ak-1]</th><th>[ak-1]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>34.46</td><td>56.89</td><td>48.85</td><td>1.0</td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>10.26</td><td>16.94</td><td>23.99</td><td>0.6</td></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>7.02</td><td>11.55</td><td>14.21</td><td>0.3</td></tr><tr><td>Fe 26 K-series</td><td>4.94</td><td>8.16</td><td>5.03</td><td>0.2</td></tr><tr><td>S...16 K-series</td><td>2.40</td><td>3.97</td><td>4.26</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Na 11 K-series</td><td>1.45</td><td>2.45</td><td>3.67</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Total:</td><td>60.58</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN...Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[keV-1]	[keV-1]	[ak-1]	[ak-1]	[%]	Ca 20 K-series	34.46	56.89	48.85	1.0	Mg 12 K-series	10.26	16.94	23.99	0.6	Si 14 K-series	7.02	11.55	14.21	0.3	Fe 26 K-series	4.94	8.16	5.03	0.2	S...16 K-series	2.40	3.97	4.26	0.1	Na 11 K-series	1.45	2.45	3.67	0.1	Total:	60.58	100.00	100.00	
El AN...Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																											
[keV-1]	[keV-1]	[ak-1]	[ak-1]	[%]																																											
Ca 20 K-series	34.46	56.89	48.85	1.0																																											
Mg 12 K-series	10.26	16.94	23.99	0.6																																											
Si 14 K-series	7.02	11.55	14.21	0.3																																											
Fe 26 K-series	4.94	8.16	5.03	0.2																																											
S...16 K-series	2.40	3.97	4.26	0.1																																											
Na 11 K-series	1.45	2.45	3.67	0.1																																											
Total:	60.58	100.00	100.00																																												
Hazar Bej		 <table><tr><th>El AN...Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[keV-1]</th><th>[keV-1]</th><th>[ak-1]</th><th>[ak-1]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>51.31</td><td>96.34</td><td>94.34</td><td>1.5</td></tr><tr><td>Na 11 K-series</td><td>0.88</td><td>1.64</td><td>2.61</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>0.82</td><td>1.53</td><td>2.14</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Al 13 K-series</td><td>0.26</td><td>0.49</td><td>0.71</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Total:</td><td>53.26</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN...Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[keV-1]	[keV-1]	[ak-1]	[ak-1]	[%]	Ca 20 K-series	51.31	96.34	94.34	1.5	Na 11 K-series	0.88	1.64	2.61	0.1	Si 14 K-series	0.82	1.53	2.14	0.1	Al 13 K-series	0.26	0.49	0.71	0.0	Total:	53.26	100.00	100.00											
El AN...Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																											
[keV-1]	[keV-1]	[ak-1]	[ak-1]	[%]																																											
Ca 20 K-series	51.31	96.34	94.34	1.5																																											
Na 11 K-series	0.88	1.64	2.61	0.1																																											
Si 14 K-series	0.82	1.53	2.14	0.1																																											
Al 13 K-series	0.26	0.49	0.71	0.0																																											
Total:	53.26	100.00	100.00																																												
Malatya Kayısı		 <table><tr><th>El AN...Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[keV-1]</th><th>[keV-1]</th><th>[ak-1]</th><th>[ak-1]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>S...16 K-series</td><td>29.46</td><td>57.16</td><td>49.57</td><td>1.1</td></tr><tr><td>Na 11 K-series</td><td>20.69</td><td>40.13</td><td>48.55</td><td>1.4</td></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>1.40</td><td>2.71</td><td>1.88</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Total:</td><td>51.55</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN...Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[keV-1]	[keV-1]	[ak-1]	[ak-1]	[%]	S...16 K-series	29.46	57.16	49.57	1.1	Na 11 K-series	20.69	40.13	48.55	1.4	Ca 20 K-series	1.40	2.71	1.88	0.1	Total:	51.55	100.00	100.00																
El AN...Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																											
[keV-1]	[keV-1]	[ak-1]	[ak-1]	[%]																																											
S...16 K-series	29.46	57.16	49.57	1.1																																											
Na 11 K-series	20.69	40.13	48.55	1.4																																											
Ca 20 K-series	1.40	2.71	1.88	0.1																																											
Total:	51.55	100.00	100.00																																												

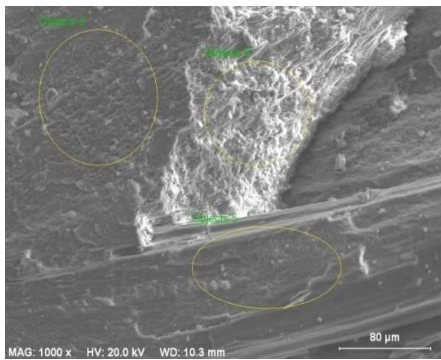
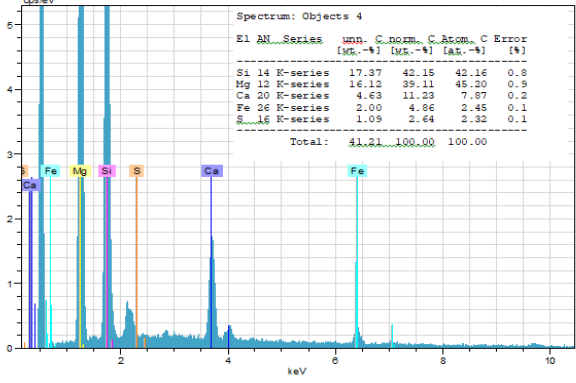
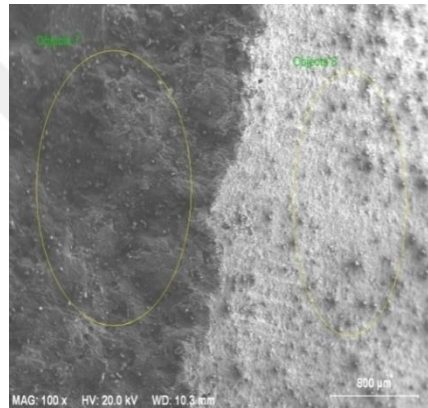
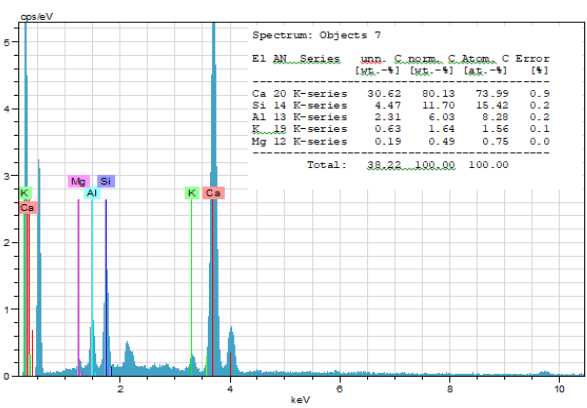
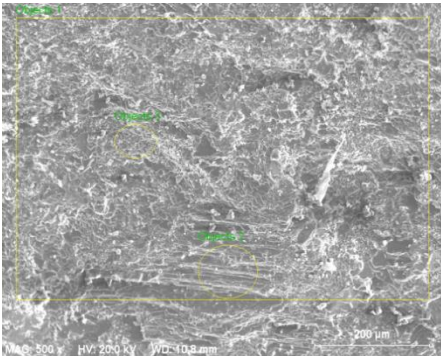
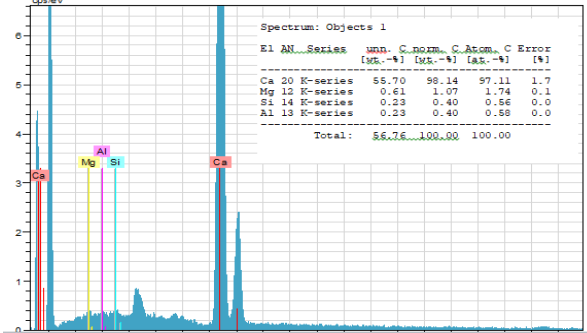
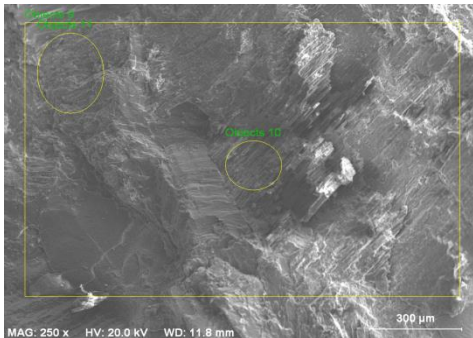
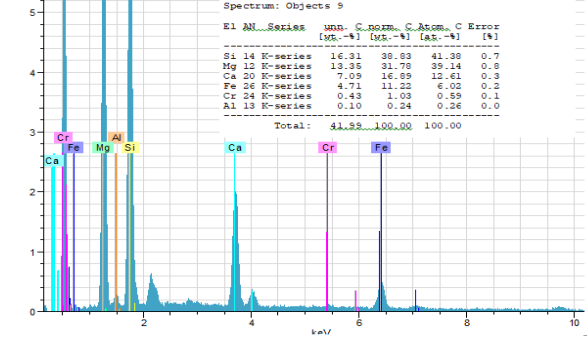


Şekil 4.30. Mermerlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Mermer örneklerinde yaptırılan SEM ve EDX analizi sonuçlarına bakıldığında $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzunun krsitallenmesinin en fazla Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili mermerlerinde en düşük oranda da Hazar Bej mermerinde gerçekleştiği görülmektedir.

MgSO_4 Kristallenmeleri

MgSO_4 tuzu ile yapılan tuz kristallenmeleri döngüleri neticesinde mermer örneklerinde gelişen kristal oluşumlarına ait SEM görüntüleri ve tuz oluşumlarının elementel bileşimini belirlemek için yapılan EDX analizleri sonuçları Şekil 4.32’de verilmiştir.

	SEM GÖRÜNTÜSÜ	EDX SONUCU																																													
Elazığ Vişne		 <table><tr><th>El AN_Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[wt.-%]</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>17.37</td><td>42.15</td><td>42.16</td><td>0.8</td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>16.12</td><td>39.11</td><td>45.20</td><td>0.9</td></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>4.63</td><td>11.23</td><td>7.87</td><td>0.2</td></tr><tr><td>Fe 26 K-series</td><td>2.00</td><td>4.86</td><td>2.45</td><td>0.1</td></tr><tr><td>S 16 K-series</td><td>1.09</td><td>2.64</td><td>2.32</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Total:</td><td>41.21</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]	Si 14 K-series	17.37	42.15	42.16	0.8	Mg 12 K-series	16.12	39.11	45.20	0.9	Ca 20 K-series	4.63	11.23	7.87	0.2	Fe 26 K-series	2.00	4.86	2.45	0.1	S 16 K-series	1.09	2.64	2.32	0.1	Total:	41.21	100.00	100.00						
El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																											
[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]																																											
Si 14 K-series	17.37	42.15	42.16	0.8																																											
Mg 12 K-series	16.12	39.11	45.20	0.9																																											
Ca 20 K-series	4.63	11.23	7.87	0.2																																											
Fe 26 K-series	2.00	4.86	2.45	0.1																																											
S 16 K-series	1.09	2.64	2.32	0.1																																											
Total:	41.21	100.00	100.00																																												
Hazar Bej		 <table><tr><th>El AN_Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[wt.-%]</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>30.62</td><td>80.13</td><td>73.59</td><td>0.9</td></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>4.47</td><td>11.70</td><td>15.42</td><td>0.2</td></tr><tr><td>Al 13 K-series</td><td>2.31</td><td>6.03</td><td>8.28</td><td>0.2</td></tr><tr><td>K 19 K-series</td><td>0.63</td><td>1.64</td><td>1.56</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>0.19</td><td>0.49</td><td>0.75</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Total:</td><td>38.22</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]	Ca 20 K-series	30.62	80.13	73.59	0.9	Si 14 K-series	4.47	11.70	15.42	0.2	Al 13 K-series	2.31	6.03	8.28	0.2	K 19 K-series	0.63	1.64	1.56	0.1	Mg 12 K-series	0.19	0.49	0.75	0.0	Total:	38.22	100.00	100.00						
El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																											
[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]																																											
Ca 20 K-series	30.62	80.13	73.59	0.9																																											
Si 14 K-series	4.47	11.70	15.42	0.2																																											
Al 13 K-series	2.31	6.03	8.28	0.2																																											
K 19 K-series	0.63	1.64	1.56	0.1																																											
Mg 12 K-series	0.19	0.49	0.75	0.0																																											
Total:	38.22	100.00	100.00																																												
Malatya Kayısı		 <table><tr><th>El AN_Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[wt.-%]</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>55.70</td><td>98.14</td><td>97.11</td><td>1.7</td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>0.61</td><td>1.07</td><td>1.74</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>0.23</td><td>0.40</td><td>0.56</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Al 13 K-series</td><td>0.23</td><td>0.40</td><td>0.58</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Total:</td><td>56.76</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]	Ca 20 K-series	55.70	98.14	97.11	1.7	Mg 12 K-series	0.61	1.07	1.74	0.1	Si 14 K-series	0.23	0.40	0.56	0.0	Al 13 K-series	0.23	0.40	0.58	0.0	Total:	56.76	100.00	100.00											
El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																											
[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]																																											
Ca 20 K-series	55.70	98.14	97.11	1.7																																											
Mg 12 K-series	0.61	1.07	1.74	0.1																																											
Si 14 K-series	0.23	0.40	0.56	0.0																																											
Al 13 K-series	0.23	0.40	0.58	0.0																																											
Total:	56.76	100.00	100.00																																												
Petrol Yeşili		 <table><tr><th>El AN_Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[wt.-%]</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>14.31</td><td>38.83</td><td>41.38</td><td>0.7</td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>13.35</td><td>31.79</td><td>35.14</td><td>0.8</td></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>7.09</td><td>16.89</td><td>12.61</td><td>0.3</td></tr><tr><td>Fe 26 K-series</td><td>4.71</td><td>11.22</td><td>6.02</td><td>0.2</td></tr><tr><td>Cr 24 K-series</td><td>0.43</td><td>1.03</td><td>0.59</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Al 13 K-series</td><td>0.10</td><td>0.24</td><td>0.26</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Total:</td><td>41.55</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]	Si 14 K-series	14.31	38.83	41.38	0.7	Mg 12 K-series	13.35	31.79	35.14	0.8	Ca 20 K-series	7.09	16.89	12.61	0.3	Fe 26 K-series	4.71	11.22	6.02	0.2	Cr 24 K-series	0.43	1.03	0.59	0.1	Al 13 K-series	0.10	0.24	0.26	0.0	Total:	41.55	100.00	100.00	
El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																											
[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]																																											
Si 14 K-series	14.31	38.83	41.38	0.7																																											
Mg 12 K-series	13.35	31.79	35.14	0.8																																											
Ca 20 K-series	7.09	16.89	12.61	0.3																																											
Fe 26 K-series	4.71	11.22	6.02	0.2																																											
Cr 24 K-series	0.43	1.03	0.59	0.1																																											
Al 13 K-series	0.10	0.24	0.26	0.0																																											
Total:	41.55	100.00	100.00																																												

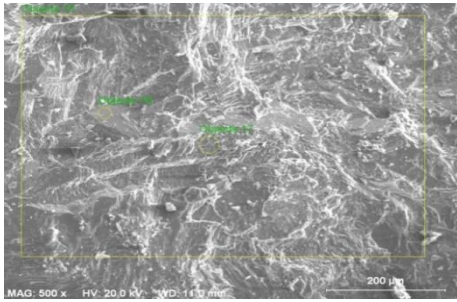
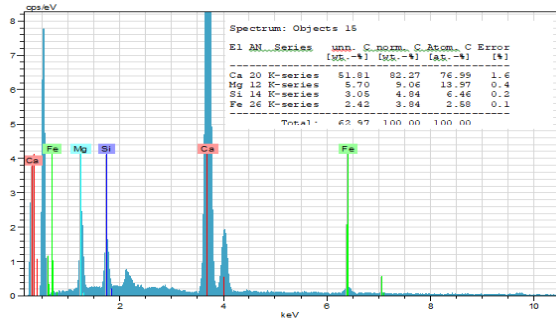
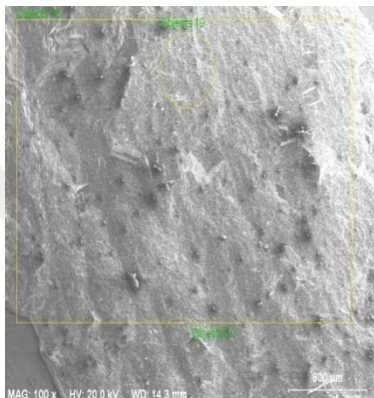
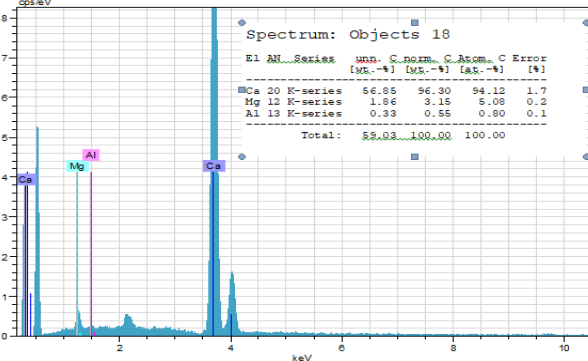
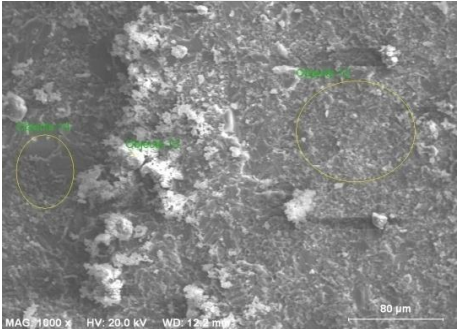
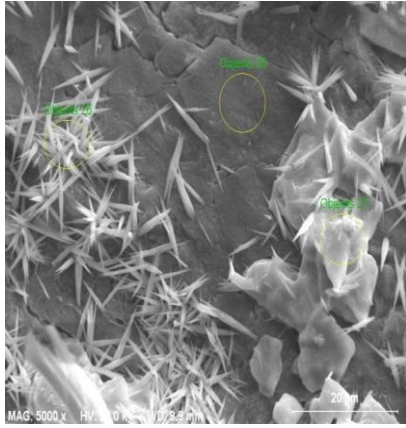
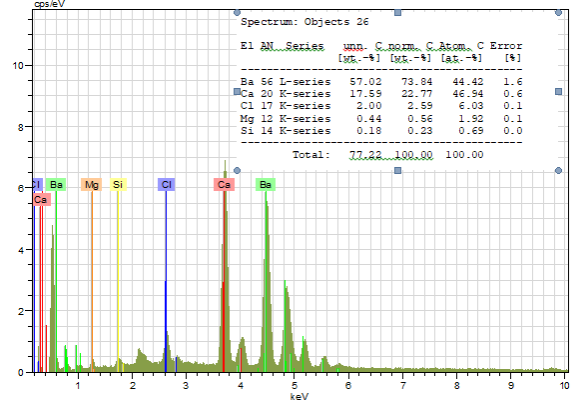
Şekil 4.31. Mermerlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları (MgSO₄)

MgSO₄ ile yapılan tuz kristallenmesi döngüleri neticesinde oluşan kristallenmeler tüm mermer örneklerinde çok net şekilde gözlemlenememiştir. Kristallenmelerin en net şekilde gözlemlendiği örnekler Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örnekleri olmuştur.

BaCl₂ Kristallenmeleri

BaCl₂ tuzu ile yapılan tuz kristallenmeleri döngüleri neticesinde mermer örneklerinde gelişen kristal oluşumlarına ait SEM görüntüleri ve tuz oluşumlarının elementel bileşimini belirlemek için yapılan EDX analizleri sonuçları Şekil 4.33’de verilmiştir.



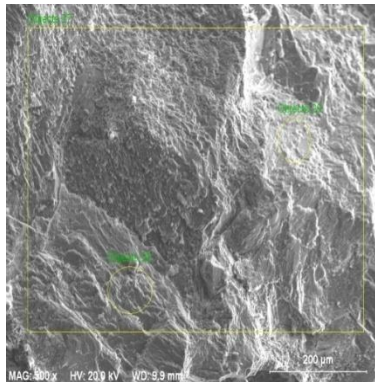
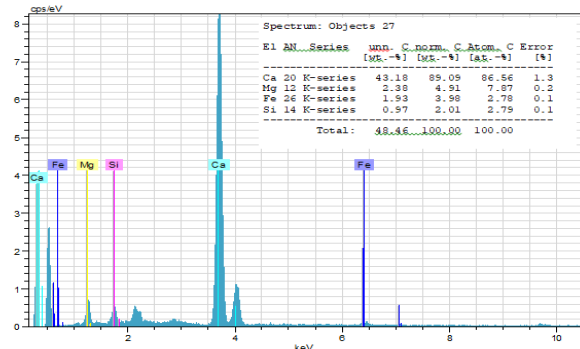
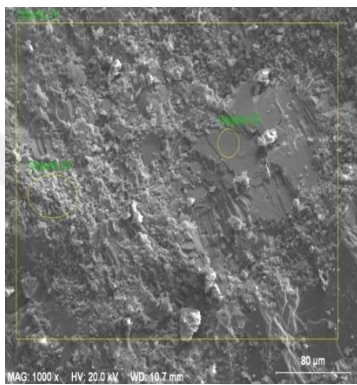
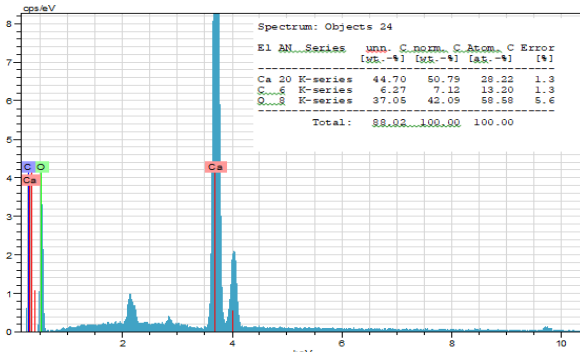
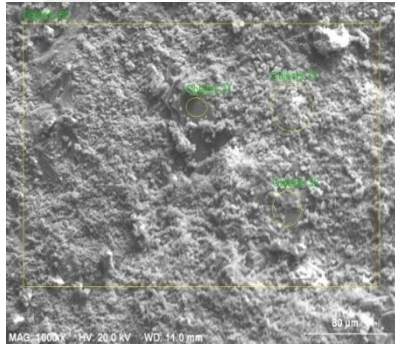
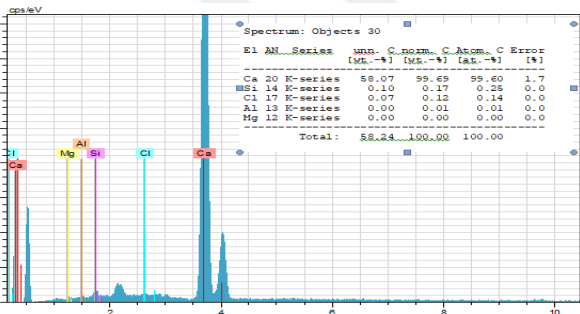
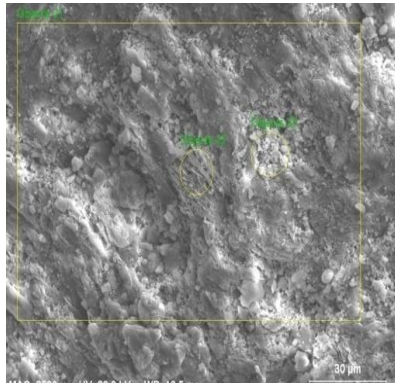
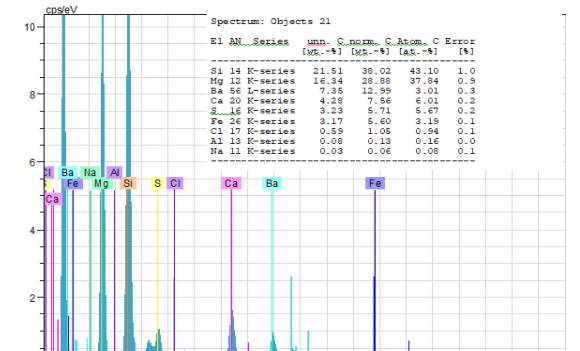
	SEM GÖRÜNTÜSÜ	EDX SONUCU																																																								
Elazığ Vişne		 <table><tr><th>El AN_Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>51.91</td><td>82.37</td><td>76.99</td><td>1.6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>5.70</td><td>9.06</td><td>19.97</td><td>0.4</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>3.05</td><td>4.94</td><td>6.46</td><td>0.2</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Fe 26 K-series</td><td>2.42</td><td>3.84</td><td>2.58</td><td>0.1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Total</td><td>62.97</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[at.-%]	[%]	Ca 20 K-series	51.91	82.37	76.99	1.6				Mg 12 K-series	5.70	9.06	19.97	0.4				Si 14 K-series	3.05	4.94	6.46	0.2				Fe 26 K-series	2.42	3.84	2.58	0.1				Total	62.97	100.00	100.00												
El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[at.-%]	[%]																																																			
Ca 20 K-series	51.91	82.37	76.99	1.6																																																						
Mg 12 K-series	5.70	9.06	19.97	0.4																																																						
Si 14 K-series	3.05	4.94	6.46	0.2																																																						
Fe 26 K-series	2.42	3.84	2.58	0.1																																																						
Total	62.97	100.00	100.00																																																							
Hazar Bej		 <table><tr><th>El AN_Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>56.85</td><td>56.30</td><td>54.12</td><td>1.7</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>1.86</td><td>3.15</td><td>5.08</td><td>0.2</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Al 13 K-series</td><td>0.33</td><td>0.55</td><td>0.80</td><td>0.1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Total</td><td>59.03</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[at.-%]	[%]	Ca 20 K-series	56.85	56.30	54.12	1.7				Mg 12 K-series	1.86	3.15	5.08	0.2				Al 13 K-series	0.33	0.55	0.80	0.1				Total	59.03	100.00	100.00																				
El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[at.-%]	[%]																																																			
Ca 20 K-series	56.85	56.30	54.12	1.7																																																						
Mg 12 K-series	1.86	3.15	5.08	0.2																																																						
Al 13 K-series	0.33	0.55	0.80	0.1																																																						
Total	59.03	100.00	100.00																																																							
Malatya Kayısı		 <table><tr><th>El AN_Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>61.06</td><td>96.00</td><td>94.01</td><td>1.8</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Na 11 K-series</td><td>1.44</td><td>2.27</td><td>3.87</td><td>0.1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>S 16 K-series</td><td>1.10</td><td>1.73</td><td>2.12</td><td>0.1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Total</td><td>63.60</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[at.-%]	[%]	Ca 20 K-series	61.06	96.00	94.01	1.8				Na 11 K-series	1.44	2.27	3.87	0.1				S 16 K-series	1.10	1.73	2.12	0.1				Total	63.60	100.00	100.00																				
El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[at.-%]	[%]																																																			
Ca 20 K-series	61.06	96.00	94.01	1.8																																																						
Na 11 K-series	1.44	2.27	3.87	0.1																																																						
S 16 K-series	1.10	1.73	2.12	0.1																																																						
Total	63.60	100.00	100.00																																																							
Petrol Yeşili		 <table><tr><th>El AN_Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ba 56 L-series</td><td>57.02</td><td>73.84</td><td>44.42</td><td>1.6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>17.55</td><td>22.77</td><td>46.94</td><td>0.6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Cl 17 K-series</td><td>2.00</td><td>2.59</td><td>6.03</td><td>0.1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>0.44</td><td>0.56</td><td>1.92</td><td>0.1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>0.18</td><td>0.23</td><td>0.69</td><td>0.0</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Total</td><td>77.22</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[at.-%]	[%]	Ba 56 L-series	57.02	73.84	44.42	1.6				Ca 20 K-series	17.55	22.77	46.94	0.6				Cl 17 K-series	2.00	2.59	6.03	0.1				Mg 12 K-series	0.44	0.56	1.92	0.1				Si 14 K-series	0.18	0.23	0.69	0.0				Total	77.22	100.00	100.00				
El AN_Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[at.-%]	[%]																																																			
Ba 56 L-series	57.02	73.84	44.42	1.6																																																						
Ca 20 K-series	17.55	22.77	46.94	0.6																																																						
Cl 17 K-series	2.00	2.59	6.03	0.1																																																						
Mg 12 K-series	0.44	0.56	1.92	0.1																																																						
Si 14 K-series	0.18	0.23	0.69	0.0																																																						
Total	77.22	100.00	100.00																																																							

Şekil 4.32. Mermerlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları (BaCl₂)

BaCl₂ ile yapılan tuz kristallenmeleri neticesinde oluşan tuz kristallenmeleri Petrol Yeşili örneğinde çok net şekilde gözlenmiştir. Kısa prizmatik agregatlar biçiminde oluşan tuz kristalleri mızrak kümeleri ve çiçeklenmeler halinde mermer bünyesinde oluşum göstermiştir. Yapılan EDX analizinde de Ba ve Cl elementlerinin varlığı bu oluşumların varlığını desteklemektedir. Diğer örneklerde Ba ve Cl kristalizasyon emarelerine çok net rastlanamamıştır.

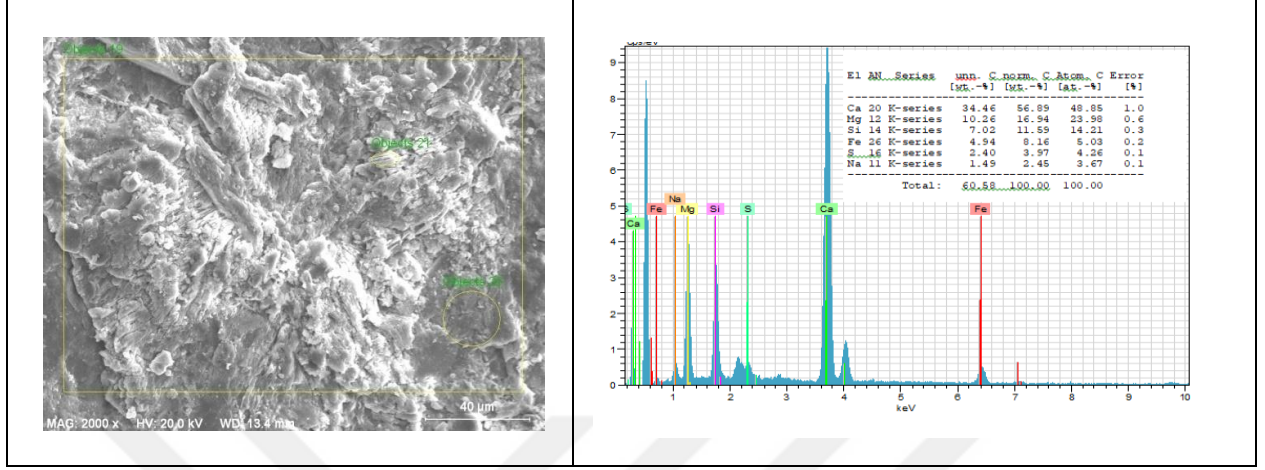
NaClO kristallenmeleri

NaClO tuzu ile yapılan tuz kristallenmeleri döngüleri neticesinde mermer örneklerinde gelişen kristal oluşumlarına ait SEM görüntüleri ve tuz oluşumlarının elementel bileşimini belirlemek için yapılan EDX analizleri sonuçları Şekil 4.34'te verilmiştir.

	SEM GÖRÜNTÜSÜ	EDX SONUCU																																																							
Elazığ Vişne		 <table><tr><th>El AN-Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[wt.-%]</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>43.18</td><td>85.05</td><td>86.56</td><td>1.3</td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>2.38</td><td>4.51</td><td>7.87</td><td>0.2</td></tr><tr><td>Fe 26 K-series</td><td>1.93</td><td>3.88</td><td>2.78</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>0.57</td><td>2.01</td><td>2.75</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Total:</td><td>48.06</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN-Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]	Ca 20 K-series	43.18	85.05	86.56	1.3	Mg 12 K-series	2.38	4.51	7.87	0.2	Fe 26 K-series	1.93	3.88	2.78	0.1	Si 14 K-series	0.57	2.01	2.75	0.1	Total:	48.06	100.00	100.00																					
El AN-Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																																					
[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]																																																					
Ca 20 K-series	43.18	85.05	86.56	1.3																																																					
Mg 12 K-series	2.38	4.51	7.87	0.2																																																					
Fe 26 K-series	1.93	3.88	2.78	0.1																																																					
Si 14 K-series	0.57	2.01	2.75	0.1																																																					
Total:	48.06	100.00	100.00																																																						
Hazar Bej		 <table><tr><th>El AN-Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[wt.-%]</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>44.70</td><td>50.75</td><td>59.22</td><td>1.3</td></tr><tr><td>C 6 K-series</td><td>6.27</td><td>7.12</td><td>13.20</td><td>1.3</td></tr><tr><td>O 8 K-series</td><td>37.05</td><td>42.09</td><td>59.58</td><td>5.6</td></tr><tr><td>Total:</td><td>88.02</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN-Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]	Ca 20 K-series	44.70	50.75	59.22	1.3	C 6 K-series	6.27	7.12	13.20	1.3	O 8 K-series	37.05	42.09	59.58	5.6	Total:	88.02	100.00	100.00																										
El AN-Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																																					
[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]																																																					
Ca 20 K-series	44.70	50.75	59.22	1.3																																																					
C 6 K-series	6.27	7.12	13.20	1.3																																																					
O 8 K-series	37.05	42.09	59.58	5.6																																																					
Total:	88.02	100.00	100.00																																																						
Malatya Kayısı		 <table><tr><th>El AN-Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[wt.-%]</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>58.07</td><td>59.65</td><td>59.60</td><td>1.7</td></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>0.10</td><td>0.17</td><td>0.25</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Cl 17 K-series</td><td>0.07</td><td>0.12</td><td>0.14</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Al 13 K-series</td><td>0.00</td><td>0.01</td><td>0.01</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Total:</td><td>58.24</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td></td></tr></table>	El AN-Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]	Ca 20 K-series	58.07	59.65	59.60	1.7	Si 14 K-series	0.10	0.17	0.25	0.0	Cl 17 K-series	0.07	0.12	0.14	0.0	Al 13 K-series	0.00	0.01	0.01	0.0	Mg 12 K-series	0.00	0.00	0.00	0.0	Total:	58.24	100.00	100.00																
El AN-Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																																					
[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]																																																					
Ca 20 K-series	58.07	59.65	59.60	1.7																																																					
Si 14 K-series	0.10	0.17	0.25	0.0																																																					
Cl 17 K-series	0.07	0.12	0.14	0.0																																																					
Al 13 K-series	0.00	0.01	0.01	0.0																																																					
Mg 12 K-series	0.00	0.00	0.00	0.0																																																					
Total:	58.24	100.00	100.00																																																						
Petrol Yeşili		 <table><tr><th>El AN-Series</th><th>unn.</th><th>C.norm.</th><th>C.Atom.</th><th>C Error</th></tr><tr><th>[wt.-%]</th><th>[wt.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[at.-%]</th><th>[%]</th></tr><tr><td>Si 14 K-series</td><td>21.51</td><td>38.02</td><td>43.10</td><td>1.0</td></tr><tr><td>Mg 12 K-series</td><td>16.34</td><td>28.88</td><td>37.84</td><td>0.9</td></tr><tr><td>Ba 56 L-series</td><td>7.35</td><td>12.95</td><td>3.01</td><td>0.3</td></tr><tr><td>Ca 20 K-series</td><td>4.28</td><td>7.56</td><td>6.01</td><td>0.2</td></tr><tr><td>S 16 K-series</td><td>3.23</td><td>5.71</td><td>5.67</td><td>0.2</td></tr><tr><td>Fe 26 K-series</td><td>3.17</td><td>5.60</td><td>3.19</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Cl 17 K-series</td><td>0.59</td><td>1.05</td><td>0.54</td><td>0.1</td></tr><tr><td>Al 13 K-series</td><td>0.09</td><td>0.13</td><td>0.16</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Na 11 K-series</td><td>0.03</td><td>0.06</td><td>0.09</td><td>0.1</td></tr></table>	El AN-Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error	[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]	Si 14 K-series	21.51	38.02	43.10	1.0	Mg 12 K-series	16.34	28.88	37.84	0.9	Ba 56 L-series	7.35	12.95	3.01	0.3	Ca 20 K-series	4.28	7.56	6.01	0.2	S 16 K-series	3.23	5.71	5.67	0.2	Fe 26 K-series	3.17	5.60	3.19	0.1	Cl 17 K-series	0.59	1.05	0.54	0.1	Al 13 K-series	0.09	0.13	0.16	0.0	Na 11 K-series	0.03	0.06	0.09	0.1
El AN-Series	unn.	C.norm.	C.Atom.	C Error																																																					
[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[at.-%]	[%]																																																					
Si 14 K-series	21.51	38.02	43.10	1.0																																																					
Mg 12 K-series	16.34	28.88	37.84	0.9																																																					
Ba 56 L-series	7.35	12.95	3.01	0.3																																																					
Ca 20 K-series	4.28	7.56	6.01	0.2																																																					
S 16 K-series	3.23	5.71	5.67	0.2																																																					
Fe 26 K-series	3.17	5.60	3.19	0.1																																																					
Cl 17 K-series	0.59	1.05	0.54	0.1																																																					
Al 13 K-series	0.09	0.13	0.16	0.0																																																					
Na 11 K-series	0.03	0.06	0.09	0.1																																																					

Şekil 4.33. Mermerlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları (NaClO)

NaClO ile yapılan tuz kristallenmeleri neticesinde örneklerde çok net olmasada kristallenmelerin olduğu yapılan analizlerden anlaşılmaktadır. En fazla kristalizasyon Malatya Kayısı örneğinde gelişmiştir.



Şekil 4.34. Malatya Kayısı mermerinde gelişen tahribat görüntüsü

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Malatya-Elazığ yörelerinde bulunan ve mermer olarak kullanılan kayalarda atmosferik kirleticilerin yol açtığı tuz kristallenmesinin etkileri incelenmiş ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

5.1. Sonuçlar

- 1- Tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda bütün mermer örneklerinde değişen oranlarda ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Ağırlık kaybının en fazla görüldüğü örnek Petrol Yeşili mermeri olup, en fazla ağırlık kaybına sebep olan kimyasal ise NaClO'dur. Döngüler ilerledikçe Petrol Yeşili örneğinde kohezyon değerinin azalmasına bağlı olarak çatlaklarda genişlemeler, yeni çatlak oluşumları ve koparak ayrılmalar meydana gelmiştir.
- 2- Tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda mermer örneklerinin parlaklıklarında değişimlerin meydana geldiği belirlenmiştir. Değişimin en fazla Hazar Bej mermerinde meydana geldiği ve bu değişime en fazla sebep olan kimyasalın BaCl₂ olduğu belirlenmiştir.
- 3- Tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda mermer örneklerinin renklerindeki L (siyahlık-beyazlık), a (yeşillik-beyazlık), b (mavilik-sarıklık) ve E parametrelerinde değişimler meydana gelmiştir.
- 4- L parametresindeki değişimler incelendiğinde Na₂SO₄.10H₂O tuzunun en büyük etkiyi yarattığı, NaClO tuzunun ise en az etkiyi yaptığı görülmektedir. Buna bağlı olarak mermer örneklerinin yüzey renklerinin L değerindeki artışa bağlı olarak renginin açıldığı, azalışa bağlı olarakta renklerde koyulaşmaların olduğu gözlenmiştir.
- 5- a parametresindeki değişimler incelendiğinde; Na₂SO₄.10H₂O tuzu ile muamele edilen koyu renk mermerlerde kırmızılaşma, açık renk mermerlerde ise yeşillenme gelişmiştir. a değerindeki artışa bağlı olarak NaClO tuzu ile muamele edilen örneklerin tümünde kırmızılaşma, BaCl₂ tuzu ile muamele gören mermerlerden Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinin a değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak mermerlerin renklerinde yeşillenme gelişmiştir.
- 6- b parametresindeki değişimler incelendiğinde; Na₂SO₄.10H₂O ve MgSO₄ tuzları ile yapılan döngülerin sonunda tüm örneklerin b değerlerinin azaldığı

görülmektedir. b değerlerinde meydana gelen düşüş örneklerde mavi rengin artması anlamına gelmektedir.

BaCl₂ tuzu ile yapılan döngüler sonunda koyu renk mermer olan Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinde b değerindeki azalmaya bağlı olarak mavileşmenin daha fazla geliştiği gözlenmiştir. NaClO tuzu ile yapılan döngüler sonunda da Hazar Bej ve Petrol Yeşili örneklerinin b değerlerinde artma (sarılma) olduğu gözlenmiştir. b değeri üzerinde en çok etkili olan tuz koyu renk mermerlerde % 100'ün üzerinde yarattığı değişim ile BaCl₂ olmuştur.

- 7- E parametresindeki toplam değişimler incelendiğinde, mermer örneklerinin hepsinde farklı oranlarda değişimlerin meydana geldiği, bu değişimin en fazla koyu renkli mermer olan Elazığ Vişne mermerinde gerçekleştiği gözlenmektedir. Mermerler üzerinde renk değişimi açısından en fazla etki yapan tuzun Na₂SO₄.10H₂O olduğu belirlenmiştir.
- 8- SEM ve EDX analizlerinin sonuçları incelendiğinde; Na₂SO₄.10H₂O kristallenmelerinde en fazla Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili örneklerinde, en az ise Hazar Bej ve Malatya Kayısı örneklerinde kristalleşmenin gerçekleştiği görülmektedir. MgSO₄ kristallenmesinin çok net gözlenmemiş olmasına rağmen daha çok Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili mermerlerinde olduğu görülmektedir. BaCl₂ kristallenmesinin en net gözlemlendiği mermer Petrol Yeşili örneği olduğu, kısa prizmatik agregatlar şeklinde mızrak kümeleri ve çiçeklenmeler halinde mermer bünyesinde meydana geldiği gözlenmektedir. NaClO kristallenmesinin çok fazla net gözlenmediği, ancak yapılan analizler neticesinde en fazla Malatya Kayısı örneğinde gerçekleştiği gözlenmektedir.

Sonuç olarak; sular içerisinde bulunan çözünebilir tuzların, doğal taşların bazı fiziksel ve yüzey kalite özelliklerine etkilerinin incelendiği bu çalışmada kayaçların tuz kristalizasyonundan etkilenmelerindeki en önemli fiziksel özelliğin su emme ve porozite olduğu görülmüştür. Ayrıca mineralojik bileşim bakımından bünyesinde kil ve serpantin bulunduran breşik yapıdaki örneklerin tuz kristalizasyonundan daha fazla etkilendiği anlaşılmıştır.

5.2. Öneriler

Çevresel etkilere maruz kalan doğal taş ve mermerlerde zamanla bozunmanın meydana geldiği bilinmektedir. Bu bozunma neticesinde önemli ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Yapılan yapay ve hızlandırılmış bozunma deneyleri ile doğal taşların bozunma süreçlerinin belirlenmesi ve uygun kullanım alanları tespit edilerek ekonomik kayıpların önüne geçilmesi mümkündür.

Mermerlerin kullanım alanlarının belirlenmesinde fiziko-mekanik testlerin yanısıra tuz kristalizsyonuna dirençlerinin de tayin edilmesi ekonomik kayıpların önüne geçilmesi için önem teşkil etmektedir. Tuz kristallenmesinden çok etkilenen mermer örneklerinde koruyucu kimyasal kullanımın uygulanabilirliğinin araştırılması bundan sonraki çalışmalar için önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Onargan T., Köse, H., Deliormanlı A., *Mermer*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 2011, 1-31.
- [2] Anonim. (2019). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Doğal-Taşlar> (on-line erişim 20 Ocak 2019).
- [3] Yüzer, E. and Angı, S., in: Özkul, M., Yağız, S. and Jones, B. (Eds.), Natural stone sector in Turkey special attention to Turkish travertines. Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, Denizli (2005), pp. 3-13.
- [4] Köktürk, U., *Endüstriyel Hammaddeler*, D. E. Ü. Müh. Mim. Fak.Yayını, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, 2002, 2.
- [5] Kun, N., *Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi*. Tezer Matbaası. İzmir, 2000.
- [6] Dönmez, S., Sarı, D.Y., *3-Boyutlu Pürüzlülük Ölçüm Sistemi*, 2004, 41-49.
- [7] Kibici Y., Büyüksağış İ.S., *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001)*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Afyon, 3-5 Mayıs, (2001).
- [8] Price, D.G., *Weathering and weathering process*, **Quarterly Journal of engineering Geology**, 28 (1995) pp. 243-252.
- [9] ANON 1995. *The description and classification of weathered rocks for engineering purposes*, Working Party Report, **Quarterly Journal of Engineering Geology**, 28 (1995), pp. 207-242.
- [10] Seiki, T., Aydan, Ö. 2003. *Deterioration of Oya tuff and its mechinacal property change as building stone proceedings of industrial minerals and building stones*, International Symposium on Industrial Minerals and Building Stone, İstanbul, IMBS (2003), pp. 329-336.

- [11] Ollier, C., *Weathering, Geomorphology Texts*. Ed. K. M. Clayton, Longman, London and New York, 1984, p. 270.
- [12] Winkler, E. M. and Wilhelm, E. J., *Salt burst by hydration pressures in architectural stone in urban atmosphere*, **Geological Society of America Bulletin**, 81:2 (1970) 567-572.
- [13] Sözmen, B. *Investigation of deterioration mechanism of Yazılıkaya tuffs in Midas Monument*,. Sc. thesis (unpublished), METU Turkey, 2000.
- [14] Winkler, E.M., *Stone in Architecture*, Uni. of Notre Dame, USA, 1997, 313.
- [15] Fookes, P.G., Dearman, W.R. and Franklin, J.A., *Some engineering aspects of rock weathering*, **Quarterly Journal of Engineering Geology**, 4 (1971) 139-185.
- [16] Topal, T. and Sözmen, B., *Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument*, **Engineering Geology**, 68 (2003) 201-223.
- [17] Doehne, E. ve Clifford, A. P., *Stone Conservation: An Overview Of Current Reseach*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2010.
- [18] Yavuz, A.B. and Topal, T., *Thermal and salt crystallization effects on marble deterioration: examples from Western Anatolia*, **Engineering Geology**, 90:1-2 (2007) 30-40.
- [19] Anonim. (2019). <https://acikders.ankara.edu.tr> (on-line erişim Mayıs 2019).
- [20] Bell, F G., *Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat*, (Çeviren: Kayabalı K.), Gazi Kitabevi, Ankara, 2006, p. 797.
- [21] Amorosso, G.G. and Fassina, V., *Stone decay and conservation. Materials Science Monographs*, Elsevier, Amsterdam, 1983, pp. 101-107.

- [22] Binal, A., Kasapoglu, K. E., Gökçeoglu, C., *Eskisehir-Yazılıkaya Çevresinde Yüzeylenen Volkanosedimanter Kayaçların Donma-Çözünme Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Parametrelerinin Değişimi*, Hacettepe Üniv. Yayınları, Ankara, 1997, 41-54.
- [23] Torraca, G. 1988. *Porous Building Materials. Materials Science For Architectural Conservation*, Italy, 1988, ICCROM, 1-59.
- [24] Eren Sarıcı, D., Özdemir, E., *Termal Değişikliklerin Mermerlerde Renk ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi*, **Yerbilimleri Dergisi**, 38:1 (2017) 57-70.
- [25] Bortz, S.A. and Wonneberger, in: B. Daemen&Schultz (Eds.), *Durability testing of thin stone*. Rock Mechanics Proc. of the 35th U.S. Symposium, (1995) pp. 373-378.
- [26] Zappia, G., Sabbioni, C., Riontino, C., Gobbi, G. and Favoni, O., *Exposure tests of building materials in urban atmosphere*, **The Science of the Total Environment**, 224:1-3, 11 December (1998) pp. 235-244.
- [27] Fronteau, G., Barbin, V. and Pascal, A., *Impact of sedimentary-diagenetic facies on weathering of carbonate building stone*. **Earth & Planetary Sciences**, 328 (1999) 671-677.
- [28] Tuğrul, A. and Zarif, İ.H., *Research on limestone decay in a polluting environment*, **Environmental Geology**, 38:2, (1999) pp.149- 158.
- [29] Benavente, D., Cueto, J., Martinez, N., Garcia, M.A. and Canaveras, J.C., *The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks*, **Environmental Geology**, 52, (2007) pp.197-206.
- [30] Angeli M., Benavente D., Bigas J.P., Menendez B., Hebert R., David C., *Modification of the porous network by salt crystallization in experimentally weathered sedimentary stones*, **Mater. Struct.**, 41 (2008) pp.1091–1108.
- [31] Benavente, D., Del Cura, M.A.G., Fort, R. and Ordonez, S., *Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength*, **Engineering Geology**, 74 (2004) pp.113-127.

- [32] Van Delden, M.L., Vos, G.S., Kuipers, N.J.M., de Haan, A.B., *Extraction of caprolactam with alternative benign solvent in a pulsed disc and doughnut column*, **Solvent Extraction and Ion Exchange**, 25:5 (2007) pp. 639-664.
- [33] Angeli M., Hébert R., Menéndez B., David C., Bigas J.P., *Influence of temperature and salt concentration on the salt weathering of a sedimentary stone with sodium sulphate*, **Eng. Geol.**, 115 (2010) pp.193–199.
- [34] Dal, M., *Mimarinin en soylu yapı malzemesi olarak doğal taş*, **Mimarlıkta Malzeme Dergisi**, 19 (2011) pp. 90-95.
- [35] Ghobadi M. H., Mousavi S., *The effect of pH and salty solutions on durability of sandstones of the Aghajari Formation in Khouzestan province, southwest of Iran*, **Arabian Journal of Geosciences**, 7 (2014) pp. 641-653.
- [36] Ruffolo A. S., Larussa M.F., Ricca M., Belfiora C.M., Macchia A., Comite V., Pezzino A., Crisci G.M., *New insight on the consolidation of salt weathered limestone: the case study of Modica stone*, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment** 76 (2017) pp.11-20.
- [37] Pötl C., Siegesmund S., Dohrmann R., Koning J.M., Wedekind W., *Deterioration of volcanic tuff rocks Armenia: constraints on salt crystallization and hydric expansion*, **Environmental Earth Sciences** 77 (2018) 660.
- [38] Gibeaux M.H., Vazquez P., De Kock T., Cnudde V., Thomachot-Schneider C., *Weathering assessment under X-Ray tomography of building stones exposed to acid atmospheres at current pollution rate*, **Construction and Building Materials** 168 (2018) pp. 187-198.
- [39] TS 699 (1987). Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metodları. TSE, Ankara.
- [40] TS EN 12370 (2001). Doğal Taşlar Deney Metotları-Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini. TSE, Ankara.
- [41] Özgüven A., Özçelik Y., *Investigation of some property changes of natural building stones exposed o fire and heat*, **Construction and Building Materials** 38 (2013) pp. 813-821.
- [42] TS 6809 (1989). Mohs Sertlik Cetveline Göre Sertlik Tayini. TSE, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Fadime POLAT GÜZEL

Doğum Yeri ve Tarihi: Yeşilyurt –MALATYA, 1985

Adres: İnönü Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Maliye Bölümü

E-Posta: fadime.guzel@inonu.edu.tr

Lisans: Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 2005-2009

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

F. Polat Güzel, D. Eren Sarıcı, N. Kızılkaya, E., Özdemir, International Conference on Innovative Engineering Applications, Sivas, Sep. 20-22, (2018).

F. Polat Güzel, D. Eren Sarıcı, N. Kızılkaya, E. Özdemir, *Evaluation of Salt Crystallisation Effects on Artificial Marble* **Journal of Physical Chemistry and Functional Materials** 1:2, (2018), pp: 20-24.