



**AFYONKARAHİSAR (TÜRKİYE) YÖRESİNDEKİ
FARKLI YAPI TAŞLARININ TUZ HASARINDA
GÖZENEK BOYUT DAĞILIMININ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur Ahmet KAÇMAZ

Danışman

Prof. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK

MADEN MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

Bu tez çalışması 21.FEN.BİL.24 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AFYONKARAHİSAR (TÜRKİYE) YÖRESİNDEKİ FARKLI YAPI
TAŞLARININ TUZ HASARINDA GÖZENEK BOYUT
DAĞILIMININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Uğur Ahmet KAÇMAZ

Danışman

Prof. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK

MADEN MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Uğur Ahmet KAÇMAZ tarafından hazırlanan “Afyonkarahisar (Türkiye) Yöresindeki Farklı Yapı Taşlarının Tuz Hasarında Gözenek Boyut Dağılımının Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 07 / 07 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK

Başkan : Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh. Fak. **İmza**

Üye : Prof. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak. **İmza**

Üye : Doç. Dr. Fatih BAYRAM

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak. **İmza**

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07 / 07 / 2023

İmza

Uğur Ahmet KAÇMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AFYONKARAHİSAR (TÜRKİYE) YÖRESİNDEKİ FARKLI YAPI TAŞLARININ TUZ HASARINDA GÖZENEK BOYUT DAĞILIMININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Uğur Ahmet KAÇMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK

Bu tez çalışması, Afyonkarahisar'da üretilen doğal yapı taşlarının tuz kristalleşmesi ve ayrışma özellikleri üzerinde gözenek boyut dağılımının etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Farklı kökenlere sahip doğal yapı taşları olan İscehisar andezit (İA), Döğer tufu (DT), Emirdağ gümüş traverten (EGT), Şuhut kireçtaşı (ŞK) ve Afyon gri mermer (AGM) örnekleri seçilmiştir. Bu taşların tuz kristalleşmesine karşı dirençlerini belirlemek için tuz kristalleşme deneyleri yapılmış ve farklı tuzlu çözeltilerle dayanım özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, incelenen yapı taşlarının tuz kristalleşmesine karşı gözenek boyut dağılımının etkisi de araştırılmıştır. Tez üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, test örneklerinin karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Mineralojik petrografik, kimyasal, cıvalı porozimetre ve mekanik-fiziksel testler ve analizler uygulanmıştır. İkinci aşamada, laboratuvarında ayrışma deneyleri yapılmıştır. Tuz kristalleşme deneylerinde saf su, sodyum klorür, sodyum sülfat dekahidrat ve magnezyum sülfat çözeltileri kullanılmıştır. Üçüncü aşamada, ayrışma deneyleri sonrasında örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Beş farklı doğal yapı taşının dört farklı sıvı ortamında tuz kristalleşme deneyleri sonrasında gözenek boyut dağılımı tekrar belirlenmiştir. Elde edilen veriler taze örneklerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, örneklerin ayrışma süreci ve tuz kristallerinin etkisi SEM-EDX analizleriyle incelenmiştir. Cıvalı porozimetri analizi sonuçları, incelenen doğal yapı taşlarının gözenek özelliklerinde önemli değişiklikler olduğunu göstermiştir.

Döğer tüfü %47,5 gözenekliliğe sahiptir ve saf suda %0,29, NaCl çözeltisinde %3,74, sodyum sülfat çözeltisinde tamamen dağılırken, magnezyum sülfat çözeltisinde %83,30 ayrışma göstermektedir. Andezit örneklerinde 0,01-1 μm aralığındaki gözeneklerin çoğu tuz kristalleriyle dolmuştur. Döğer tüfünde, tuz kristalleşmesi deneyleri öncesinde 0,1 μm 'den küçük boyutlu gözenek oranı %15,56 iken, sodyum klorür, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerinde sırasıyla %15,05, %8,75 ve %6,90 olarak belirlenmiştir. Emirdağ gümüş travertenin 1 μm 'den büyük boyutlu gözenek oranı taze örneklerde %69,89 iken, magnezyum sülfat çözeltisinde %51,77'ye düşmüştür. Şuhut kireçtaşıda ise ayrışma deneyleri öncesi mikro gözenek oranı sıfır iken, magnezyum sülfat çözeltisiyle yapılan deney sonrasında %1,63 olarak belirlenmiştir. Afyon gri mermerinin 0,1 μm 'den büyük boyutlu gözenek oranı taze örneklerde %88,39 iken, sırasıyla NaCl, Na_2SO_4 ve MgSO_4 çözeltilerinde %75,49, %85,39 ve %70,29 olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, tuz kristalleşmemesinin gözenek boyutu dağılımının değişmesinde çok önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Çapı 1 μm 'den küçük olan mikro gözeneklerin tuz kristalleşme hasarı üzerinde kritik bir etkiye sahip olduğu şeklindeki teorik varsayımı doğruladı. Bununla birlikte, doğal yapı taşlarının deney öncesi ve sonrası numunelerinin gözenek boyutu dağılımlarının da teyit ettiği gibi, tuz kristalleştirme deneyi hasarında 1 μm ile 4 μm arasındaki gözenek çaplarının önemli olduğunu göstermiştir.

2023, xvi + 127 sayfa

Anahtar Kelimeler: Gözenek boyut dağılımı, Tuz kristalleşmesi, Restorasyon, Andezit, Tüf.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PORE SIZE DISTRIBUTION ON SALT DAMAGE IN DIFFERENT TYPES OF BUILDING STONES IN THE AFYONKARAHİSAR (TURKEY) REGION

Uğur Ahmet KAÇMAZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineer

Supervisor: Prof. Mustafa Yavuz ÇELİK

This thesis examines the effect of pore size distribution on the salt crystallization and weathering characteristics of natural building stones produced in the Afyonkarahisar region. Sample stones of different origins, such as İscehisar andesite (İA), Döğler tuff (DT), Emirdağ silver travertine (EGT), Şuhut limestone (SK), and Afyon gray marble (AGM), were selected. Salt crystallization experiments were conducted to determine the resistance of these stones to salt crystallization, and their strength properties were evaluated in different saline solutions. Additionally, the effect of the pore size distribution on the salt crystallization resistance was investigated for the examined building stones. This study was conducted in three stages. In the first stage, characterization studies were performed on the test samples, including mineralogical-petrographic (optical microscopy, SEM), chemical (XRF), mercury porosimetry, and mechanical-physical tests and analyses. In the second stage, weathering experiments were conducted in the laboratory, including tests to determine resistance to salt crystallization. Pure water, sodium chloride (NaCl), sodium sulfate decahydrate ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), and magnesium sulfate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) solutions with a concentration of 14% were used in the salt crystallization experiments. In the third stage, weight loss, ultrasonic wave velocity, and uniaxial compressive strength were determined as the physical and mechanical properties of the samples after weathering experiments. After salt crystallization experiments in four different liquid environments (pure water, sodium chloride, sodium sulfate, and magnesium sulfate), the pore size distribution was re-evaluated for five different natural

building stones (İA, DT, EGT, ŞK, and AGM). The pore size distribution data were compared with those of fresh (unweathered) samples. Furthermore, weathering of the samples and the effect of salt crystals were examined using SEM-EDX analysis. The pore size distribution data obtained from the mercury porosimetry analysis revealed significant changes in the pore characteristics of the examined natural building stones.

It was determined that the Döğer tuff, with a porosity of 47.5%, suffered the most damage, with weight losses of 0.29% in pure water, 3.74% in NaCl solution, complete dissolution in sodium sulfate solution, and 83.30% in magnesium sulfate solution. In the andesite samples, it was observed that most of the pores in the 0.01-1 μm range were filled with salt crystals after the salt crystallization tests. For Döğer tuff, the percentage of pores smaller than 0.1 μm was 15.56% in fresh samples, which decreased to 15.05%, 8.75%, and 6.90% in sodium chloride, sodium sulfate, and magnesium sulfate solutions, respectively. This decrease was attributed to the accumulation of salt crystals in pores smaller than 0.1 μm . For Emirdağ silver travertine, the percentage of pores larger than 1 μm was 69.89% in the fresh samples, which decreased to 51.77% in a magnesium sulfate solution. This percentage increased to 89.52% in the sodium sulfate solution owing to the formation of new microcracks. The micro-porosity of Şuhut limestone before the weathering experiments was zero, while it increased to 1.63% after the experiment with magnesium sulfate solution owing to the formation of new pores. For the Afyon gray marble, 88.39% of the fresh samples had pores larger than 0.1 μm , which decreased to 75.49%, 85.39%, and 70.29% in the NaCl, Na₂SO₄, and MgSO₄ solutions, respectively. The experimental results demonstrate that salt crystallization is crucial for altering the pore size distribution. This confirms the theoretical assumption that micropores with diameters smaller than 1 μm critically impact the salt crystallization damage. Moreover, the pore size distribution of the natural building stones' pre- and post-experiment samples verifies the importance of pore diameters between 1 and 4 μm in salt crystallization experiment-induced damage.

2023, xvi + 127 pages

Keywords: Pore size distribution, Salt crystallisation, Restoration, Andesite, Tuff.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK'e, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Zeyni ARSOY'a ve Arş. Gör. Mustafa GÜRSOY'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını 21.FEN.BİL.24 numaralı proje ile destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme; bu çalışma için beni sürekli teşvik eden, her daim yanımda olan, desteğini esirgemeyen sevgili eşime teşekkür ederim.

Uğur Ahmet KAÇMAZ

Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	2
1.2 Önceki Çalışmalar.....	4
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	8
2.1 Doğal Taşların Ayrışması.....	8
2.1.1 Ayrışma Faktörleri.....	8
2.1.1.1 Tuz Kristalleşmesi.....	8
2.1.1.2 Donma-Çözülme.....	8
2.1.1.3 Termal Şok.....	9
2.1.1.4 Atmosferik Kirlilik.....	9
2.1.1.5 Isınma Kuruma.....	10
2.1.1.6 Biyolojik Ayrışma.....	10
2.2 Doğal Taş Özelliklerinin Ayrışmaya Etkisi.....	11
2.2.1 Petrografik Özellikler.....	11
2.2.1.1 Mineral Bileşimi	12
2.2.2 Fiziksel Özellikler	12
2.2.2.1 Gözeneklilik.....	12
2.2.2.2 Gözenek Boyut Dağılımı.....	13
2.2.2.3 Su Emme.....	13
2.2.3 Mekanik Özellikler.....	14
3. MATERYAL ve METOT	15
3.1 Materyal	15

3.1.1 Afyonkarahisar Yöresi Jeolojisi	15
3.1.1.1 Paleozoik yaşlı birimler.....	18
3.1.1.2 Mesozoyik yaşlı birimler.....	19
3.1.1.3 Senozoyik birimler.....	20
3.1.1.4 Volkanik kayalar.....	21
3.1.2 İncelenen Doğal Yapı Taşlarının Özellikleri.....	22
3.1.2.1 İscehisar Andezit.....	23
3.1.2.2 Döğer Tüfü.....	25
3.1.2.3 Emirdağ Gümüş Traverten.....	28
3.1.2.4 Şuhut kireçtaşı.....	30
3.1.2.5 Afyon Gri Mermer.....	32
3.1.3 Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	33
3.1.4 Deneylerde Kullanılan Tuzlar.....	34
3.2 Yöntem.....	34
3.2.1 Fiziksel ve Mekanik Testler.....	34
3.2.1.1 Birim Hacim Ağırlık (Görünür Yoğunluk).....	35
3.2.1.2 Özgül Ağırlık (Gerçek Yoğunluk).....	35
3.2.1.3 Toplam ve Açık Gözeneklilik (porozite).....	36
3.2.1.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı.....	37
3.2.1.5 Atmosfer Basıncında Su Emme Deneyi.....	38
3.2.1.6 Ultrases Ses Yayılma Hızı.....	39
3.2.2 Mikro Yapısal Çalışmalar.....	41
3.2.2.1 Kimyasal Analiz (XRF).....	41
3.2.2.2 Mineralojik ve Petrografik Analizler.....	41
3.2.2.3 Gözenek Boyut Dağılımı (Cıvalı Porozimetre).....	44
3.2.3 Tuz Kristalleşmesi Deneyleri.....	45
4. BULGULAR	48
4.1 Fiziksel ve Mekanik Özellikler.....	48
4.1.1 Birim Hacim Ağırlık (Görünür Yoğunluk).....	48
4.1.2 Özgül Ağırlık (Gerçek Yoğunluk)	49
4.1.3 Toplam ve Açık Gözeneklilik (porozite)	49
4.1.4 Basınç Dayanımı.....	49

4.1.5 Atmosfer Basıncında Su Emme Deneyi.....	50
4.1.6 Ultra Ses Yayılma Hızı.....	50
4.2 Mikro Yapısal Karakterizasyon.....	51
4.2.1 Kimyasal Analiz (XRF) Sonuçları.....	51
4.2.2 Petrografik ve Mineralojik Analizler.....	52
4.2.2.1 Polarizan Mikroskop Analizi.....	52
4.2.2.2 X-ışını Difraksiyonu (XRD) Analizi.....	57
4.2.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	58
4.2.3 Gözenek Boyut Dağılımı (Cıvalı Porozimetre).....	63
4.3 Tuzlu Çözelti ve Tuz Alım Kapasitesi.....	68
4.4 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Sonuçları.....	70
4.4.1 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Döngülerde Kütle Değişimi.....	70
4.4.1.1 Saf Suda Döngülerde Kütle Değişimi.....	70
4.4.1.2 NaCl Çözeltisinde Döngülerde Kütle Değişimi.....	74
4.4.1.3 Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O Çözeltisinde Döngülerde Kütle Değişimi.....	77
4.4.1.4 MgSO ₄ Çözeltisinde Döngülerde Kütle Değişimi.....	80
4.4.2 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Sonrası Kuru Ağırlık Kaybı Değişimi.....	84
4.4.3 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Sonrası Ultra Ses Yayılma Hızı Değişimi.....	84
4.4.4 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Sonrası Basınç Dayanımı Değişimi.....	86
4.5 Tuz Kristalleşmesi Gözenek Boyut Dağılımına Etkisi.....	87
4.5.1 İscehisar Andeziti Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi.....	88
4.5.2 Döğer Tüfü Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi	90
4.5.3 Emirdağ Gümüş Traverten Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi	93
4.5.4 Şuhut kireçtaşı Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi.....	95
4.5.5 Afyon Gri Mermer Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi.....	97
4.6 Tuz Kristalleşme Deneyi Sonrası SEM-EDX İncelemeleri.....	99
4.6.1 NaCl Çözeltisi ile Tuz Kristalleşmesi.....	99
4.6.2 Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O Çözeltisi ile Tuz Kristalleşmesi.....	104
4.6.3 MgSO ₄ 7H ₂ O Çözeltisi ile Tuz Kristalleşmesi.....	110
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	116
6. KAYNAKLAR.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	127

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
μm	Mikrometre
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
gr	Gram
kg	Kilogram
m	Metre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
MPa	Megapaskal
$^{\circ}\text{C}$	Derece Celsius

Kısaltmalar

AGM	Afyon Gri Mermer
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
A.Z.	Ateş Zaiyatı
CaCO_3	Kalsiyum Karbonat
CO_2	Karbon Dioksit
DT	Döğer Tüfü
EGT	Emirdağ Gümüş Traverten
Fe_2O_3	Demir Oksit
İA	İscehisar Andezit
K_2O	Potasyum Oksit
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Magnezyum Sülfat
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Sodyum Sülfat Dekahidrat
NaCl	Sodyum Klorür
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopu
SEM-EDX	Taramalı Elektron Mikroskopu – Enerji Dağılımlı X Işını
SiO_2	Silisyum Dioksit
SO_2	Kükürt Dioksit
ŞK	Şuhut kireçtaşı
TS EN	Türk Standartları Avrupa Normu
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
XRD	X-ışınları Kırınımı
XRF	X-ışınları Floresan Spektroskopisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1	Deneylerde kullanılan doğal yapı taşı örneklerinin bulunduğu ocakların bölgesel jeoloji haritası.....	6
Şekil 3.2	Afyon bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.....	7
Şekil 3.3	Deneylerde kullanılan doğal yapı taşı örneklerinin alındığı ocakların yer bulduru haritası.....	23
Şekil 3.4	Tüf malzemelerinin oluşumları.....	26
Şekil 3.5	Tuz kristalleşmesi deneyi akım şeması.....	47
Şekil 4.1	Deneylerde kullanılan İscehisar andeziti ve Döğer tüfünün toplam alkali içeriğine karşı silis diyagramına göre kökeni.....	52
Şekil 4.2	İscehisar andezitinin polarizen mikroskop görüntüleri.....	53
Şekil 4.3	Döğer tüfünün polarizan mikroskop görüntüleri.....	54
Şekil 4.4	Emirdağ gümüş travertenin polarizan mikroskop görüntüleri.....	55
Şekil 4.5	Şuhut kireçtaşının polarizen mikroskop görüntüleri.....	56
Şekil 4.6	Afyon gri mermerinin polarizen mikroskop görüntüleri.....	57
Şekil 4.7	Difraksiyonu (XRD) analizine göre mineral bileşimleri.....	58
Şekil 4.8	Deneylerde kullanılan İscehisar andezitinin SEM mikro fotoları.....	59
Şekil 4.9	Deneylerde kullanılan Döğer tüfünün SEM mikro fotoları.....	60
Şekil 4.10	Deneylerde kullanılan Emirdağ gümüş traverteninin SEM mikro fotoları.....	61
Şekil 4.11	Deneylerde kullanılan Şuhut kireçtaşının SEM mikro fotoları.....	62
Şekil 4.12	Deneylerde kullanılan Afyon gri mermerin SEM mikro fotoları.....	63
Şekil 4.13	Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının gözenek boyut dağılımı.....	67
Şekil 4.14	Emme kapasitesi deney sonuçları grafiksel gösterimi.....	70
Şekil 4.15	Saf suda örneklerin kütle değişimi grafiği.....	71
Şekil 4.16	Sodyum klorürü çözeltisinde örneklerin kütle değişimi grafiği.....	75
Şekil 4.17	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinde örneklerin kütle değişimi grafiği.....	78
Şekil 4.18	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinde örneklerin kütle değişimi grafiği.....	81
Şekil 4.19	Deney örneklerinin Saf su, NaCl çözeltisi, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi ve MgSO_4 çözeltisinde ağırlık değişimleri grafiği.....	84
Şekil 4.20	Deney örneklerinin Saf su, NaCl çözeltisi, Na_2SO_4 çözeltisi ve MgSO_4	

çözeltilisinde ultra ses geçiş hızı değişimleri grafiği.....	85
Şekil 4.21 Deney örneklerinin Saf su, NaCl çözeltisi, Na ₂ SO ₄ çözeltisi ve MgSO ₄ çözeltisinde basınç dayanımı değişimleri grafiği.....	87
Şekil 4.22 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında İscehisar andezitinde gözenek boyut dağılım değişimleri.....	90
Şekil 4.23 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında Döğer tüfünde gözenek boyut dağılım değişimleri.....	93
Şekil 4.24 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında Emirdağ gümüş traverteninde gözenek boyut dağılım değişimleri.....	95
Şekil 4.25 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında Şuhut kireçtaşında gözenek boyut dağılım değişimleri.....	97
Şekil 4.26 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında Afyon gri mermerinde gözenek boyut dağılım değişimleri.....	99
Şekil 4.27 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra İscehisar andeziti örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	100
Şekil 4.28 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Döğer tüfü örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	101
Şekil 4.29 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Emirdağ gümüş traverten örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	102
Şekil 4.30 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Şuhut kireçtaşı örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	103
Şekil 4.31 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Afyon gri mermer örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	104
Şekil 4.32 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra İscehisar andezit örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	106
Şekil 4.33 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Döğer tüfü	

örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	107
Şekil 4.34 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Emirdağ gümüş traverten örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	108
Şekil 4.35 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Şuhut kireçtaşı örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	109
Şekil 4.36 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Afyon gri mermer örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	110
Şekil 4.37 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra İncehisar andeziti örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	111
Şekil 4.38 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Döğer tüfü örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	112
Şekil 4.39 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Emirdağ gümüş traverten örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	113
Şekil 4.40 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Şuhut kireçtaşı örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	114
Şekil 4.41 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Afyon gri mermer örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları.....	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 İncelenen doğal taşlarının kodları, ticari isimleri ve kökenleri.....	22
Çizelge 4.1 İncelenen doğal yapı taşlarının fiziko-mekanik özellikleri ve standart sapmalar.....	48
Çizelge 4.2 Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının kimyasal analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.3 Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının Cıvalı porozimetre deney sonuçları.....	68
Çizelge 4.4 Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları...	68
Çizelge 4.5 Deney örneklerinin Saf su deneyinde her döngüde kütle değişim Değerleri.....	71
Çizelge 4.6 Deney örneklerinin NaCl çözeltisi ile yapılan deneyde, her döngüde kütle değişim değerleri.....	74
Çizelge 4.7 Deney örneklerinin sodyum sülfat çözeltisi ile yapılan deneyde, her döngüde kütle değişim değerleri.....	77
Çizelge 4.8 Deney örneklerinin magnezyum sülfat çözeltisi ile yapılan deneyde, her döngüde kütle değişim değerleri.....	80
Çizelge 4.9 Tuz kristalleşme deneyi sonrası İscehisar andezitinin Cıvalı porozimetre deney sonuçları.....	88
Çizelge 4.10 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası İscehisar andezitinin gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.....	88
Çizelge 4.11 Tuz kristalleşme deneyi sonrası Döğer tufunun Cıvalı porozimetre deney sonuçları.....	91
Çizelge 4.12 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası Döğer tufunun gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.....	92
Çizelge 4.13 Tuz kristalleşme deneyi sonrası Emirdağ gümüş travertenin Cıvalı porozimetre deney sonuçları.....	93
Çizelge 4.14 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası Emirdağ gümüş travertenin gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.....	94
Çizelge 4.15 Tuz kristalleşme deneyi sonrası Şuhut kireçtaşının	

Cıvalı porozimetre deney sonuçları.....	95
Çizelge 4.16 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası Şuhut kireçtaşının gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.....	96
Çizelge 4.17 Tuz kristalleşme deneyi sonrası Afyon gri mermerin Cıvalı porozimetre deney sonuçları.....	97
Çizelge 4.18 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası Afyon gri mermerin gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.....	98



RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 1.1 Afyonkarahisar’da tarihi ve güncel yapılarda tuz kristalleşmesi nedeniyle yapı taşlarında görülen bozunmalar.....	4
Resim 3.1 İscehisar andezit ocağının görünümü.....	24
Resim 3.2 İscehisar andeziti deney örneklerinin görünümü.....	24
Resim 3.3 İscehisar andezitlerin Afyonkarahisar yöresinde tarihi yapılarda kullanımına örnekler	25
Resim 3.4 Döğer tüf ocağının görünümü.....	27
Resim 3.5 Döğer tüfü deney örneklerinin görünümü.....	27
Resim 3.6 Afyonkarahisar yöresinde Döğer tüflerinin tarihi ve güncel yapılarda kullanımı.....	28
Resim 3.7 Emirdağ gümüş traverten ocağının görünümü.....	29
Resim 3.8 Emirdağ gümüş traverten deney örneklerinin görünümü.....	30
Resim 3.9 Şuhut kireçtaşı ocağı görünümü.....	31
Resim 3.10 Şuhut kireçtaşı deney örneklerinin görünümü.....	31
Resim 3.11 Afyon gri mermer ocağının görünümü.....	32
Resim 3.12 Afyon gri mermer deney örneklerinin görünümü.....	33
Resim 3.13 Deneylerde kullanılan örneklerin görünüşü.....	33
Resim 3.14 Deneylerde kullanılan tuzların görüntüleri.....	34
Resim 3.15 Örneklerin tek eksenli basınç deneylerinin yapıldığı cihaz.....	38
Resim 3.16 Örneklerin su emme deneyi için leğendeki görüntüsü.....	39
Resim 3.17 Örneklerin ultrases ses yayılma hızının tespitinde kullanılan ultrasonik test cihazı.....	40
Resim 3.18 Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazı.....	41
Resim 3.19 Örneklerin mineralojik ve petrografik özelliklerinin tespitinde kullanılan Nikon Eclipse 2V100POL polarizan mikroskop.....	42
Resim 3.20 Örneklerin mineralojik özelliklerinin tespitinde kullanılan Bruker Marka D 8 Advance model X-ışınları kırınımı (XRD) cihazı.....	43
Resim 3.21 Örneklerin bileşiminde bulunan mineral ve gözenek boyutlarının incelendiği taramalı elektron mikroskopu (SEM).....	44
Resim 3.22 Örneklerin gözenek boyut dağılımlarının tespitinde kullanılan cıva	

porozimetresi cihazı.....	45
Resim 3.23 Tuz kristalleşmesi deneyi için hazırlanan NaCl (a), Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O (b) ve MgSO ₄ (c) çözeltilerindeki örneklerin görüntüsü.....	46
Resim 4.1 Deney örneklerinin saf suda 1,5,10 ve 15. döngü sonrası görünüşleri.....	73
Resim 4.2 Deney örneklerinin sodyum klorürü çözeltisi ile yapılan tuz kristalleşmesi deneyinde 1,5,10 ve 15. döngü sonrası görünüşleri.....	76
Resim 4.3 Deney örneklerinin sodyum sülfat çözeltisi ile yapılan tuz kristalleşmesi deneyinde 1, 5, 10 ve 15. döngü sonrası görünüşleri.....	79
Resim 4.4 Deney örneklerinin magnezyum sülfat çözeltisi ile yapılan tuz kristalleşmesi deneyinde 1, 5, 10 ve 15. döngü sonrası görünüşleri.....	83



1. GİRİŞ

Çeşitli minerallerin veya kaya parçacıklarının doğal olarak bir araya gelmesiyle oluşan katı maddeler olan doğal yapı taşları, petrografik ve teknik özellikleri (fiziksel, mühendislik özellikleri) açısından yapılarda kullanıma uygun olup, “doğal yapı taşları” olarak sınıflandırılır (TS 699 2009).

Doğal yapı taşlarının inşaat sektöründe kullanımı, son yıllarda önemli bir artış göstermiştir. Özellikle gelişmiş ülkelerde daha sağlıklı, çevreye ve insan sağlığına daha az zararlı olan doğal yapı taşlarının kullanımı, geri dönüşüm sırasında çevreye ve insan sağlığına zararlı olabilecek yapay malzemelerin kullanımına tercih edilmektedir (Yüzer ve Angı 2007).

Doğal yapı taşları, inşaat sektöründe çeşitli kullanım alanlarında doğrudan veya dolaylı çevresel olaylar nedeniyle bozunmaya maruz kalmaktadır. Bozunma genel olarak hidrosfer ve atmosferin doğrudan etkisi altında kayaların ayrışması olarak tanımlanır (Fookes vd. 1971). Çevresel faktörlere bağlı bozunma mekanizması birçok araştırmacı tarafından (Beavis 1985, Johnson ve Degraff 1988) fiziksel ayrışma, kimyasal ayrışma ve biyolojik bozunma olarak üç kategoride toplanmıştır (Ünver ve Ünal 1995).

Kaya bozunması çeşitli şekillerde meydana gelebilir. Bozunmayı önlemek için bozunmaya neden olan faktörlerin detaylı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bozunmaya neden olan faktörlerin belirlenmesine yönelik çalışmalarda artış olmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmaların çoğu donma-çözülme, hava kirliliği, tuzlar ve biyolojik bozunma ile ilgili olmuştur (Ünal 2006).

Tuzların kayalara verdiği zararlar genellikle iki faktörden kaynaklanır: tuzların kristalleşmesi ve hidratasyonu. Kristalleşme basıncı, çözeltinin doygunluk derecesine ve kaya gözeneklerinin boyutuna bağlı olarak kristalleşme sırasındaki en önemli bozunma mekanizmasıdır (Jefferson 1993). Tuz çözeltilerinin gözeneklere nüfuz etmesi engellenerek veya etkin bir drenaj sistemi sağlanarak tuzların kayalara verdiği zararlar en aza indirilebilir.

Sonuç olarak, doğal yapı taşları sahip oldukları fiziksel ve mekanik özellikler ve çevresel uyumlulukları nedeniyle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak donma-çözülme, hava kirliliği, tuzlar ve biyolojik bozunma gibi çevresel faktörler nedeniyle çeşitli bozunma biçimlerine maruz kalabilirler. Bu nedenle doğal yapı taşlarından yapılan yapıların dayanıklılığını ve sağlamlığını sağlamak için bozunmaya neden olan faktörlerin belirlenmesi ve önleyici tedbirlerin alınması önemlidir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Doğal yapı taşları, jeolojik özelliklerine göre değişen oranda gözenekler içerir. Gözenekler, taşın içinde bulunan boşluklardır. Gözenek oranı yüksek olan doğal yapı taşları, zaman içinde diğerlerine göre daha hızlı ayrışır ve tahribat görme riski daha yüksektir. Çevresel etkiler, doğal taşların kullanıldığı yerde bozuşmasına neden olur.

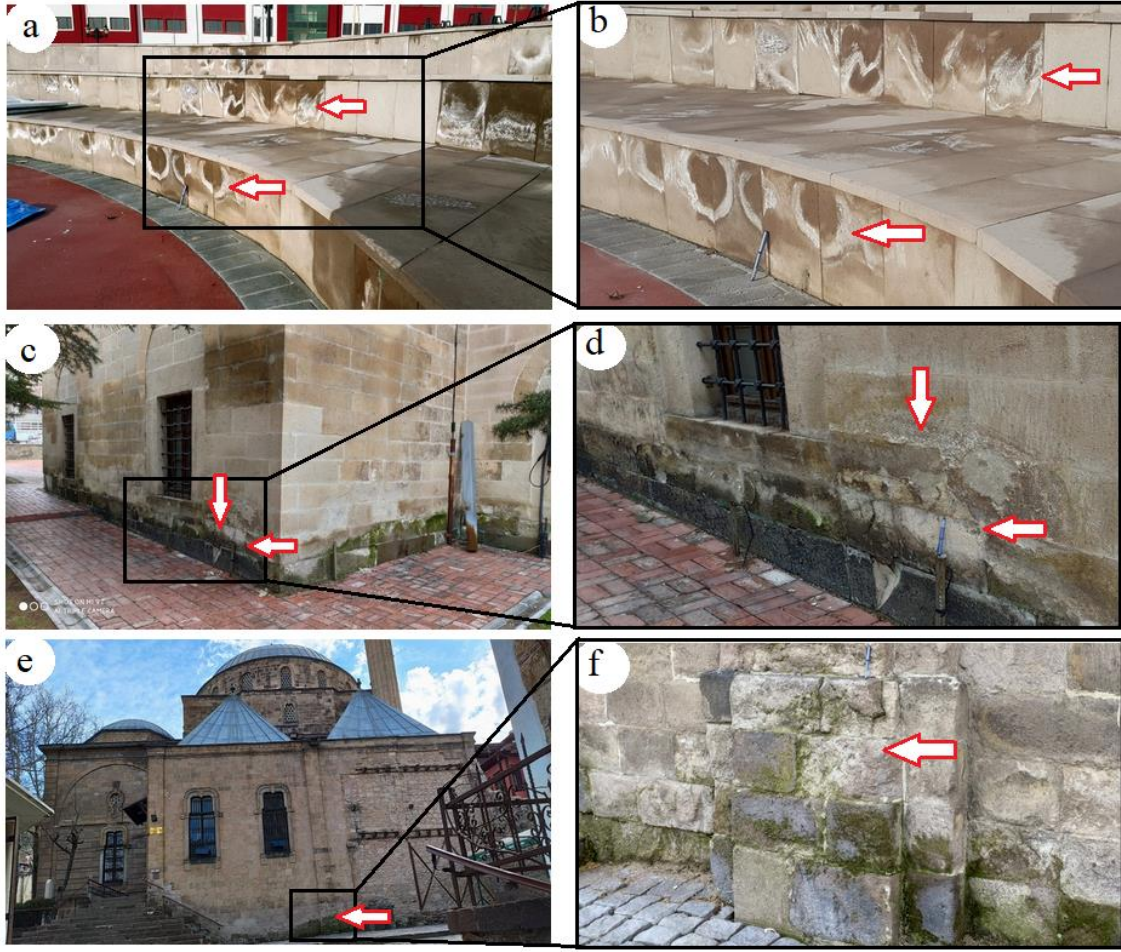
Su, doğal taşların en önemli tahribat sebebidir ve ayrışmayı hızlandırır. Tuz kristallenmesi, çözünebilir tuzların sularla birlikte taşınıp kılcal boşluklarda kristalleşmesiyle gerçekleşir. Buharlaşıma yoluyla oluşan tuz kristalleri, kılcal boşluklar içinde büyür ve boşlukları tuzlu sularla besler. Bu nedenle, bol miktarda kılcal gözenekleri olan yapı taşları daha yüksek bir tahribat riskine sahiptir.

Afyonkarahisar'da çok sayıda tarihi yapı bulunmaktadır, bunların birçoğunda Afyonkarahisar civarından çıkarılan doğal yapı taşları kullanılmıştır. Bu yapılar arasında cami, medrese, köprü, çeşme ve han gibi genel kullanıma açık tarihi yapıların yanı sıra su mimarisi yapıları olan çeşme, hamam gibi yapılar da önemlidir.

Tuz kristalleşmesi, inşaatta kullanılan doğal taşlara önemli ölçüde zarar verebilen yaygın bir ayrışma sürecidir. Bu işlem, suda çözünmüş tuzların taşın gözeneklerine ve çatlaklarına nüfuz etmesi ve ardından su buharlaştıkça kristalleşmesiyle gerçekleşir. Kristaller çevredeki taş baskı uygulayarak yeni çatlakların oluşmasına ve var olanların genişlemesine yol açar. Zamanla, bu işlem taşta önemli hasara neden olabilir ve ayrışmasına neden olabilir. Bu tez çalışmasında Afyonkarahisar civarından çıkarılan doğal yapıtaşlarının değişik tuz çözeltilerine karşı gösterdiği direnç ve ayrışma

özelliklerine gözenek boyut dağılımının etkisi incelenecektir. Bu amaçla değişik gözenek oranına sahip İA, DT, EGT, ŞK, AGM gibi farklı kökenli doğal yapı taşları seçilmiştir. Bu kapsamda elde edilecek veriler yardımıyla test edilen veya bunlara benzer özellikteki doğal yapı taşlarının tuz hasarına karşı dirençleri hakkında kullanılabilir veriler elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Afyonkarahisar yöresinde yeraltı sularının tuz içeriğinin yüksek olduğu bilinmektedir. Tuzlu yeraltı sularının tuz kristalleşmesi nedeniyle verdiği hasarlar birçok güncel ve tarihi yapıda görülmektedir (Resim 1.1). İncelenen yapı taşlarının tuz kristallenmesi deneyleri sonrası ayrışma özellikleri ağırlık kaybı, tek eksenli basınç dayanımı ve ultra ses yayılma hızı ölçümleri ile belirlenecektir. Bu çalışmanın en orijinal tarafı ise tuz kristalleşmesi olayında gözenek boyut dağılımının etkisidir. Literatürde andezit ve Döğer tüfünün bazı yaşlandırma deneyleri sonrası gözenek boyut dağılımı hakkında çalışmalar olsa da Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermer hakkında benzeri çalışmalar ilk defa yapılacaktır. Özellikle tarihi yapılarda kullanılan yapı taşlarında tuz kristallenmesi nedeniyle meydana gelen tahribatın miktarı ve derecesi bu çalışma yoluyla belirlenecek ve yörede yeni yapılarda kullanılacak olan taşların da tuz kristallenmesine dirençleri ve gözenek boyut dağılımlarına etkisi hakkında veri elde edilmiş olacaktır.



Resim 1.1 Afyonkarahisar’da güncel ve tarihi yapılarda tuz kristalleşmesi nedeniyle yapı taşlarında görülen bozunmalar. (a-b: Afyon Kocatepe Üniversitesi kampüsü, c-d: İmaret Cami, e-f: Mevlevi Cami.)

1.2 Önceki Çalışmalar

Daha önce yapılan bilimsel ve deneysel çalışmalarda, tuz çözeltilerinin yapı malzemelerine olan etkilerini incelemek için gözenek boyutu dağılımı, etkili gözeneklilik, kılcal su emilimi, ultra ses yayılma hızı ve ağırlık kaybı gibi özelliklere odaklanılmıştır (Prikryl vd. 2003; Zedef vd. 2007; Alonso vd. 2008; Ceryan vd. 2008; Yu ve Oguchi 2010; Di Benedetto vd. 2015; Sun vd. 2019; Çelik ve Aygün 2019; Çelik ve Sert 2020a). Tuzların yapı malzemelerine zarar verme mekanizmaları Tsui vd. (2003) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kireçtaşlarındaki sodyum sülfat tuzlarının kristalleşmesini diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve dinamik mekanik analiz (DMA) yöntemleriyle Espinosa vd. (2008), tarafından incelemiştir. Barbera vd. (2012),

Güneydoğu Sicilya'daki tarihi yapılarda kullanılan kireçtaşının tuz kristalleştirme deneyinde ultrason tekniği ile ayrışmasını araştırmışlardır. Tuz kristalleştirme deneyi ile farklı yüzey işlemlerine sahip düşük gözenekli kireçtaşlarının farklı bozunma davranışları Urosevic vd. (2013) tarafından araştırılmıştır. Lubelli ve Nijland (2014), Hollanda Tromp anıtındaki kireçtaşını etkileyen hasar mekanizmasını incelemiş ve çözünebilirlikte tuz faktörünü belirlemeye çalışmıştır. Derluyn vd. (2014), gözenekli kireçtaşında ısı, su ve tuz iyonu taşınmasını, tuz kristalleşmesini, deformasyonu ve hasarı birleştiren bir hesaplama modeli ortaya koymuştur.

Kireçtaşı, traverten gibi çeşitli doğal yapı taşlarının tuz kristalleşmesine karşı gösterdikleri dirençleri konu alan çok fazla deneysel çalışma yapılmıştır. Bu deneylerde genellikle sodyum sülfat çözeltisinin kullanılmıştır. Angeli vd. (2010) ve Cardenes vd. (2014), donma-çözülme ve sıcaklığın tuz kristalleşmesine etkisini araştırmışlardır. Vazquez vd. (2013), yapı taşlarındaki tuz kristalleşme hasarını SEM-EDX yöntemini kullanarak incelemiştir. Pötzl vd. (2018), volkanik kökenli olan tüf ve andezit gibi kayaların tuz kristalleşmesine karşı dirençlerini inceleyen araştırmalar yapmışlardır. Lubelli vd. (2018), tuz kristalleşme deneyi standardının iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Benavente vd. (2018), tuz kristallendirme ve donma-çözülme etkisinin traverten ve karbonatlı kayaların petrofiziksel ve dayanıklılık özelliklerine etkisini incelemişlerdir ve söz konusu kayaların bu etkilere karşı dayanıklı olduğunu bildirmişlerdir. Vazquez vd. (2018), farklı konsantrasyonlarda ve farklı sıcaklıklarda sodyum sülfat damlacıklarının buharlaşmasını kızılötesi termografi (IRT) kullanılarak incelenmişlerdir. Sarıcı vd. (2018), yaygın olarak kullanılan yapay mermerleri, tuz kristallendirme testine tabi tutmuşlardır. Deneysel sonuçlara göre, tuz kristalleşmesinin ağırlık, gözeneklilik, birim ağırlık ve renk-parlaklık değerlerinde değişikliklere yol açtığını tespit etmişlerdir. Menendez (2018), sodyum klorür veya sodyum sülfat gibi tek tuzlar ve farklı tuzların kombinasyonları için tuz yıpranmasına ait değişiklikler için karşılaştırmalar yapmışlardır. Farklı tuzların bir kombinasyonu kullanıldığında, ayrışmanın tek bir tuz kullanmaya kıyasla daha fazla hasar meydana getireceğini ifade etmişlerdir.

Çelik ve Tıgılı (2019), Afyon yöresindeki yüksek gözenekli yapı taşlarında (İscehisar andeziti ve tüf) su itici kimyasal kullanılması tuz kristalleşmesine etkisini

araştırmışlardır. Araştırmalarında sodyum sülfat ve sodyum klorür çözeltileriyle tuz kristalleştirmesi deneyleri yapılarak, test edilen tuf ve andezit örneklerinin tuzlara karşı gösterdikleri direnç incelenmiştir. Su itici kimyasal sürülen örneklerin, kimyasal sürülmeyen örneklerle oranla tuz kristalleşmesinin yıkıcı etkisinden daha az etkilendikleri tespit edilmiştir.

Çelik ve Aygün (2019), tuz kristalleşmesinin sodyum sülfat ve sodyum klorür tarafından volkanik yapı taşlarının bozunmasına etkisini incelemişlerdir. Çelik ve Sert (2020a), yapı taşı olarak kullanılan İscehisar andezitinin gözenek boyutu dağılım değişimlerini altı yapay hızlandırılmış yaşlanma faktörüne göre değerlendirmişlerdir. Yapay hızlandırılmış yaşlanma faktörlerinin, yapı taşı olarak kullanılan andezitlerin gözenek boyut dağılımındaki değişim üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Tarihi anıtların restorasyon çalışmaları veya modern kullanım için taş seçiminin bireysel yaşlanma faktörlerinin etkisiyle ortaya çıkabilecek anormal sonuçlardan kaçınmak için birden fazla yıkıcı test yapıldıktan sonra kullanılması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Çelik ve Sert (2020b), hidrofobik işlem görmüş ve işlenmemiş andezitin tuz kristalleşmesi, donma-çözülme ve termal şoka karşı dayanıklılığının değerlendirilmesi için hızlandırılmış yaşlandırma laboratuvar testlerini kullanmışlardır. Çelik ve Sert (2020c), kültürel mirasların yapı taşları olarak kullanılan Döğer tufünün dayanıklılığı üzerinde tuz kristalleşme testinde farklı tuz çözeltilerinin ve konsantrasyon oranlarının rolünü incelemişlerdir. Döğer tufündeki gözeneklerin boyutu ve toplam gözeneklilik tuz konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak artmıştır. Yapılan test sonuçlarında tuz türlerinin ve konsantrasyonlarının hem tuz alımında hem de gözenek boyutu dağılımında çok önemli rol oynadığını göstermişlerdir. Çelik ve Sert (2021), kültürel mirasların yapı taşı olarak kullanılan Döğer tufünün farklı tuz çözeltilerine ve konsantrasyon oranlarına bağlı olarak kılcal su emme değişimlerini incelemişlerdir. Çelik ve İbrahimoğlu (2021), travertenlerin karakterizasyonu ve tuz kristalleşmesine dayanıklılıklarını incelemişlerdir. Çelik ve Sert (2022), Döğer tufünün tuz kristalizasyon testleri ile gözenek boyutu dağılım değişimlerini incelenmişlerdir. Çelik ve Özkan (2022), Az gözenekli kireçtaşlarının (Bej mermer) jeoteknik karakterizasyonu ve tuz kristalleştirme deneyleri ile dayanıklılığın değerlendirilmesini incelemişlerdir.

Bu tez çalışmasının amacı Afyonkarahisar yöresinde üretilmekte ve kullanılmakta olan beş farklı yapı taşında tuz kristalleşmesinin gözenek boyut dağılımına etkisinin incelenmesidir. Literatürde bu konuda kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Özellikle volkanik kökenli olan andezit ve tüflerin tuz kristalleşmesinin gözenek boyut dağılımına etkisiyle ilgili çalışmalar bulunmakta olup Emirdağ gümüş traverten (EGT), Şuhut kireçtaşı (ŞK) ve Afyon gri mermer ile ilgili çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışmanın benzerlerinden ayıran özellik ise beş farklı kökene ve gözenek boyut dağılımına sahip olan doğal yapı taşlarının üç farklı tuz çözeltileri ile tuz kristalleşme deneyleri yürütülmüş ve gözenek boyut dağılımlarının belirlenmiş olmasıdır.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Doğal Taşların Ayrışması

Ayrışma, kaya kütlelerinin parçalanmasıdır. Bu, kaya kütlelerinde bulunan süreksizlikler, tane sınırları ve mineral çatlakları gibi mikro süreksizliklerle ilgilidir (Johnson ve DeGraff 1988). Ayrışmanın nedenleri basınç, sıcaklık, yağmur ve rüzgârdır. Ayrışmayı meydana getiren mekanizmalar, kayalarda hacim artışları, yüzey alanı artışları ve tane boyu küçülmelerine neden olurlar. Jeolojik süreçlerle yüzeye ulaşan sular, eklem takımları boyunca çatlakları genişleterek kaya bloklarını ayrıştırır ve harekete geçirir. Ayrışma faktörleri aşağıda verilmiştir.

2.1.1 Ayrışma Faktörleri

2.1.1.1 Tuz Kristalleşmesi

Suda çözünen tuzlar, suyla birlikte taşın gözenek ve çatlaklarına ulaşır ve suyun buharlaşması sırasında tuz kristalleri taşın yüzeyi ve kılcal çatlaklarda birikir. Tuz birikimleri nedeniyle doğal taşlar olumsuz etkilenir (Küçükkaya 2004). Tuz kristallerinin oluşumu, tuzlu çözeltinin kayaç çatlaklarına nüfuz etmesiyle ve buharlaşarak tuz bırakmasıyla meydana gelir. Tuz kristalleri sıcaklık artışında genişterek kayaç üzerindeki gerilimin artmasına neden olabilir. Ayrıca, karbonatlı kayaçların ayrışması sonucu oluşan sodyum sülfat veya sodyum klorür tuz çözeltileri de tuz kristallenmesine neden olabilir. En etkili kayaç çözen tuz çözeltileri magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum klorürdür. Sodyum sülfat kristal halde hacimsel olarak 4,19 kat büyüyebilirler. Bu tuz kristallenmeleri özellikle ısınma ve buharlaşma nedeniyle meydana gelen kurak iklimlerde sıkça görülür (Rodriguez-Navarro ve Doehne 1999).

2.1.1.2 Donma-Çözülme

Donma-çözülme olayı, yapı taşlarındaki çatlak ve kırıklardaki suyun donarak genişlemesiyle meydana gelir. Bu genişleme sırasında kayada oluşan gerilme, birçok kayacın dayanımından daha fazladır ve parçalanmaya neden olur. Donma-çözülme olayı,

nemli ve sıcaklık değişimlerinin sıklıkla yaşandığı alanlarda daha yaygındır. Özellikle devamlı donma koşullarının olduğu çok soğuk ortamlarda, yapı taşları üzerinde donmanın etkisi daha fazladır. Kayaların donma-çözölmeye karşı duyarlılığının bağlı olduğu faktörler arasında kayanın cinsi, mineralojik özellikleri, gözenek yapısı, gözenekliliği, sıcaklık, su emme kapasitesi ve bulunduğu ortam yer almaktadır (Amorosso ve Fassina 1983, Binal vd. 1997).

2.1.1.3 Termal Şok

Termal şok, doğal taşların ani sıcaklık değişimlerine gösterdiği tepkidir. Doğal taşlarda bulunan bazı mineraller, düşük termal iletkenlikleri ve yüksek termal genleşme katsayıları sebebiyle bu tür hasarlara karşı çok daha hassastır. Termal şok, bir termal gradyan bir nesnenin farklı bölümlerinin farklı miktarlarda genişlemesine sebep olduğu için meydana gelir. Bu diferansiyel genişleme, gerilim veya gerinim açısından anlaşılabilir. Bir noktada, bu gerilim malzemenin mukavemetini aşarak çatlak oluşumuna sebep olur. Örnek verecek olursak kalsit, çok hızlı ısıtıldığında yoğun hasara neden olan çok anizotropik termal genleşme katsayısına sahiptir (Takarlı ve Prince 2006).

2.1.1.4 Atmosferik Kirlilik

Atmosfer kirliliği, doğal taşları doğrudan etkileyen birden fazla süreçten oluşur. Bazıları zararsızdır, örneğin kirlenme gibi. Kirlenme, kentsel alanlarda veya yolların yakınında çoğu anıta gözlemlenebilen taşların genel olarak kararmasına neden olan parçacıkların (uçucu kül, gaz yanma atıkları) taşların yüzeyinde birikmesine denir. Estetik etkinin yanı sıra, bu kirlenme taşların hidrolik özelliklerini de etkileyebilir: parçacıkların daha zayıf yüzey gerilimi, taşın hidrofobisini artırarak onu daha fazla su geçirmez hale getirebilir (Dal vd. 2014).

Yapı taşları kentsel ve endüstriyel kirleticilere karşı duyarlıdır ve bu kirleticilerin miktarının artmasıyla yapı taşlarındaki bozunmanın hızı da artmaktadır (Dragovich 1991). Özellikle karbonatlı kayalar, asidik bozunma koşullarına karşı duyarlıdır ve karbonatlı kayalardan oluşan yapı taşlarında ortamda bulunan sülfür dioksit (SO₂) gibi

kirleticilerin varlığı, bozunma olayını kolaylaştırır (Tuğrul ve Zarif 1999). Taş yapılarda sıklıkla gözlenen siyah kabuklaşma yapıları, karbonatlı minerallerle sülfür dioksit arasında oluşan reaksiyon sonucu oluşan jipsleri içerir.

2.1.1.5 İslanma Kuruma

Devamlı olarak ıslanma kuruma olayının gerçekleşmesi kullanılan yapı taşının bozunmasına neden olmaktadır. İslanma sırasında kaya malzemesi genişlerken, kuruma sırasında büzülür ve bu sırada tane sınırlarında gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler zamanla tanelerin ayrılmasına ve kaya bünyesinde deformasyonlara neden olur. Asidik etkiler ve atmosferik kökenli kirletici maddeler de kayanın kendi özelliklerini kaybetmesine neden olabilir (Torraca 1988). Eğer asidik sular kaya kütlelerinin yüzeyinden uzaklaştırılmazsa bozunmalara neden olur. Ayrıca kuruma sırasında kirletici maddelerin kristalleşmesi kayanın bozunarak, özelliklerini kaybetmesine sebep olmaktadır (Sözmen 2000). Kayaların ıslanma-kuruma olaylarına karşı dirençleri, malzemenin dayanımına ve gözenek yapısına göre değişir.

2.1.1.6 Biyolojik Ayrışma

Kayalar ve minerallerin bozunmaları fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerle gerçekleşmektedir. Biyolojik faktörler bitkiler, hayvanlar ve bakterilerin etkileridir. Bakterilerin etkisiyle kayalarda oluşan biyolojik bozunma düşünüldüğünden oldukça fazladır (Ollier 1984). Organik malzemeler de sızıntı suyu, hayvansal faaliyetler vb. faktörlerin yardımıyla derinlere taşınarak ayrışmayı hızlandırmaktadır. Toprak içerisinde yaşayan hayvanlar da biyolojik bozunma sürecinde önemli etkenlerden birisidir. Biyolojik bozunmanın, bakteriler, algler, mantarlar ve likenler gibi canlıların etkisiyle meydana geldiği vurgulanmaktadır (Sözmen 2000). Bakteriler ve algler asitler üreterek, mantarlar da sitrik ve oksalik asit üreterek kayalarda bozunmaya neden olurlar. Mantarlar ayrıca silikatların çözünmesine yol açan, sitrik ve oksalik asit üretirler (Torraca 1988). Likenler ise organik asit üreterek kimyasal bozunmaya, suyu bünyelerinde muhafaza ederek de mekanik bozunmaya neden olurlar.

2.2 Doğal Taş Özelliklerinin Ayırışmaya Etkisi

Farklı minerallerin bir araya gelerek oluşturduğu kayaçların ayırışmadan etkilenme oranlarının, mineral bileşimlerinin toplamından çok daha karmaşıktır. Ayırışma, kayacın içinde bulunan mineral çeşitleri ve özelliklerine, gözenekliliğine ve geçirgenliğine de bağlıdır. Örneğin, sedimanter kayaçlarda gözenekler fazlaysa tüm taneler ayırışmadan etkilenirken, masif magmatik ve volkanik kayaçlarda taneler arası boşluk az olduğundan ayırışma sadece yüzeyde ve çatlak ve eklem düzlemleri boyunca meydana gelir (Ünver ve Ünal 1995).

Doğal taşların mekanik, petrografik ve fiziksel özellikleri, onların ayırışma süreci üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu özellikler, doğal taşların yapısını, mikroskobik yapısını ve fiziksel özelliklerini belirler ve aynı zamanda, doğal taşların ayırışma sürecine nasıl yanıt vereceğini belirler. Doğal taşın kimyasal yapısı ve mikroskobik yapısı, ayırışma yoluyla yürüttüğü çözücünün seçimine ve ayırışma hızına etki edebilir. Örneğin, kırılğan bir doğal taşın ayırışma süreci daha hızlı gelişebilir ve bu da ayırışma sürecini hızlandırabilir.

Doğal taşların özellikleri doğal taşın kimyasal katmanlarını, yapısını ve fiziksel özelliklerini tanımlar. Bu özellikler, doğal taşın ayırışmasını etkileyebilir. Doğal taşın kimyasal topluluğu ne kadar karmaşıksa, ayırışma süreci de o kadar zor olabilir. Ayrıca, doğal taşın fiziksel yapısı da ayırışma için oldukça etkilidir. Eğer doğal taşın yapısı homojen ve düzgünse, ayırışma süreci daha kolay olabilir. Ancak, doğal taşın yapısı heterojen ve düzgün değilse, ayırışma süreci daha zor olabilir (Dal vd. 2016).

2.2.1 Petrografik Özellikler

Petrografik özellikler, doğal taşların mikroskobik yapısını ve mineralojik kompozisyonunu belirler. Petrografik özellikler, bir taşın dayanıklılığını ve hava koşullarına karşı duyarlılığını etkileyebilen mineral bileşimi, dokusu ve yapısını ifade eder. Bazı petrografik özellikler bir taşı hava koşullarına karşı daha dirençli hale getirirken, diğerleri onu daha savunmasız hale getirebilir.

Diğer bir önemli petrografik özellik ise dokudur. Bazı kumtaşı türleri gibi yoğun ve düzgün dokuya sahip taşlar, bazı kireçtaşı türleri gibi daha gözenekli ve heterojen dokuya sahip taşlara göre genel olarak hava koşullarına karşı daha dirençlidir. Bunun nedeni, gözenekli taşlardaki gözeneklerin ve yarıkların, suyun ve diğer ayrışma ajanlarının taşın içine nüfuz etmesi ve bozunması için yollar sağlamasıdır.

2.2.1.1 Mineral Bileşimi

Yapı taşlarının ayrışmasını etkileyen önemli bir özellik mineral bileşimidir. Mineral bileşimi, doğal taşların hangi minerallerden oluştuğunu ve bu minerallerin oranlarını belirler. Mineral bileşimi, doğal taşların mekanik, petrografik ve fiziksel özelliklerini de belirler. Granit gibi yüksek kuvars içeriğine sahip taşlar genellikle kireçtaşı gibi daha yüksek kil mineral içeriğine sahip taşlara göre hava koşullarına karşı daha dirençlidir. Bunun nedeni, kuvarsın, daha yumuşak ve kimyasal olarak daha reaktif olan kil minerallerine göre hava koşullarına karşı daha az reaktif olan sert ve dayanıklı bir mineral olmasıdır.

2.2.2 Fiziksel Özellikler

Fiziksel özellikler (gözenek boyut dağılımı, gözeneklilik, yoğunluk, su emme gibi), doğal taşların sıcaklık, nem, basınç gibi çevre koşullarına ve dolayısıyla doğal taşların ayrışma sürecine nasıl yanıt vereceğini belirler. Örneğin, gözenekliliği yüksek olan doğal taşlar daha kolay ayrışır.

2.2.2.1 Gözeneklilik

Taşın gözenekliliği, taşların ayrışmasındaki en önemli özelliklerden biridir. Boşluk yapısı, ısının çok düşük olduğu coğrafi bölgelerde, özellikle nemli ortamlarda daha da tehlikeli bir durum arz eder. Zira su, don olayında hacim genişlemesine uğrayarak boşluklarda iç basınçların artmasına ve boşluk hacminin genişlemesi ile başlayan ayrışmalara neden olabilmektedir. Gözeneklilik, doğal taşların içinde hava ve su gibi gazların ve sıvıların geçebileceği boşlukların miktarını ve büyüklüğünü belirler.

Gözeneklerin varlığı, doğal taşların parçaları arasındaki sıkışmayı azaltır ve bu nedenle ayrışmayı artırmaktadır. Mikro gözenekler ve mikro çatlakların, tuz kristalleşme döngülerine daha duyarlı olduğu bulunmuştur. Bu küçük ölçekli kusurlar, çözeltilerin yoğunlaşması için ideal alanlar sağlar ve tuzla ilgili taş bozunma süreçlerini kolaylaştırır. Bu gözenek ve çatlaklarda tuz kristallerinin birikmesi zamanla malzemenin daha da bozunmasına neden olabilir.

2.2.2.2 Gözenek Boyut Dağılımı

Doğal taşların ayrışmasında önemli bir özellik olan su emme miktarı gözeneklilik oranına bağlıdır. Gözenek oranları değişiklik gösterebildiği için gözenekliliğe bağlı boyut dağılımının da bilinmesi gerekmektedir. Örneklerin gözenek çapı dağılımlarını hesaplamak için cıvalı porozimetre cihazı kullanılmaktadır. Gözenek boyutu dağılımı, gözenek şekli ve bağlantısı da doğal yapı taşlarının özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir. Örneğin, birbirine bağlı gözenekler, su ve diğer sıvıların taşınmasını kolaylaştırabilirken, izole gözenekler daha sınırlı bir etkiye sahip olabilir.

2.2.2.3 Su Emme

Gözenekliliği az olan doğal taşların su emme özelliğini, gözenekliliği fazla olanlara göre daha azdır. Gözenekli doğal taşlar, yağmur veya yüzey suları ile temas ettiğinde kılcal su emme etkisiyle suyu bünyesine alır. Bu etki, doğal taşın suya doyması ile birlikte, suyun kılcallık etkisiyle dikey olarak doğal taşın içinde yükselmesi ve doğal taşın yüzeyinden buharlaşması sonucu oluşur (Ertaş 2001). Kayaçların bu özelliği, doğal taşlarda meydana gelen fiziksel ayrışmanın önemli nedenlerinden biridir. Su emme, doğal taşların nemli koşullarda suyun doğal taşların içine emilebilme yeteneğini belirler. Su emme, doğal taşların ayrışma sürecine etki eder. Su emme özelliği taşın gözenekliliği ve gözenek boyut dağılımı gibi fiziksel özelliklerine göre değişiklik gösterir. Su emme özelliği yüksek olan taşların suyu daha çabuk emebilme özelliği vardır.

2.2.3 Mekanik Özellikler

Kayaçların mekanik özellikleri kullanım yerlerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Mekanik özellikler, doğal taşların dayanıklılık, süneklik, elastikiyet ve kırılma eğilimlerini belirler. Bu özellikler, doğal taşların ayrışma sırasında nasıl deforme olacağını ve nasıl kırılacağını belirler. Kayaçların mekanik özelliklerine göre, daha sünek ve elastik olanlar daha az kırılğan ve daha az deforme olacaktır, bu nedenle daha az ayrışma göstereceklerdir.

Doğal taşların mekanik özellikleri, taşın sıkıştırılma, basınç, çekme, bükme ve ezilme gibi fiziksel açıdan zorlanmalara dayanıklılığını belirler. Basınç direnci, taşın yük altında parçalanmaya karşı dayanıklılığıdır. Basınç direnci yüksek olan taşlar, yük altında daha az parçalanma riski taşırlar. Çekme direnci, taşın yük altında uzama veya gerilmeye karşı dayanıklılığıdır. Çekme direnci yüksek olan taşlar, yük altında daha az uzama ve gerilme gösterirler. Bükme direnci, taşın yük altında bükülmeye karşı dayanıklılığıdır. Bükme direnci yüksek olan taşlar, yük altında daha az bükülme riski taşırlar. Ezilme direnci, taşın yük altında ezilmeye karşı dayanıklılığıdır. Ezilme direnci yüksek olan taşlar, yük altında daha az ezilme riski taşırlar.

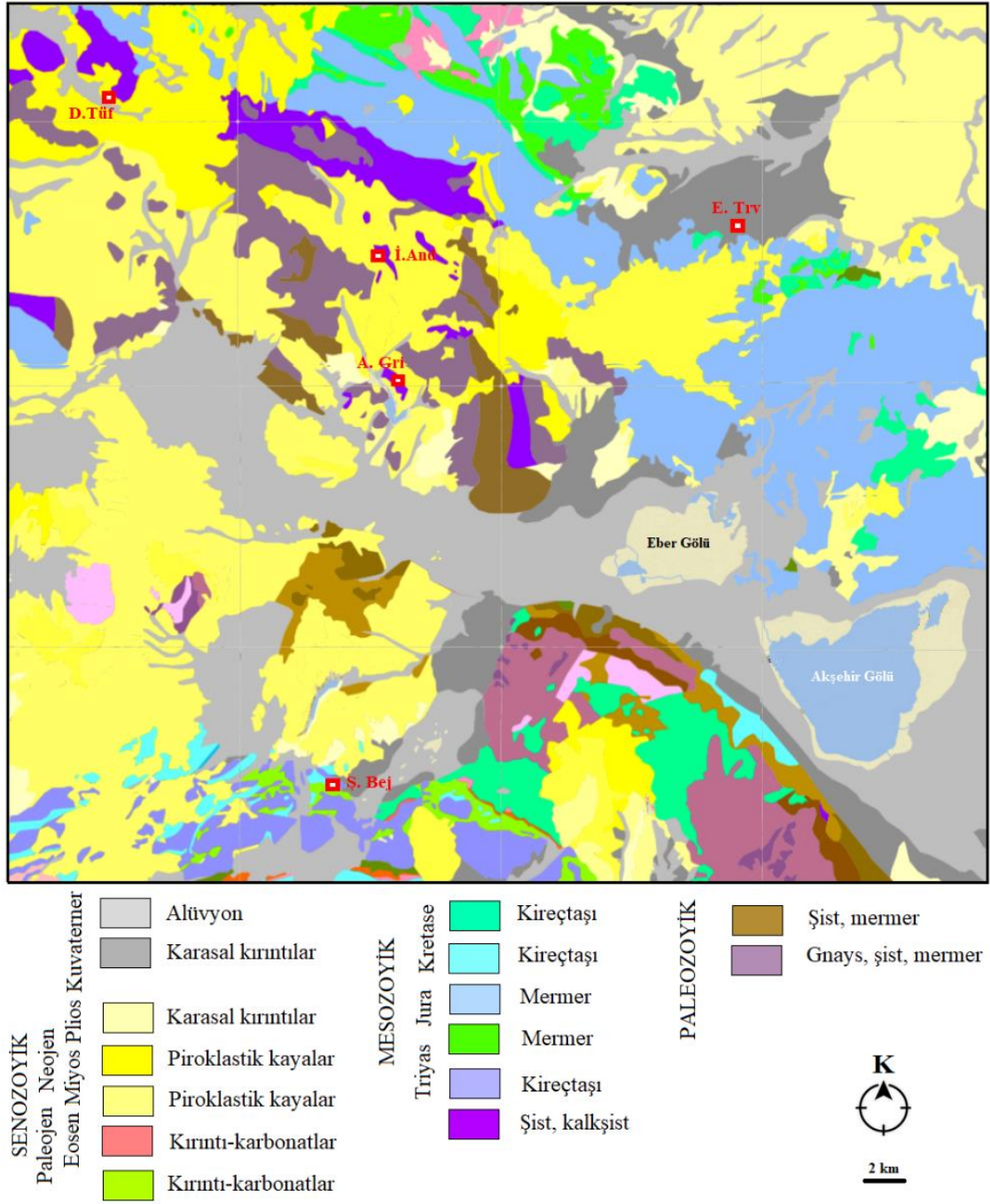
Doğal taşların mekanik özellikleri, taşın kimyasal bileşimine, mikroyapısına, kristal şekline ve yapısına göre değişiklik gösterir. Örneğin, granit veya mermer gibi sert ve kırılmaya dirençli taşlar, sıkıştırılma, basınç, çekme, bükme ve ezilme gibi mekanik özellikleri yüksek olan taşlardır. Kayaçların mekanik özellikleri, kayaç malzemesinin statik ve dinamik yükler altında gösterdikleri davranış modellerini ortaya koyan parametrelerdir (Öztürk 2006). Mekanik özellikler laboratuvarlarda yapılan deneylerle belirlenir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Afyonkarahisar Yöresi Jeolojisi

Afyonkarahisar yöresinde Paleozoik, Mesozoyik ve Senozoyik kaya birimleri bulunmaktadır. Bölgenin en yaşlı birimleri yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş olan Paleozoyik yaşlı Afyonkarahisar metamorfitleridir. Bunların üzerine Orta-Üst Triyas yaşlı Emirdağ Grubu gelmektedir. Emirdağ grubu bölgede çok geniş alanlar kaplamaktadır. Genel olarak KB-GD doğrultusunda yüzeylenen bu grubun üyeleri Emirdağlarını oluşturmaktadır. Emirdağ Grubunun üyeleri Karaçaltepe kireçtaşları, Yürük Karacaören ve Koraşi formasyonlarıdır. Emirdağ grubu formasyonları üzerine uyumsuz olarak Kretase yaşlı “bloklı seri” gelmektedir. Tersiyer birimleri “Gebeciler formasyonu” üyelerinden oluşmaktadır. Bu birimler Üst Miyosen-Üst Pliyosen yaşlı olup bloklı seri üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Gebeciler formasyonu üzerine yine uyumsuz olarak Kuvaterner alüvyonları gelmektedir (Metin vd. 1987; Uman ve Yergök 1979). Afyonkarahisar yöresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 3.1’de ve genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan doğal yapı taşı örneklerinin bulunduğu ocakların bölgesel jeoloji haritası (İnt. Kyn.1).

Üst Sistem	Sistem	Seri	Simge	Kalınlık (m)	Kesit	Litoloji
SENOZOYİK	NEOJEN	Pliyosen				Alüvyon
						Alüvyon Yelpazesi
			Pl-Mrn2	50		Marn Belirsiz tabakalı, gevşek tutturulmuş çamurtaşı ve marn
			Pl-Kgm	50		Konglomera Kalın tabakalanmalı, karbonat çakıllı karasal konglomera
			Pl-Kçt	220		Kireçtaşı Mikritik, sert, kırılğan, silis-marn arabantlı killi kireçtaşı
		Miyosen	Pl-Mrn	100		Marn Orta tabakalanmalı kum, çakıl, tuf, tüfit ara katkılı
			Mi23-Mrn	250		Miltaşı, Çamurtaşı, Marn Gölsel, orta-ince tabakalı miltaşı, çamurtaşı ve marn ardalanması
			Mi23-Kgm	300		Tuf-aglomera, trakit, andezit volkanizması
						Konglomera Kalın ve kötü katmanlanmalı, konglomera-kumtaşı-silttaşı ve kiltası ardalanması
MESOZOYİK	Jura-Kretase	JKr1-Kçt	300-350		Kireçtaşı Orta-kalın tabakalanmalı, bol eklemli, erime gösteren, yer yer kumtaşı ardalanmalı kireçtaşı	
		Tr3J1-Mrn	100		Marn, Kumtaşı, Şeyl Kirli-sarı kumtaşı, marn, şeyl ardalanması	
		Tr3J1-Dtr	50		Konglomera, kumtaşı, silttaşı	
	Triyas	Tr23-Kçt	1500		Kireçtaşı Orta-kalın tabakalanmalı, yer yer karstlaşma gösteren, eklem sistemleri gelişmiş, yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş kristalize kireçtaşları - dolomitik kireçtaşları	
PALEOZOYİK	Afyon Metamorfitleri	Pz-MV1	200		Metavolkanik Kuvars, serisit-kuvars, alkali-feldispat-kuvars şist	
		Pz-Kuv	200		Kuvarsit Kalın tabakalanmalı, sert, eklemli kuvarsit, Matriksi mikrokristalen kuvars, klorit ve serisit şist	
		Pz-Kçt	250		Kireçtaşı Sert, kristalize,mermer görünümlü, kalın tabakalanmalı, kıvrımlı kireçtaşı, kalkışist, kuvars-serisit şistler ile ardalanmalı	
		Pz-Mkg	150-300		Metakonglomera Kalın tabakalanmalı, yuvarlak kuvarsit çakılları Matriks kuvars-biotit, muskovit şist	
		Pz-Mrn	300		İscehisar Mermerleri Kalın-çok kalın tabakalı, büyük bloklar verebilen, ince kristalli beyaz-bej mermer	
		Pz-Sst			Şist Kuvars-muskovit-serisit şist, kuvars-albit-klorit şist, metakumtaşı, metakonglomera ve kalkışist ardalanması	

Şekil 3.2 Afyon bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Tezcan vd. 2002).

3.1.1.1 Paleozoik yaşı birimler

Afyonkarahisar Metamorfitleri, genellikle kahve, boz, yeşil renkli, kıvrımcıklı granoblastik dokulu, şisti yapılı ve görünüşte ileri derecede metamorfik kaya izlenimi vermektedir. Genel olarak albit-klorit-muskovit-biotit-kuvars şistlerden oluşmuştur. Ayrıca bu şistler içerisinde yer yer büyük mercek ve bantlar halinde metakonglomera, metakumtaşı, mermer ve kalkışistler yer alır. Birimin kalınlığının yaklaşık 2000 m olduğu tahmin edilmektedir. Afyonkarahisar'ın KB, K ve GB'sında geniş alanlar kaplar (Metin vd. 1987).

İscehisar Mermerleri, olarak bilinen birim beyaz, sarımsı, bej, boz renkli kalın tabakalı olup adını mostrası yakınındaki İscehisar ilçesinden almıştır. Beyaz, gri, alacalı, krem renkli, kalın-çok kalın tabakalanmalı, büyük bloklar verebilen, ince kristalli çok kıymetli bir mermer türüdür. Bu birim de onlarca mermer ocağı işletilmektedir. Bu tez kapsamında incelenen Afyon gri mermer de bu birimden üretilmektedir. Birim Afyonkarahisar Metamorfitleri içinde mercek konumlu olarak bulunmaktadır. Kalınlığı en fazla 300 m kadar olan birim, İscehisar güneyinde KB-GD doğrultusunda uzanan yaklaşık 6 km uzunluğunda, 1,5 km genişliğinde bir alan kaplar. Fosil kapsamayan birim, Afyonkarahisar Metamorfitleri ile aynı yaştadır (Metin vd. 1987).

Deliktaştepe Metakonglomera Üyesi, boz renkli, kalın, düzgün katmanlı, yuvarlak ve iri kuvarsit çakıllarından oluşmuştur. Boz-kahve renkli, kalın-çok kalın tabakalanmalıdır. Bu konglomeralar yuvarlanmış 2-10 cm çapında kuvars ve kuvarsit çakıllardan oluşmuştur. Matriksi kum, kil ve şilttir. Metamorfizma sonucu matriks biotit, muskovit, klorit ve kuvars şiste dönüşmüştür. Kalınlığı değişken olup, 150-300 m arasında değişir (Metin vd. 1987).

Bayat Metakonglomera Üyesi, kahve-boz renkli, kalın tabakalı, şist, kuvarsit ve mermer çakıllarından oluşur. Bu birimin, karbonat çimentolu oluşu ve mermer çakılları kapsaması ile Deliktaştepe Metakonglomeralarından farklı olarak yorumlanmıştır. Afyonkarahisar Metamorfitleri içinde yer alan bu birim, üste doğru Paşadağ mermerlerine geçiş gösterir. Yaklaşık 200 m kalınlığa sahiptir. Fosil içermeyen birim Afyonkarahisar Metamorfitleri

ile aynı yaştadır (Metin vd. 1987).

Paşadağ Kireçtaşı Üyesi, beyaz, gri, koyu gri renkli kalın tabakalanmalı kristalize kireçtaşıdır. Paşadağ Kireçtaşları tipik olarak, adını aldığı Paşadağı'nda gözlenir. Beyaz-kirli beyaz-gri-koyu gri renkli, taze yüzeyi beyaz ve gri renkli, sert, kristalize ve yer yer mermer görünümündedir. Genellikle kalın tabakalanmalı olarak izlenir. Birimin kalınlığı değişkendir. Kalınlık 100-250 m arasında değişir (Metin vd. 1987).

Sarıyartepe Kuvarsit Üyesi, sarımsı kahverengimsi, çok kalın tabakalanmalı kuvars, mikrokristalen kuvars taneleri, klorit ve serisitten oluşan bir matriksle çimentolanmasından meydana gelmiştir. Sert, dayanımlı ve eklemlidir. Birimin kalınlığı yaklaşık 200 m dir (Metin vd. 1987).

3.1.1.2 Mesozoyik yaşlı birimler

Emirdağ grubu adı altında üç formasyon ayırtlanmış olup, grubun ana birimi Karaçaltepe kireçtaşı formasyonu oluşturur. Yörükkaracaören formasyonu, genellikle konglomeralardan oluşmakta olup, transgresif deniz ürünü olarak metamorfikler üzerine diskordan olarak meydana gelmektedir. Koraşı formasyonu Karaçaltepe formasyonu içinde, onunla yanal ve düşey geçişli kırıntılardan oluşmaktadır. Bu kırıntılı tabakalar arasında, kireçtaşı mercekleri ve stratiform bazik magmatik kaya mercekleri ve blokları gözlenir (Metin vd. 1987).

Karaçaltepe formasyonu, Orta-Üst Triyas yaşlı olup grubun ana birimini oluşturmaktadır. Bu birim altta beyaz ve gri renkli, kalın tabakalanmalı kristalize kireçtaşı ve üzerinde ince bir detritik seviyeden sonra çört yumrulu ve bantlı kireçtaşı seviyelerinden oluşmaktadır. Birimin en üst seviyelerinde ise yanal ve düşey geçişli dolomitize kireçtaşları görülmektedir. Genellikle alt düzeylerde yer alan beyaz, kirli beyaz renkli, şeker dokulu kristalize kireçtaşları yer yer mermerleşmiştir. Bu beyaz kristalize kireçtaşları ile yanal ve düşey geçişli olarak izlenen dolomitize kireçtaşları gri, koyu gri, siyah renkli, kalın orta düzgün tabakalı ve pis kokuludur. Karaçaltepe kireçtaşı yaklaşık 800-1500 m arasında kalınlık sunmaktadır (Metin vd. 1988).

3.1.1.3 Senozoyik birimler

Senozoik birimler, Gebeciler formasyonu olarak tanımlanmıştır. Formasyonun genel rengi beyaz, grimsi beyaz renkli, ince-orta-kalın katmanlı, altta t f-tüfit-marn killi kireçtaşları, kumtaşı ve aglomeralardan oluşan  zburun marn  yesi, üstte killi ve silis ara bantlı, sert, mikritik kireçtaşlarından meydana gelen Akpınar  yesi ile Erdemir konglomera ve Feleli marn üyelerinden oluşur (Metin vd. 1987).

 zburun marn  yesi, beyaz, beyazımsı gri renkli, orta tabakalı, yumuşak volkan sedimanter kayaç katkılı, genellikle marnlardan oluşan bu birim kireçtaşlarının altında yer alır. Altta temel Yeniköy formasyonu üzerine diskordans olarak gelen birim,  stten Akpınar kireçtaşı  yesi ile uyumludur. Birimin kalınlığı 25-100 m arasında değişim sunmaktadır. Birimin ya ı  st Miyosen- st Pliyosendir (Uman ve Yergök 1979; Metin vd. 1987).

Akpınar kireçtaşı  yesi, beyaz krem renkli, orta kalın ve çok kalın tabakalanmalı, ince kristalli, çok sert, yer yer kil bantlı mikritik kire ta ıdır. Bu  alı ma kapsamında incelenen  uhut kireçtaşı bu birimden üretilmektedir. Yaprak fosili izleri taşır. Alttan  zburun  yesi ile uyumlu ve geçişlidir. Bazı kesimlerde temele yaslanmış ve 15 'ye yakın eğim kazanmıştır. Üst dokanağı ise bazı kesimlerde Erdemir konglomera  yesi ile örtülmüştür. Çoğu yerlerde birimin üzerine herhangi bir formasyon gelmemekte, yalnızca Kuvaterner olu ukları kapsamaktadır. Birimin kalınlığı 220 m civarında olup bu kalınlı Akpınar yöresine aittir ya ı  st Miyosen  st Pliyosendir (Metin vd. 1987).

Erdemir konglomera  yesi, boz renkli, kalın tabakalanmalı, kum-mil destekli, iri, yuvarlak kireçtaşı ve diğer cins çakıllı karasal konglomeralardır. Genellikle masif eteklerinde görülür. Alüvyon yelpazesi ve yamaç örtüsü özelliği taşır. Gebeceler Formasyonunun bir  yesi olan birim bunla uyumludur. Kalınlığı yaklaşık olarak 30-50 m arasındadır. Formasyon  st Pliyosen yaşındadır (Metin vd. 1987).

Kuvaterner kayaları, üstü alüvyon ve yamaç molozları ile örtülüdür. Bu birimde bulunan

Emirdağ travertenleri beyaz, gri, açık bej, bej renkli olup boşlukludur. Boşlukları çoğu kez doğal kalsit dolguludur. Emirdağ yöresinde çok sayıda traverten ocağı işletilmektedir. Emirdağ travertenleri masif yapılı olup çok büyük bloklar verebilmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen Emirdağ gümüş travertenleri de bu birimden üretilmektedir.

Alüvyon ve yamaç molozu, Gevşek veya az tutturulmuş kötü boylanmış kum ve kil mercekli, geçirimli çakıl, kum ve kil karışımından oluşmuştur. Taneler köşeli ve az yuvarlaklaşmış şekildedir. Kuvaterner tatlı su ve akarsu fasiyesi özelliklerini yansıtır (Metin vd. 1987).

3.1.1.4 Volkanik kayalar

Afyonkarahisar bölgesi, Üst Miyosen sonunda başlayarak tüm Pliyosen boyunca devam eden volkanik faaliyetlerin etkisinde kalmıştır. Bu volkanik faaliyetlerin ürünü olarak dasitik tüfler, aglomeralar, andezitler, trakitler, trakiandezitler ve bazaltlar bölgede çok geniş alanlar kapladıkları gibi, çok büyük ve yüksek dağlar oluşturmuşlardır. Gerek bu dağlardan aşınan ve taşınan gereçler, gerekse volkanlardan çıkan gereçler, havzadaki göllerde devam eden sedimantasyona karışmışlardır.

Seydiler tuf ve aglomeraları inceleme alanının batısında, Ankara-Afyonkarahisar asfaltının 1,5 km güneydoğusundaki Şeydiler köyü yöresine tipik olarak gözlendikleri için bu isim verilmiştir. Şeydiler tuf ve aglomeraları beyaz renkli, kolay aşınabilen peri bacaları gibi aşınım bölgede hemen dikkat çekmektedir. Bölgedeki volkanik kayaların stratigrafik konumu, altta tüfler, tüflerin üzerinde de aglomeralar ve en üstte andezitler şeklindedir. Aglomeratik düzeyler iri volkanik gereçler ve tuf karışımından oluşmuştur. Birimin yaklaşık kalınlığı yaklaşık 200 m dir (Metin vd. 1987).

Seydiler tufu, genellikle süt beyazı, krem renkli olup, çok kalın katmanlanma sunarlar. Çeşitli kristal parçalarının (kuvars, plajiyoklas-oligoklas, andezin-biyotit lamelleri ve opak taneleri) camsı bir çimento ile bağlanmasından oluşan tüflerdir. Çok geniş yayılımları olan tüfler kolay aşınır topografyası ile dikkati çekerler. Geniş yayılımı olan bu birim, altta Gebeceler Formasyonu ile girik, Gebeceler Formasyonu'nun bulunmadığı

yerlerde ise direkt şistler üzerinde yer alır. Genellikle süt beyaz ve krem renkli olup, çok kalın tabakalanmalar gösterir. Bol miktarda kuvars kristali içermektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen Döğer tüfleri de bu birimde yer almaktadır (Metin vd. 1987).

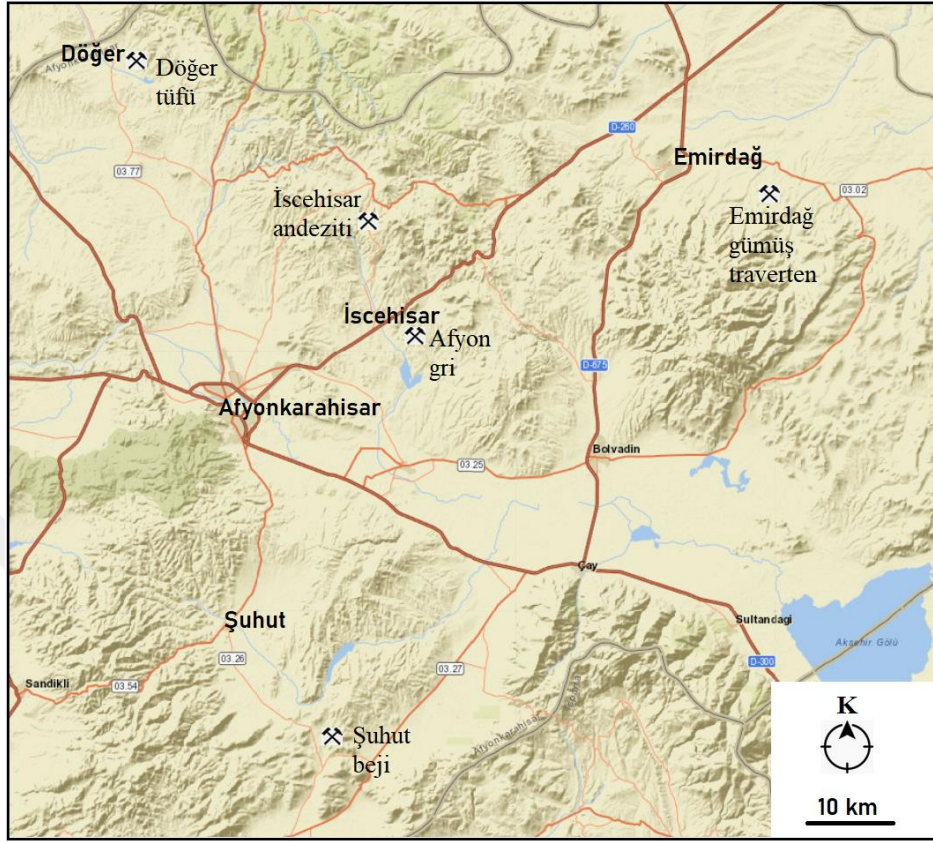
Adatepe andeziti, çok geniş yayımlı olup, yüksek dağlar, sert ve dik topografya oluştururlar. Kahverengimsi ve boz renkte genellikle tuf ve aglomeraların üzerinde yer alan andezitik kayaçlar, andezit-trakibazalt mineral kompozisyonuna sahiptirler. Yanal olarak değişkendir. Bu çalışma kapsamında incelenen İscehisar andeziti bu birimde yer almaktadır. Andezitik volkanitlerin yaklaşık kalınlığı 0-150 m dir. Bölgede çok geniş yayılımı olan bu birim, tek bileşenli olmayıp, birbirleriyle geçişli olan andezit, trakit, traki-andezit, ojit andezit, latit andezit, piroksen andezit ve bazalt andezit gibi türlerden oluşmuştur. Andezitik lav akıntısı görünümündeki kayaçta, opaklaşma ve kil mineralleşmesinin yaygın olduğu görülmüştür. Kayacın dokusu hiyalopilitik olup, akıntı yapısı içinde piyajiyoklas mikrolitleri ve biotit, hornblend mikrolitleri incelenmiştir (Metin vd. 1987).

3.1.2 İncelenen Doğal Yapı Taşlarının Özellikleri

Bu tez çalışmasında, seçilen farklı kökenli doğal yapı taşları (İscehisar andezit (İA), Döğer tüfü (DT), Emirdağ gümüş traverten (EGT), Şuhut kireçtaşı (ŞK) ve Afyon gri mermer (AGM)) örneklerinin alındığı ocakların yer bulduru haritası Şekil 3.3'te verilmiştir. İncelenen doğal yapı taşı örneklerinin alındığı ocaklar günümüzde faal olarak üretim yapmaktadır. İncelenen doğal taşlarının ticari isimleri ve kökenleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 İncelenen doğal taşlarının kodları, ticari isimleri ve kökenleri.

Kod	Yapı taşı ismi	Ticari ismi	Kökeni
İA	İscehisar Andeziti	İscehisar Andeziti	Volkanik
DT	Döğer Tüfü	Döğer Tüfü	Sedimanter
EGT	Emirdağ Traverten	Emirdağ Gümüş Traverten	Sedimanter
ŞK	Şuhut Kireçtaşı	Şuhut Bej	Sedimanter
AGM	Afyon Gri Mermer	Afyon Gri Mermer	Metamorfik



Şekil 3.3 Deneylerde kullanılan doğal yapı taşı örneklerinin alındığı ocakların yer bulduru haritası.

3.1.2.1 İscehisar Andeziti

Andezitler, diyoritlerin yüzey kayaçlarıdır. Andezitlerde plajioklas (andezin) ve amfibol (hornblend) grubu mineraller çoğunluğu oluşturmaktadır. Az olarak kuvars, piroksen grubu, olivin, biyotit gibi mineraller de bulunabilir. Volkanik kayaçlar arasında çok bulunan bir kayaç türüdür. Ülkemizde yaygın bir şekilde yüzeylenen andezitler nötr kökenli bir magmadan oluşur (Çelik 2015).

Afyon civarında yapı taşı olarak kullanılan andezitler İscehisar kuzeyindeki Ağın Dağı yöresindeki ocaklardan üretilmektedir. Söz konusu ocaklar aktif olup üretilen andezitler bölgede yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan andezit örnekleri İscehisar'da bulunan ocaktan moloz şeklinde alınarak deneylerde kullanılmak üzere standartlarda öngörülen 50×50×50 mm olarak ebatlanmıştır.

Andezitlerin rengi alterasyona bağlı olarak grimsi, kırmızımsı kahverengi ve pembemsi renktedir. İscehisar andeziti, inşaat projeleri için çeşitli estetik ve pratik faydalar sunan, yaygın olarak kullanılan ve çok yönlü bir yapı taşıdır. Dayanıklılığı ve hava koşullarına karşı direnci, dış mekân uygulamaları için popüler bir seçim haline getirmiştir. İscehisar andezit ocağının görünümü Resim 3.1’de ve İscehisar andeziti deney örneklerinin görünümü Resim 3.2’de verilmiştir.



Resim 3.1 İscehisar andezit ocağının görünümü.



Resim 3.2 İscehisar andeziti deney örneklerinin görünümü.

Andezitler kışın buzda kaymaz özellik göstermeleri, aşınma ve atmosfer etkilerine dayanıklı oluşları, diğer magmatik kayalara göre (granit vb.) daha kolay ve ucuz üretilmeleri nedeniyle kent yolları için ideal bir malzemedir. Andezitler, parlatılmadan parke, kaplama, blokaj, kaldırım ve inşaat taşı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca çekişlenmiş veya kaba yontulmuş yüzey şekilleri ile tarihi dokuyu hatırlatan yapılarda kullanılmaktadır (Çelik 2015). Afyonkarahisar’da andezit kullanılarak yapılmış bazı yapılar Resim 3.3’ de görülmektedir.



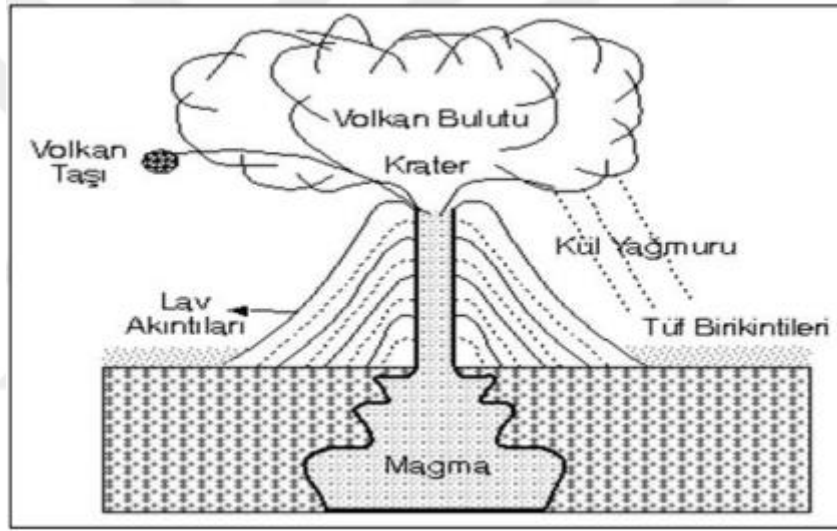
Resim 3.3 İscehisar andezitlerin Afyonkarahisar yöresinde tarihi yapılarda kullanımına örnekler: a) Otpazarı Cami (1590 öncesi), b) Kuyulu Cami (1900), c) Kâbe Mescit Cami (1397), d) Arapmescit Cami (1800 öncesi), e) Kubbeli cami.

3.1.2.2 Döğçer Tüfü

Tüfler, volkanik taneli malzeme ve volkan külünün kayaç şeklinde birikmesiyle oluşan kayaçlardır. Tüflerin tane boyutu 2 mm'den küçük olup, volkan camı, kristal ve kayaç parçaları içerir (Karaman ve Kibici 2008, Daloğlu ve Emir 2010). Tüflerin oluşumu volkanik taneli malzemenin belirli alanlara taşınması, depolanması ve pekişmesiyle gerçekleşir. Denizlerde ve göllerde oluşan tüfler "denizel" ve "gölsel" olarak adlandırılır

(Kulaksız 2007). Tüfler iki şekilde oluşmaktadır. Bunlardan birincisi volkanik malzemenin yamaç boyunca akıntı şeklinde oluşmasıdır ve bunlar ignimbirit olarak isimlendirilir. Diğer oluşum şekli ise volkanik külünün tane boyutuna göre istiflenmesi ve kaynaklanması ile oluşmaktadır (Çelik 2003b).

Tüfler, katılaşmış piroklastik kayalardır ve volkanik kökenli olmalarına rağmen, sedimanter ortamlarda da oluşabilirler. Volkanlardan çıkan malzeme gaz olarak buhar, sıvı olarak lav şeklinde ve katılaşmış olarak piroklastik malzemelerdir (Çelik 2015). Volkanik malzeme ile birlikte tüflerin oluşması Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Tüf malzemelerinin oluşumları (Çelik 2015).

Bu tez çalışmasında kullanılan tüf örnekleri Afyonkarahisar – İhsaniye – Döğer’de çıkarılmaktadır. Döğer tüf ocağının görünümü Resim 3.4’te verilmiştir. Döğer tüfü Afyonkarahisar ve çevresinde inşaat sektöründe yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan tüf örnekleri Döğer’de bulunan ocaktan alınarak deneylerde kullanılmak üzere standartlarda öngörülen 50×50×50 mm boyutlara kesilmiştir (Resim 3.5). Döğer tüfü, düşük yoğunluklu gözenekli bir piroklastik kayadır. Bu tüf tipik olarak krem-bej renğinde olup, çeşitli boyutlarda fenokristaller ve litik parçalardan oluşur ve pürüzlü dokulu bir yüzeye sahiptir. Tüfün rengi dışında litik parçalar koyu bej ve kahverengimsi renktedir. Önemli sürekli büyük boşlukları yoktur, ancak birçok küçük süreksiz boşlukları vardır. Afyonkarahisar yöresinde birçok tarihi bina ve yapılarda da

Döğer tüfü kullanılmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.4 Döğer tüf ocağının görünümü.



Resim 3.5 Döğer tüfü deney örneklerinin görünümü.



Resim 3.6 Afyonkarahisar yöresinde Döğertüflerinin tarihi ve güncel yapılarda kullanımı. a. Döğertüfler Kervansarayı (1440), b. Mevlevi Türbesi Cami (1905), c. Çakır köyü Cami (1970), d. bir köy evi.

3.1.2.3 Emirdağ Gümüş Traverten

Kalsiyum karbonat birikimi olan travertenler, bataklıklarda, nehirlerde ya da sıcak su kaynaklarının etrafında oluşur ve biyokimyasal yolla ya da çimentolamayla çökelirler. Travertenler gözenekli yapısı veya yoğunluğuna bakılmaksızın bitki kalıntıları üzerindeki karbonat kabuklanmaları olarak tanımlanmaktadırlar. Gerçekten fosil travertenler çok sayıda boşluğun tamamının bir arada çimentolanmasıyla oluşmuş olup sık dokuludurlar (Atabey 2003).

Travertenler, kimyasal sedimanter kayaçlar arasında yer almaktadırlar. İçeriğinde kalsiyum bikarbonat bulunduran sıcak suların, çatlak veya deliklerden yeryüzüne çıkmasıyla hidrostatik basınç kalkar ve bileşimindeki CO_2 uçar, CaCO_3 çökelmektedir. Bu çökeliş katılaştıran ve CaCO_3 bileşimli olan katı madde traverten olarak isimlendirilir.

Gümüş traverten ticari adıyla bilinen traverten oluşumları, Karacalar- Demircili Emirdağ (Afyonkarahisar) bölgesindeki ocaklardan çıkarılmaktadır. Gümüş traverten örnekleri

heterojen renkli, grimsi-sarı, açık gri-grimsi beyaz ve yer yer koyu gri renktedir. Gözenekli traverten örneklerinde gözenekler düzensiz olup kısmen kalsit ile doldurulmuştur. Traverten örnekleri ince taneli karbonat bileşenlerinden oluşmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan Emirdağ gümüş traverten örnekleri Emirdağ bölgesinde bulunan ocaklardan temin edilmiştir. Emirdağ gümüş traverten ocağının görünümü Resim 3.7’de, deney örneklerinin görünümü Resim 3.8’de verilmiştir.



Resim 3.7 Emirdağ Gümüş Traverten ocağının görünümü.



Resim 3.8 Emirdağ Gümüş Traverten deney örneklerinin görünümü.

3.1.2.4 Şuhut Kireçtaşı

Kireçtaşı terimi genellikle %50'den fazla kalsiyum karbonat içeren tortul kayaçlar için kullanılır (Cox vd. 1974). Kireçtaşı, esas olarak mineral kalsitten (CaCO_3) oluşan sedimanter bir kayadır. Suda biriken kalsiyum bikarbonattan kristalleşerek veya litifikasyona uğrayan deniz organizmalarının iskelet ve kabuk parçalarının birikmesiyle oluşur (Carlson vd. 2008). Kireçtaşları inşaat sektöründe dış ve iç kaplama, yer karosu gibi dekoratif amaçlı kullanılmaktadır.

Tez çalışmamızda kullanılan Şuhut kireçtaşı ocağı, Afyonkarahisar İli, Şuhut İlçesi Göcen mevkiinde bulunmaktadır. Şuhut kireçtaşı ocağı görünümü Resim 3.9'da ve deney örneklerinin görünümü Resim 3.10'da verilmiştir. Şuhut kireçtaşı ilgili ocaktan temin edilmiştir. Şuhut kireçtaşı örnekleri gri renkte olup, damarlı yapılarına göre farklı seleksiyonlarda blok üretimi yapılmaktadır.



Resim 3.9 Şuhut kireçtaşı ocağı görünümü.



Resim 3.10 Şuhut kireçtaşı deney örneklerinin görünümü.

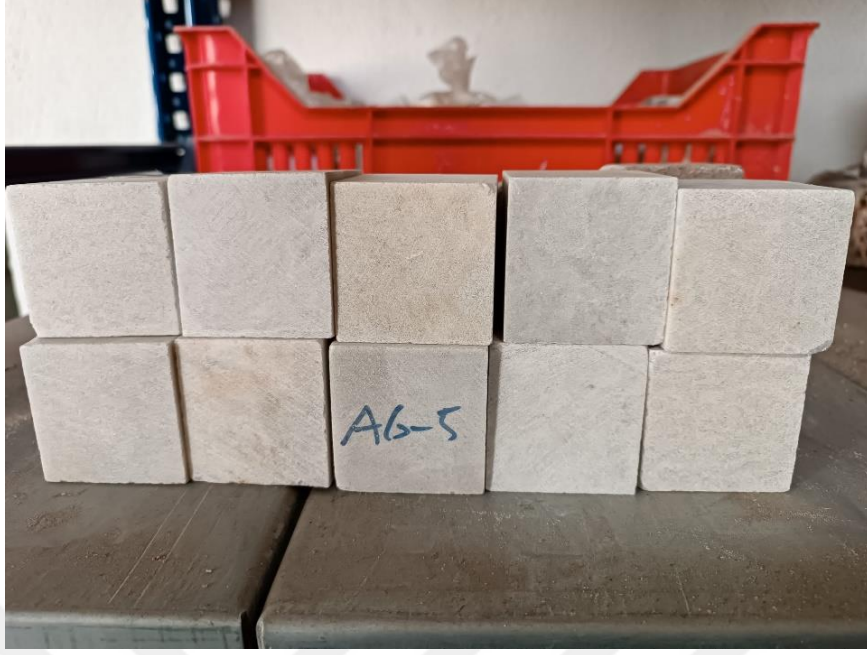
3.1.2.5 Afyon Gri Mermer

Örneklerin alındığı Afyon gri mermerinin üretildiği ocak Afyonkarahisar İlının, İscehisar ilçesinde bulunmaktadır. Yaklaşık 2300 yıldır antik dönemlerden beri bilinen İscehisar mermerleri tüm dünyada tanınmaktadır (Çelik 2003a).

Tez çalışmasında kullanılan Afyon gri mermer numuneleri, Afyonkarahisar İlının İscehisar ilçesinde bulunan ocaktan molozlar halinde temin edilmiş ve deneylerde kullanılan ölçülere göre kesilmiştir. Afyon gri mermer son zamanlarda popüler olan gri renkli mermer çeşitlerinin en güzel örneklerinden biridir. Poligonal ince taneli kalsit minerallerinden oluşur. Afyon gri mermer ocağı görünümü Resim 3.11’de ve deney örneklerinin görünümü Resim 3.12’de verilmiştir.



Resim 3.11 Afyon gri mermer ocağının görünümü.



Resim 3.12 Afyon gri mermer deney örneklerinin görünümü.

3.1.3 Deney Örneklerinin Hazırlanması

Deneylerde kullanılan İA, DT, EGT, ŞK, AGM molozlar halinde üretildikleri ocaklardan temin edilmiş ve Afyon Meslek Yüksek Okulu mermer atölyesinde küp şeklinde deneylere hazır hale getirilmiştir. Boyutları 5×5×5 cm olarak hazırlanan örnekler mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve tuz kristalleşmesine bağlı ayrışma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli deneylere tabi tutulmuştur. Deneylerde kullanılan örneklerin görünüşü Resim 3.13’de verilmiştir.



Resim 3.13 Deneylerde kullanılan örneklerin görünüşü.

3.1.4 Deneylerde Kullanılan Tuzlar

Deneylerde; sodyum klorür (NaCl) (kaya tuzu) sodyum sülfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve magnezyum sülfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan tuzların görünümü Resim 3.14’de verilmiştir.



Resim 3.14 Deneylerde kullanılan tuzların görüntüleri. NaCl (a), $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (b) ve $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (c).

3.2 Yöntem

3.2.1 Fiziksel ve Mekanik Testler

İA, DT, EGT, ŞK, AGM örneklerini standartlara uygun olarak hazırlandıktan sonra, laboratuvarında fiziksel ve mekanik testlerle, birim hacim ağırlık (görünür yoğunluk), özgül ağırlık (gerçek yoğunluk), toplam ve açık gözeneklilik, tek eksenli basınç dayanımı, su emme, ses yayılma hızı gibi özellikleri belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik testler (Birim hacim ağırlık (görünür yoğunluk), özgül ağırlık (gerçek yoğunluk), toplam ve açık gözeneklilik (porozite) (TS EN 1936), tek eksenli basınç dayanımı (TS EN 1926), atmosfer basıncında su emme (TS EN 13755) ve ses yayılma hızı için her bir yapı taşı örneğinden toplam 24'er adet küp şeklinde örnek kullanılmıştır.

Tuz kristalleşmesi deneyi için %14'lük NaCl , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ çözeltileri hazırlanmıştır. Tuz kristalleşmesi deneyleri TS EN 12370 standardına uygun olarak

5×5×5 cm boyutlarında örnekler üzerinde yapılmıştır. Her bir çözeltide (saf su, NaCl, NaSO₄ 10H₂O ve MgSO₄ 7H₂O) her bir yapı taşından 8'er adet olmak üzere toplam 160 adet örnek kullanılmıştır. Her bir taştan ve her bir çözeltiden 2'şer adet örnek SEM ve gözenek boyut analizi için ayrılmıştır. Diğer 6'şar tanesi ayrışma deneyleri sonunda ağırlık kaybı, ultra ses geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı için kullanılmıştır.

Kimyasal analiz için kırma öğütme ünitelerinde 0,063 mm altına indirilen her bir doğal taş örneklerinde 5 g alınarak XRF analizine tabi tutulmuştur.

3.2.1.1 Birim Hacim Ağırlık (Görünür Yoğunluk)

Birim hacim ağırlığı düşük olan doğal taşların gözenekliliği yüksektir. Gözeneklilik arttıkça dayanım düşeceği için, yapı taşı olarak kullanılacak doğal taşlarda, gözenekliliğin çok olması istenmemektedir. TS EN 1936 standartlarına göre doğal taşların görünür yoğunluk değerleri belirlenmektedir. Aşağıda kısaca deneyin yapılışı açıklanmaktadır.

- Standartlara göre boyutlandırılmış, 5×5×5 cm boyutunda 6'şar tane örnek, sabit kütleye getirilmesi için, etüve yerleştirilir ve sabit tartıma gelinceye kadar kurutulur (M_k).
- Oda sıcaklığında bekletilip soğuyan örnekler kumpas ile ölçülerek, boşluklarıyla birlikte tüfün hacmi hesaplanır (V_h).
- Aşağıdaki denklem 3.1 kullanılarak malzemenin görünür yoğunluğu (D_h) bulunur.

$$D_h = \frac{M_k}{V_h} \quad (3.1)$$

D_h : Deney numunesinin görünür yoğunluğu.

M_k : Kuru deney numunesinin kütlesi.

V_h : Kuru deney numunesinin hacmi.

3.2.1.2 Özgül Ağırlık (Gerçek Yoğunluk)

TSE EN 1936 standartlarına uygun olarak doğal taşların (İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ traverten, Şuhut kireçtaşı, Afyon gri mermer), örneklerinin özgül ağırlık

değerlerinin bulunabilmesi için kırma öğütme ünitesinde örnekler öğütülmüştür. Daha sonra etüv ile kurutma işlemine tabi tutulurlar. Sabit kütleye ulaşana kadar kurutulan toz halindeki örneklerin, piknometre kullanılarak gerçek yoğunlukları bulunur.

3.2.1.3 Toplam ve Açık Gözeneklilik (porozite)

Açık gözeneklilik hacmi tayini için, 50×50×50 mm boyutunda küp şeklinde 6'şar örnek kullanılmıştır. TSE EN 1936 standartlarına uygun olarak doğal taşların toplam ve açık gözeneklilik değerleri bulunmuştur.

Aşağıda bulunan denklem 3.2 kullanılarak her bir örneğin porozite (Vo)'si bulunmuştur.

$$V_o = \frac{m_s - m_d}{P_{rh}} * 100 \quad (3.2)$$

V_o = Açık gözeneklilik miktarı (ml)

m_s = Suyu doymuş örnek ağırlığı (g)

m_d = Kuru örnek ağırlığı (g)

P_{rh} = Su yoğunluğu (998 kg/m³ – standarda göre)

Her örnek için ayrı ayrı, 5×5×5 cm ebatlarında 6'şar adet örnek kullanılarak toplam gözeneklilik hesaplanmıştır.

Denklem 3.3 kullanılarak her bir örneğin toplam gözeneklilik (P) değeri bulunmuştur.

$$P_o = \frac{\frac{1}{P_b} - \frac{1}{P_r}}{\frac{1}{P_b}} * 100 \quad (3.3)$$

P = Toplam gözeneklilik

P_b = Görünür yoğunluk (g/cm³)

P_r = Gerçek yoğunluk (g/cm³)

3.2.1.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı testleri TSE EN 1926 standartlarına uygun olarak, hassas ölçümler yapabilen hidrolik presler kullanılarak yapılmıştır (Resim 3.15). Belirli boyutlardaki örneklerin (İA, DT, EGT, ŞK, AGM), belirli doğrultuda, kırılmaya karşı gösterdikleri dirence tek eksenli basınç dayanımı denir. Hassas ölçüm yapabilen presler kullanılarak tek eksenli basınç dayanımları bulunur ve bu değerler MPa olarak ifade edilmektedir.

- Kumpas kullanılarak ölçülen örnek örnekleri, deneyin başlaması için hidrolik prese düzgün şekilde yerleştirilir.
- Örneğin üzerine konulduğu alt tabla boşluk kalmayacak şekilde yükselir ve doğal taş örneğine düşey yük uygular. Hız kontrolü otomatik olarak bilgisayardan yapılmaktadır.
- Tek eksenli basınç dayanımı deneyi olarak adlandırılmasının nedeni sadece düşey yük uygulanması ve uygulanan yükün basınç olmasıdır.
- Yenilme yükünün (F), örneğin yüzey alanına (A) bölünmesiyle tek eksenli basınç dayanımı değeri bulunmaktadır (Denklem 3.4).

$$\sigma_c = F / A \quad (3.4)$$

σ_c : Deney örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı, (MPa),

F : Kırılma yükü, (N),

A : Deney öncesi örneğin en kesit alanı, (mm²).



Resim 3.15 Örneklerin tek eksenli basınç deneylerinin yapıldığı cihaz.

3.2.1.5 Atmosfer Basıncında Su Emme Deneyi

TSE EN 13755 standartlarına uygun olarak örneklerin atmosfer basıncında su emme değerleri bulunmuştur. Bu analiz için 50×50×50 mm boyutlarında küp şeklinde 6 adet örnek kullanılmıştır. Deneyde kullanılan örneklerin leğendeki görüntüsü Resim 3.16’da verilmiştir.

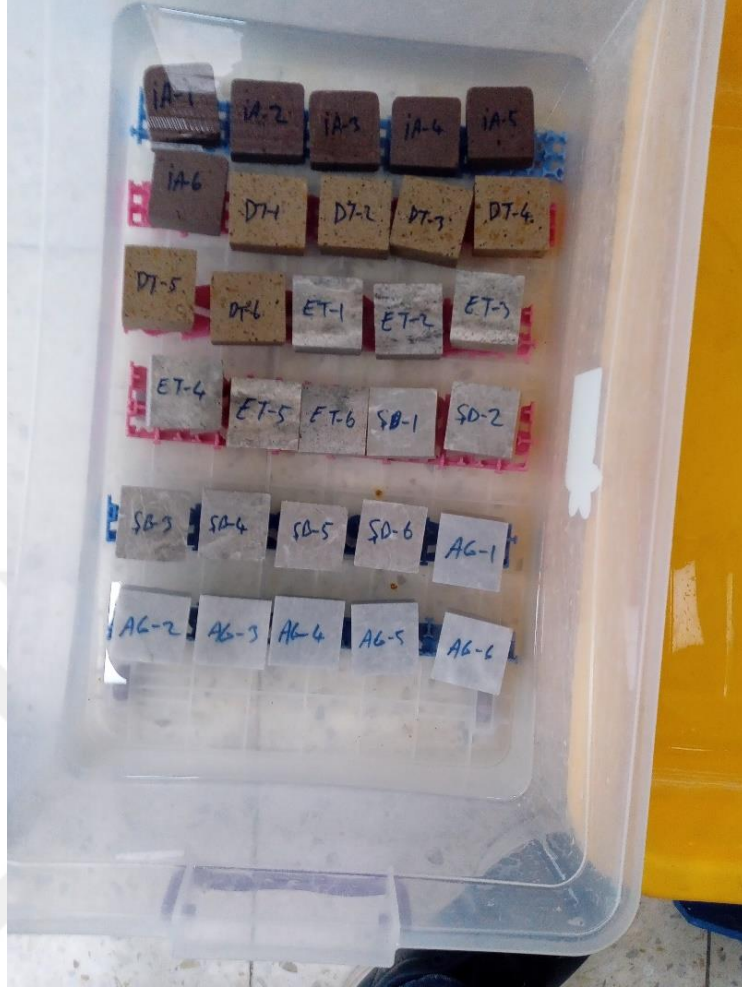
Ayrı ayrı doğal taş örneklerinin su emme (A_b), değerlerini bulabilmek için aşağıda bulunan denklem 3.5 kullanılmaktadır.

$$A_b = \left(\frac{m_s - m_d}{m_d} \right) * 100 \quad (3.5)$$

m_d = Kuru örnek ağırlığı (g)

m_s = Suyu doymuş örnek ağırlığı (g)

A_b = Atmosfer basıncı altında su emme (%)



Resim 3.16 Örneklerin su emme deneyi için leğendeki görüntüsü.

3.2.1.6 Ultrases Ses Yayılma Hızı

Proceq Pundit ultrasonik test cihazı ile örneklerin her birinin ayrı ayrı ultra ses geçiş hızları belirlenmiştir (Resim 3.17). Her bir örnekten ayrı ayrı 50×50×50 mm ebatlarında örnekler kullanılmış olup sırasıyla değerler kayıt altına alınmıştır. Ölçümün yapılışı kısaca şu şekildedir;

- Deneye tabi tutulmadan önce, kumpas kullanılarak her bir örneğin ölçüm yapılan yüzeyler arasındaki mesafeler ölçülmektedir.
- Ölçümün sağlıklı sonuç vermesi için yüzeylerin temiz, pürüzsüz olması sağlanmalıdır.
- Aynı hizaya getirilip proplar (alıcı-verici) arasına örnekler yerleştirilir ve hafif

baskı kuvveti uygulayarak cihazın değeri vermesi beklenir.

- Cihazdaki değeri alındıktan sonra ve örneklerin ultra ses geçişini belirlemek için aşağıda bulunan denklem 3.6 kullanılır.

$$V = \frac{l}{t} \quad (3.6)$$

V: Ultra ses geçiş hızı (m/sn),

L: Örneklerin ölçüm yapılan yüzeyler arası mesafe (cm),

t: Dalganın örneklerden geçiş zamanı (sn).



Resim 3.17 Örneklerin ultrases ses yayılma hızının tespitinde kullanılan ultrasonik test cihazı.

3.2.2 Mikro Yapısal Çalışmalar

3.2.2.1 Kimyasal Analiz (XRF)

Kimyasal özelliklerini belirlemek için, İA, DT, EGT, ŞK, AGM örneklerine XRF yöntemi kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan doğal yapı taşı örneklerinin kimyasal analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi, Doğal Taş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazında yapılmıştır (Resim 3.18).



Resim 3.18 Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazı.

3.2.2.2 Mineralojik ve Petrografik Analizler

Polarizan mikroskop çalışmaları

İA, DT, EGT, ŞK, AGM örneklerinin petrografik ve mineralojik incelemeleri için her bir örnekten 2'şer adet ince kesit hazırlanmıştır. Bu ince kesitler Nikon Eclipse 2V100POL model polarizan mikroskopta incelenerek örneklerin mineral bileşimi ve petrografik özellikleri incelenerek mikro fotoğraflar çekilmiştir (Şekil 3.19). Örnekler, TS EN 12407 standardına göre kesilerek ince kesitler haline getirilmiştir. Lamel ile kaplanan örnekler korund tozu kullanılarak yaklaşık $0,030 \pm 0,005$ mm kalınlığa kadar inceltilmiştir. İncelmenin yeterli olup olmadığı mikroskop kontrolünden geçirilmiştir.



Resim 3.19 Örneklerin mineralojik ve petrografik özelliklerinin tespitinde kullanılan Nikon Eclipse 2V100POL polarizan mikroskop.

X-ışını Difraksiyonu (XRD)

XRD (X-ışını kırınım analizi), yapı taşlarının mineralojik bileşimlerini belirlemek için kullanışlı bir yöntemdir. Petrografik çalışmalardan önce, çalışma materyallerinin mineral bileşimi hakkında genel bir fikir vermek için XRD çalışmalarının yapılması önerilir. Mineralojik özelliklerin tespit edilebilmesi için İA, DT, EGT, ŞK, AGM örneklerinin XRD analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında, Bakır (Cu) X ışını tüpü kullanılarak Bruker Marka D8 Advance model X-ışınları kırınımı (XRD) cihazı ile bakır (Cu) X-ışını tüpü, 40,0 kV ve 30,0 mA şartlarda gerçekleştirilmiştir (Resim 3.20). Çalışma kapsamında test edilen her bir doğal yapı taşından -200 mikron altına öğütülmüş 10 gram örnek kullanılmıştır.



Resim 3.20 Örneklerin mineralojik özelliklerinin tespitinde kullanılan Bruker Marka D 8 Advance model X-ışınları kırınımı (XRD) cihazı.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM incelemeleri için İA, DT, EGT, ŞK, AGM örnekleri karbonla kaplanmış ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model W (Tungsten) filament ile SEM cihazında (Resim 3.21) incelemeler yapılarak mikro yapı resimleri çekilmiştir. Örneklerin bileşiminde bulunan mineraller ve gözenek boyutları SEM görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca minerallerin elementel içeriklerinin belirlenmesi amacıyla SEM-EDX (Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı X ışını) analizi kullanılmıştır.

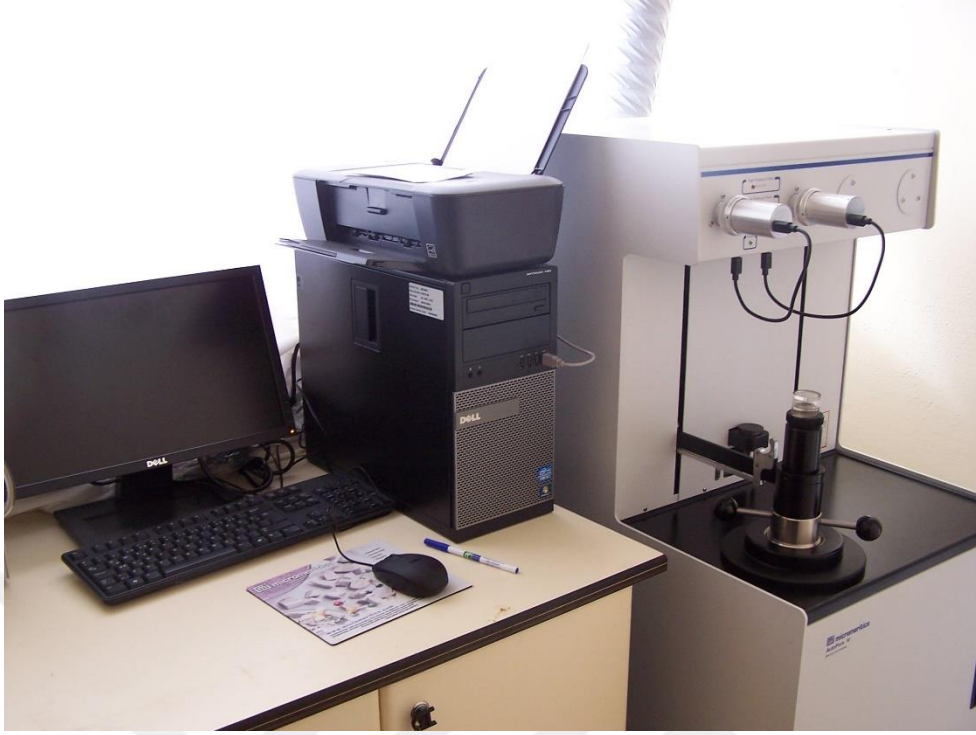


Resim 3.21 Örneklerin bileşiminde bulunan mineral ve gözenek boyutlarının incelendiği taramalı elektron mikroskopu (SEM).

3.2.2.3 Gözenek Boyut Dağılımı (Cıvalı Porozimetre)

Cıvalı porozimetre Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazı (Resim 3.22) kullanılarak, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM), İA, DT, EGT, ŞK, AGM örneklerinin gözenek boyut dağılımları bulunmuştur.

İncelenen 5 farklı doğal yapı taşının (İA, DT, EGT, ŞK, AGM) ayrışmaya tabi tutulmamış taze örneklerinin ve 4 farklı sulu ortamda tuz kristalleşme deneyleri sonrası 20 adet ayrışmış örneklerinin gözenek boyut dağılımları cıvalı porozimetre cihazında belirlenmiştir. Deney şartları 485 erg/cm^2 vakum altında 140°C kontak açısı şeklindedir. Cıva porozimetresi ile her bir doğal yapı taşının toz örneklerinde gözenek boyutu, gözenek boyut dağılımı ve yüzey alanı ölçümleri ile kütleli yoğunluk değerleri de belirlenmiştir.



Resim 3.22 Örneklerin gözenek boyut dağılımların tespitinde kullanılan cıva porozimetresi cihazı.

3.2.3 Tuz Kristalleşmesi Deneyleri

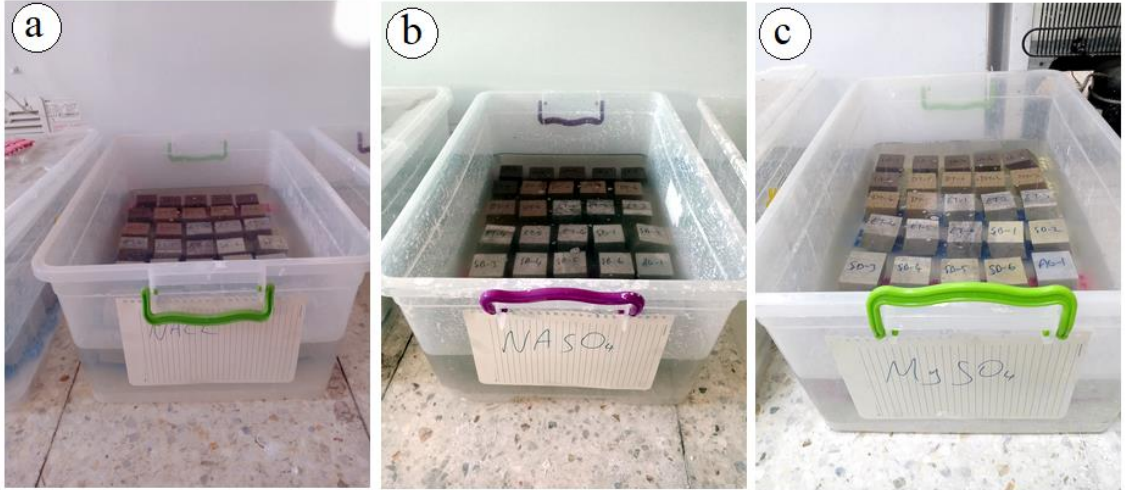
Tuz kristalleşmesinin İA, DT, EGT, ŞK, AGM üzerlerindeki etkisini incelemek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. TS EN 12370 standartlarına göre örnekler hazırlanmış ve standartlara uygun olarak tuz kristalleşme deneyleri yapılmıştır (Resim 3.23).

Bu çalışma ile doğal yapı taşı örnekleri saf suda, sodyum klorür, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltisinde 15 döngü şeklinde yapılmıştır. Tuz kristalleşmesi deneyi akım şeması Şekil 3.5'te verilmiştir. Deneyin yapılışı kısaca aşağıdaki gibidir.

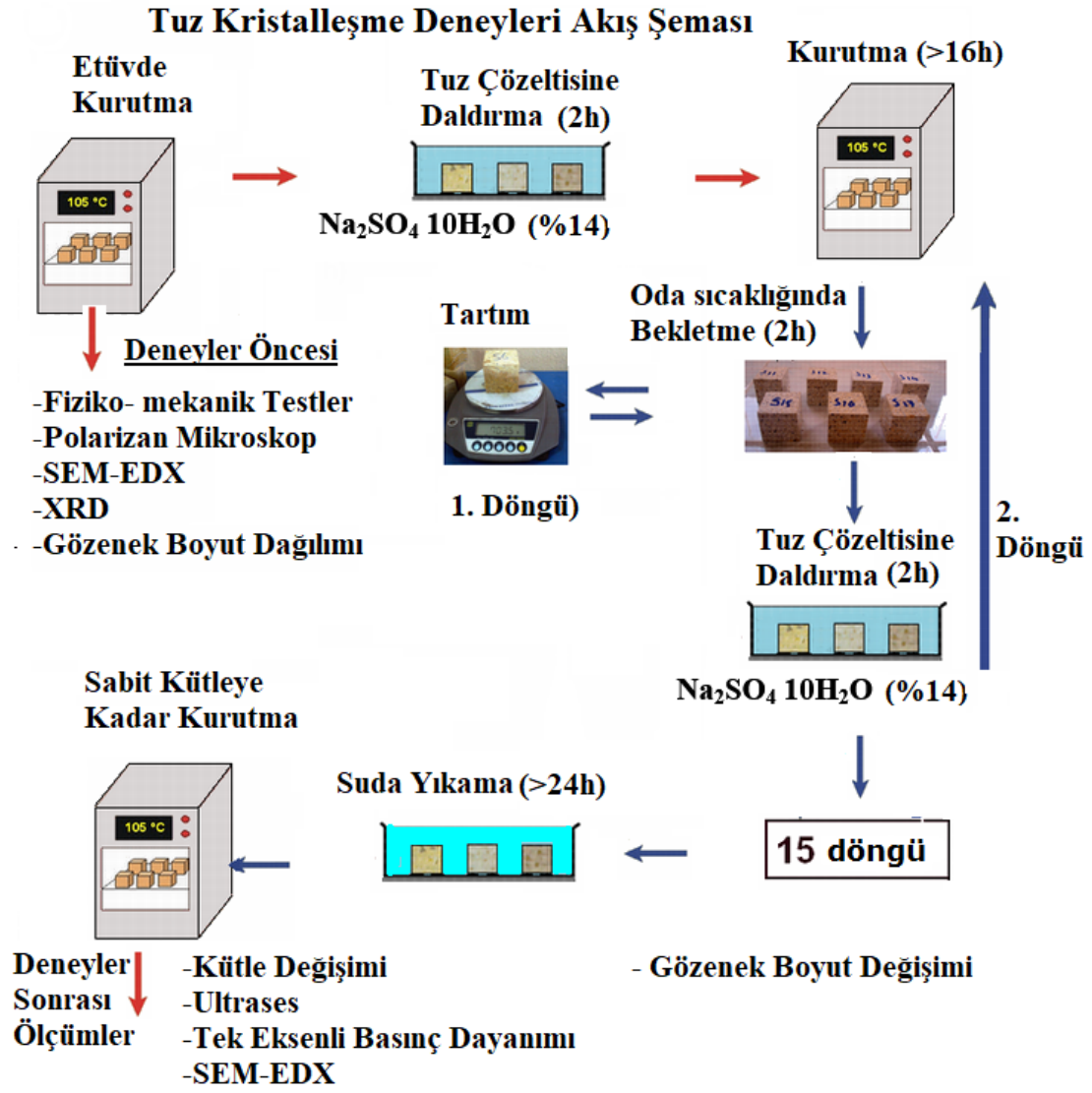
- Her taş cinsinden ayrı ayrı 28'er adet örnek hazırlanmıştır. Deney başlamadan önce örnekler, etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan örnekler, kısa kodla adlandırılıp işaretlenerek, 0,01 g hassasiyetle tartılmıştır.
- Doğada doğal taşların maruz kalma ihtimali olduğu için bu işlemde, saf su, %14'lük sodyum sülfat çözeltisi, %14'lük sodyum klorür ve %14'lük

magnezyum sülfatlı solüsyon kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kapları, örneklerin her birinin en az 2 mm üstünü kapatacak şekilde saf su, sodyum klor, sodyum sülfat, magnezyum sülfat çözeltisi doldurulmuştur.

- Etüvde kurutulan örnekler çözeltilere daldırılıp iki saat beklenilmiştir. Daha sonra bütün örnekler 16 saat etüvde kurutulmuş ve çıkarılıp oda sıcaklığında iki saat bekletilip tartımları yapılmıştır. Böylece bir döngü tamamlanmış olup toplam 15 döngü deneye devam edilmiştir.
- Her bir çözeltide 15 döngü sonunda ayrılmış örneklerden bazıları SEM ve cıvalı porozimetre deneyi için ayrılmıştır. Her bir doğal yapı taşından 6'şar örnek 48 saat saf su da bekletilerek yıkanmış ve içindeki tuz birikintilerinden temizlenmiş ve tuz hasarından dolayı kütle kayıpları bulunmuştur.
- Daha sonra kuru halde ultra ses ve tek eksenli basınç dayanımı testleri yapılmıştır.



Resim 3.23 Tuz kristalleşmesi deneyi için hazırlanan NaCl (a), $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (b) ve MgSO_4 (c) çözeltilerindeki örneklerin görüntüsü.



Şekil 3.5 Tuz kristalleşmesi deneyi akım şeması.

4. BULGULAR

4.1 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Doğal yapı taşlarının yapı malzemesi olarak kullanılmasında mekanik özellikler önemlidir. Bir yapı taşının sağlamlığı, fiziksel özellikleriyle ilgilidir. Belirli özellikleri taşımayan doğal taşlar yapı taşı olarak kullanılamamaktadır. Doğal taşların dayanımı yoğunluğu ve gözenekliliği ile doğrudan ilgilidir. Yoğunluğu yüksek olan ve gözenekliliği az olan doğal taşların dayanımları daha yüksektir. Tez çalışmamızda incelenen andezit, tuf, traverten, bej ve gri mermer örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için, standartlara uygun olarak deneyler yapılarak ve örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiş olup Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 İncelenen doğal yapı taşlarının fiziko-mekanik özellikleri ve standart sapmalar (Her testte, test edilen her bir taş için 6 örneğin ortalaması alınmıştır).

	İscehisar andeziti		Döğer tufü		Emirdağ gümüş traverten		Şuhut kireçtaşı		Afyon gri mermer	
Özellikler	Ort.	Std	Ort.	Std	Ort.	Std	Ort.	Std	Ort.	Std
Gerçek yoğunluk (g/cm ³)	2,693	0,001	2,536	0,001	2,702	0,001	2,714	0,001	2,719	0,002
Görünür yoğunluk (kg/m ³)	2060	10	1490	6	2499	18	2672	7	2700	9
Açık gözeneklilik (%)	13,2	1,48	30,2	0,31	2,94	0,37	0,5	0,10	0,5	0,07
Toplam gözeneklilik (%)	26,2	3,6	47,5	0,2	10,8	0,6	5,1	0,3	4,2	0,3
Su emme (%)	6,44	1,03	20,25	0,236	1,18	0,157	0,19	0,039	0,17	0,027
Ultras ses geçiş hızı (km/s)	2,36	0,35	2,32	0,104	3,24	0,166	4,38	0,067	3,14	0,136
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)	49,93	16,08	24,21	3,677	44,70	15,94	88,04	31,915	59,41	3,202

4.1.1 Birim Hacim Ağırlık (Görünür Yoğunluk)

İscehisar andezit örnekleri standartlara uygun olarak deneye tabi tutulmuş olup, birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. İscehisar andezitin, ortalama görünür yoğunluğu 2060 kg/m³, Döğer tüflerinin ortalama görünür yoğunluğu 1490 kg/m³, Emirdağ gümüş traverten ortalama görünür yoğunluğu 2499 kg/m³, Şuhut kireçtaşı ortalama görünür yoğunluğu 2672 kg/m³ ve Afyon gri mermerleri, ortalama görünür yoğunluğu 2700 kg/m³ bulunmuştur. Toplam gözenekliliği %47 olan Döğer tufünün görünür yoğunluğu 1490

kg/m³ bulunmuş, toplam gözenekliliği %4,2 olan Afyon gri mermerin ortalama görünür yoğunluğu 2700 kg/m³ bulunmuştur. Gözeneklilik oranının arttıkça yoğunluğun düştüğü görülmüştür.

4.1.2 Özgül Ağırlık (Gerçek Yoğunluk)

Deneylerde kullanılan İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermer örneklerinin gerçek yoğunluk değerleri otomatik yoğunluk ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. İscehisar andezitin özgül ağırlığı ortalama 2,693 g/cm³, Döğer tüflerin 2,536 g/cm³, Emirdağ gümüş travertenlerin 2,702 g/cm³, Şuhut kireçtaşın 2,714 g/cm³ ve Afyon gri mermerlerin 2,719 g/cm³ bulunmuştur (Çizelge 4.1). Gözenekliliği az olan doğaltaşların yoğunluk değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

4.1.3 Toplam ve Açık Gözeneklilik (porozite)

Çizelge 4.1'de, İscehisar andezitlerinin, Döğer tüflerinin, Emirdağ gümüş travertenlerinin, Şuhut kireçtaşının ve Afyon gri mermerlerinin açık gözeneklilik ve toplam gözeneklilik deneylerine yapılan örneklerden elde edilen veriler verilmiştir. Bu verilere göre, İscehisar andezitlerinin ortalama açık gözenekliliği %13,2 ve toplam gözenekliliği %26,2 olarak, Döğer tüflerinin %30,2 ve %47,5 olarak, Emirdağ gümüş travertenlerinin %2,94 ve %10,8 olarak, Şuhut kireçtaşının %0,50 ve %5,1 olarak ve Afyon gri mermerlerin %0,5 ve %4,2 olarak belirlenmiştir. Bir yapı taşının sağlamlığı, fiziksel özellikleriyle ilgilidir. Gözeneklilik ne kadar küçükse, mukavemet o kadar büyük olacaktır. Genel olarak, doğal yapı taşlarında daha fazla gözeneklilik, daha düşük mukavemete ve daha yüksek yoğunluk, daha yüksek mukavemete karşılık gelir. Yapılan deneyler sonucunda görünür yoğunluğu 1490 kg/m³ ile en düşük olan Döğer tüflerinin en yüksek su emme ve toplam gözenekliliğe sahip olduğu görülmüştür.

4.1.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Çizelge 4.1'de standartlara uygun olarak yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar verilmektedir. İscehisar andezitinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı değeri 49,93 MPa, Döğer tüflerinin 24,21 MPa, Emirdağ gümüş

travertenlerinin 44.70 MPa, Şuhut kireçtaşı 88,04 MPa ve Afyon gri mermerlerin 59,41 MPa olarak belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı, birim alana etki eden kuvvettir ve kayaçların mineralojik ve petrografik yapısı yanında fiziksel özellikleriyle de değişebilir. Örneklerde olduğu gibi porozitesi düşük olan kayaçların tek eksenli basınç dayanımları yüksektir. Yapılan deneylerde toplam gözenekliliği %5,1 bulunan Şuhut kireçtaşının tek eksenli basınç dayanımı 88,04 MPa, toplam gözenekliliği %47,5 olan Döğer tüflerinin tek eksenli basınç dayanımı 24,21 MPa olarak bulunmuştur.

4.1.5 Atmosfer Basıncında Su Emme Deneyi

Doğal taşların atmosfer basıncında su emme değerleri, deney standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de verilen değerlere göre, İscehisar andezitlerinin ağırlıkça su emme değeri %6,44, Döğer tüflerinin %20,25, Emirdağ gümüş travertenlerin %1,18, Şuhut kireçtaşının %0,19 olarak, Afyon gri mermerlerinin %0,17 olarak tespit edilmiştir. Su emme ve gözeneklilik, yapı taşlarının su ve çözünebilir tuzlarla bozunmasını etkileyen en önemli fiziksel özelliklerdir. Bu özellikler, yapı taşlarının bozunmasını etkilerken, su ve çözünür tuzların taşların iç kısmına erişilebilirliğini karakterize eder. Su emme, doğal yapı taşlarının özelliklerini olumsuz etkiler. Bu nedenle bir malzeme suyu emerse mukavemeti ve dayanıklılığı azalır. Su emme değeri, gözeneklilik oranıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Deneylerde kullanılan örneklerden %47,5 ile en yüksek gözenekliliğe sahip olan Döğer tüflerinin, %20,25 ile en yüksek su emme oranına sahip olduğu görülmüştür.

4.1.6 Ultra Ses Yayılma Hızı

Doğal taşların ultra ses hızı deney standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de ölçülen ultra ses hızının değerleri verilmiştir. İscehisar andezitlerinin ortalama ultra ses hızı 2,36 m/s, Döğer tüflerinin 2,32 m/s, Emirdağ gümüş travertenlerinin 3,24 m/s, Şuhut kireçtaşının 4,38 m/s ve Afyon gri mermerlerin 3,14 m/s olarak bulunmuştur. Bir doğal taşın ultra ses hızı, yoğunluğu, kırık yapısı ve gözenekliliği ile ilişkilidir. Yapılan deneylerde en yüksek gözenekliliğe sahip olan Döğer tüflerinin, 2,32 km/s ile en düşük ultra ses hızına sahip olduğu, gözenekliliği en düşük olan Şuhut kireçtaşı örneklerinin, 4,38 km/s ile yüksek ultra ses hızlarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.2 Mikro Yapısal Karakterizasyon

4.2.1 Kimyasal Analiz (XRF) Sonuçları

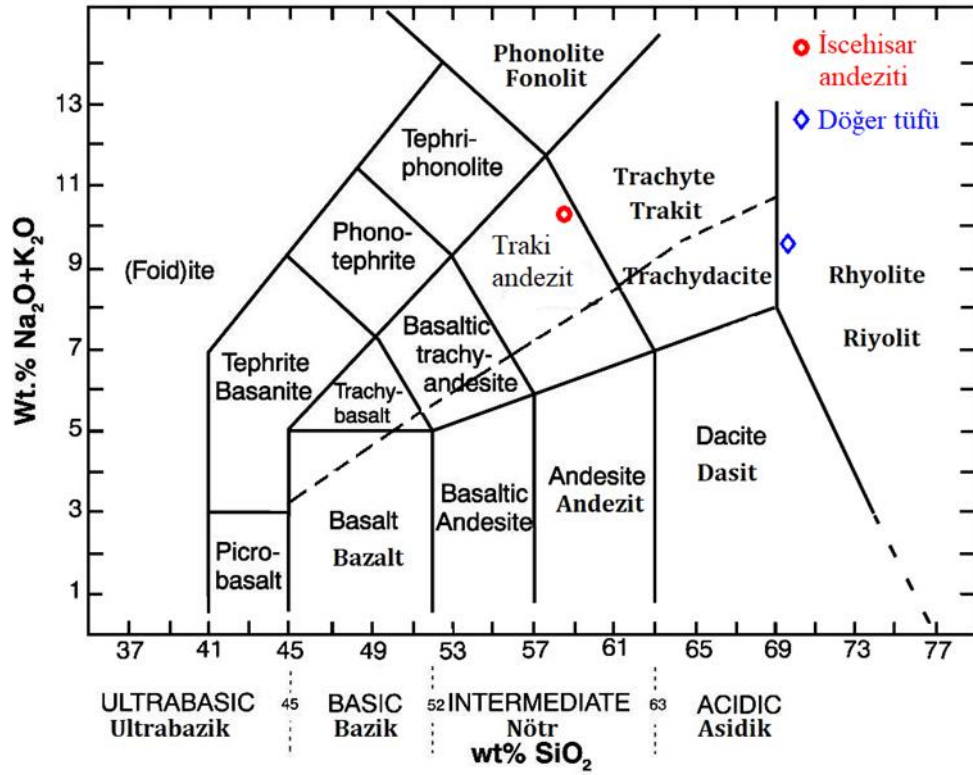
Bu çalışma kapsamında kullanılan doğal yapı taşlarının ana element kimyasal bileşimleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Volkanik kökenli deney örneklerinden İscehisar andezitinin kimyasal analiz sonuçlarına göre en büyük bileşen SiO_2 ’dir (%56,01). İkinci en büyük bileşen Al_2O_3 olup oranı %16,17’dir. Na_2O ve K_2O alkali element bileşikler sırasıyla %3,28 ve %7,39 olarak tespit edilmiştir. Diğer volkanik kökenli deney örneği olan Döğer tufünün de en büyük kimyasal bileşimini SiO_2 (%70,47) oluşturmaktadır. Bunu Al_2O_3 ve K_2O izlemektedir.

Volkanik kayaçların kökenini bulmak amacıyla TAS (toplam alkali-silis) diyagramları kullanılmaktadır. Kimyasal analiz verilerine göre, andezit ve tufün kökenini bulmak amacıyla Le Bas vd. (1992) tarafından önerilen toplam alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) ve silis (SiO_2) diyagramı kullanılmıştır. Bu verilere göre andezitin traki-andezitik ve Döğer tufünün de riyolit kökenli magmadan oluştuğu belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan İscehisar andeziti ve Döğer tufünün toplam alkali içeriğine karşı silis diyagramına göre kökeni Şekil 4.1’de verilmiştir.

Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermer örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde bu örneklerin CaO miktarı sırasıyla %53,21 (E.G.T), %55,25 (ŞB) ve %53,18 (AG) olduğu MgO içeriğinin ise %0,06, %0,44 ve %0,09 olduğu belirlenmiştir. Bu analiz sonuçları, örneklerin tamamen kalsit minerallerinden meydana geldiği ve dolomitleşmenin olmadığını göstermektedir. Diğer oksit bileşiklerinin %1’in altında olduğu ancak Afyon gri mermerinde içeriğinde %2,06 SiO_2 bulunduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının kimyasal analiz sonuçları.

Bileşen	İscehisar andeziti	Döğer tüfü	Emirdağ gümüş traverten	Şuhut kireçtaşı	Afyon gri mermer
CaO	4,71	1,32	53,21	55,25	53,18
SiO ₂	56,01	70,47	0,08	0,16	2,06
Al ₂ O ₃	16,17	13,65	0,03	0,07	0,02
Na ₂ O	3,28	2,33	0,01	0,03	0,04
MgO	2,05	0,23	0,06	0,44	0,09
Fe ₂ O ₃	4,90	1,56	0,04	0,06	0,08
K ₂ O	7,39	7,04	0,01	0,01	0,00
MnO	0,14	0,12	0,12	0,01	0,00
P ₂ O ₅	0,94	0,01	0,06	0,07	0,01
SO ₃	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03
SrO	0,13	0,01	0,01	0,03	0,01
A.Z.	2,54	3,02	46,37	43,84	44,45



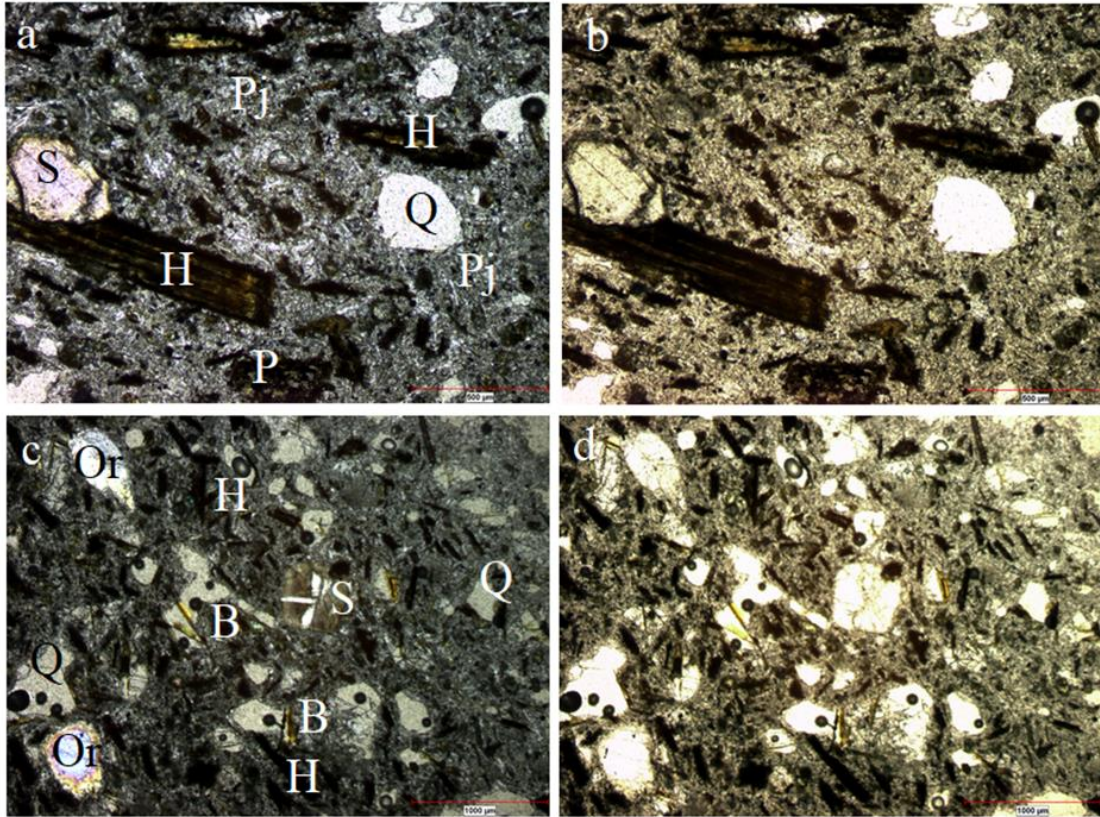
Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan İscehisar andeziti ve Döğer tüfünün toplam alkali içeriğine karşı silis diyagramına göre kökeni (Le Bas vd. (1992)'ne göre düzenlenmiştir).

4.2.2 Petrografik ve Mineralojik Analizler

4.2.2.1 Polarizan Mikroskop Analizi

Afyonkarahisar yöresinde üretilen beş farklı doğal yapı taşının (İA, DT, EGT, ŞK, AGM) petrografik ve mineralojik analizleri ince kesitler yardımıyla yapılmıştır. Her bir doğal yapı taşı örneğinden 2’şer adet ince kesit hazırlanmıştır.

İscehisar andezitlerinde yapılan mikroskop incelemelerinde sanidin, plajiyoklaz, ortoz, piroksen, hornblend, kuvars ve biyotit mineralleri belirlenmiştir. Sanidin mineralleri düşük kırınım değerlerine sahip olup, gri beyaz girişim renkleri sunmuştur (Şekil 4.2).

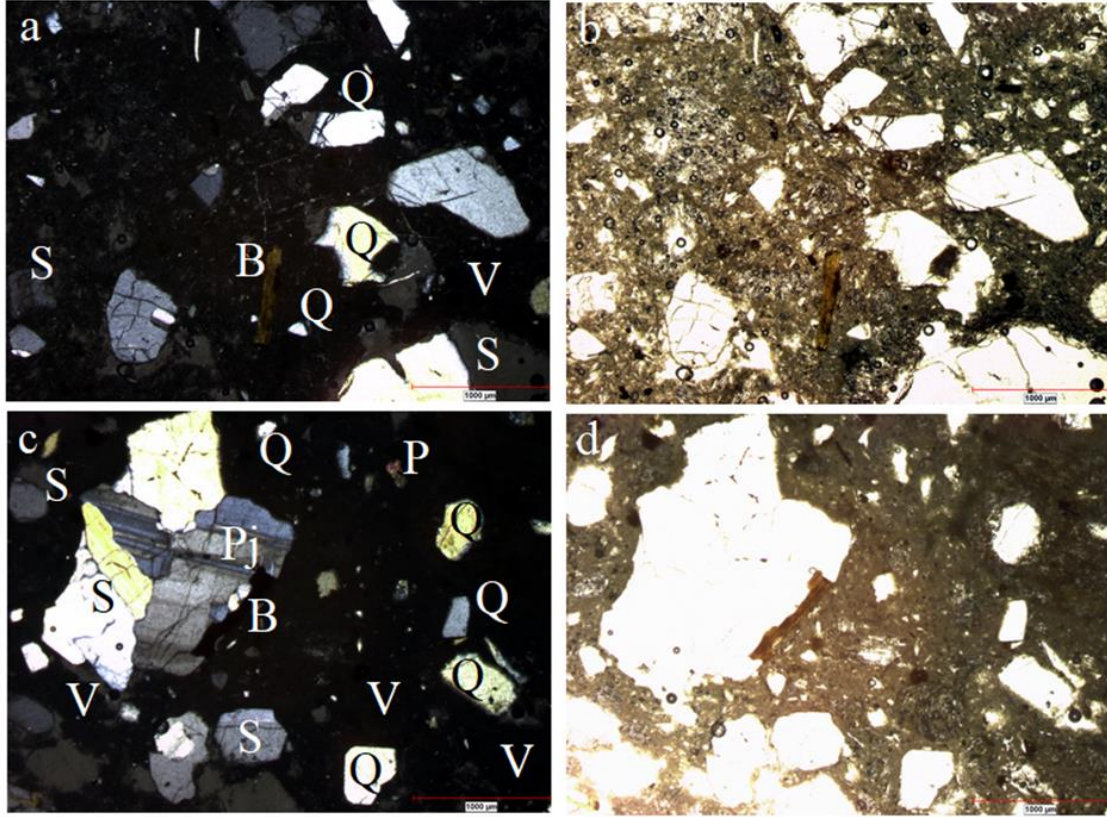


Şekil 4.2 İscehisar andezitinin polarizen mikroskop görüntüleri, çift nikol, (a, c), tek nikol, (b,d).

S: sanidin, Or: ortoz, Pj: plajiyoklaz, P: piroksen, H: hornblend, Q: kuvars, B: biyotit.

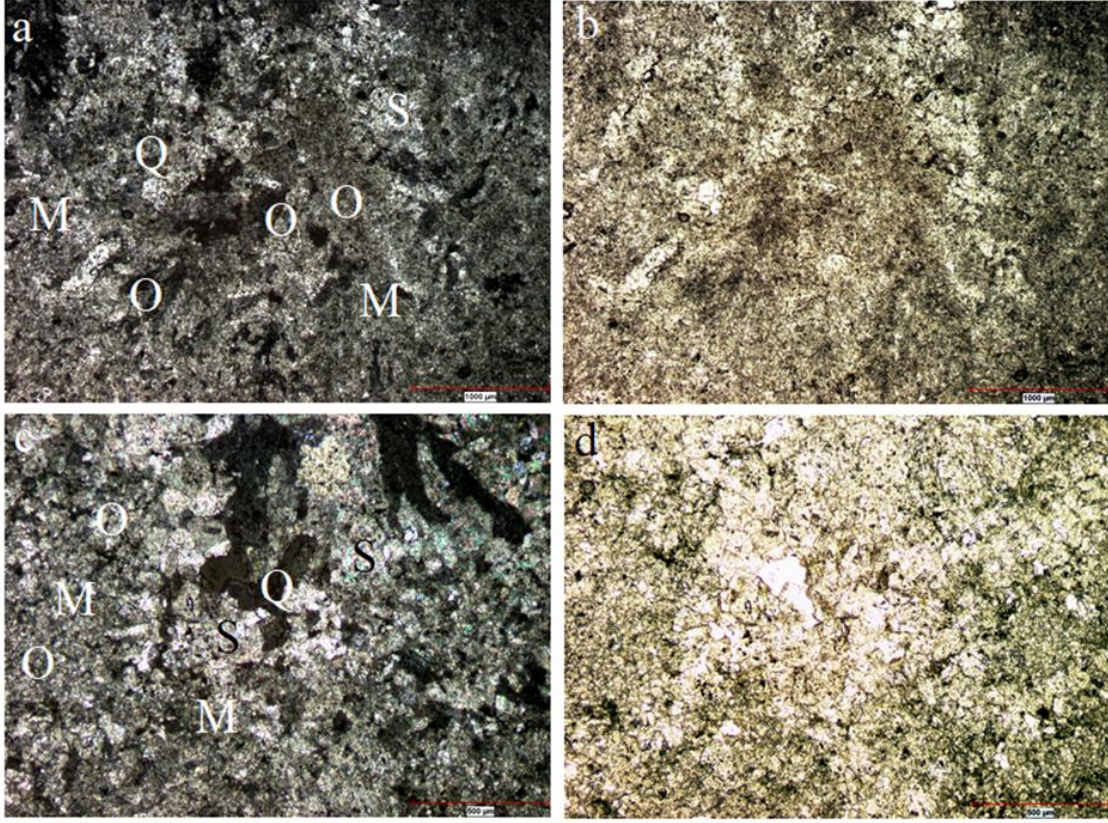
Polarizan mikroskop incelemelerine göre Döğer tufunun bileşiminde volkanik cam, mineraller ve kaya parçaları bulunmaktadır. Birincil mineraller, idiomorfik sanidinler ve kuvarsın yanı sıra plajiyoklaz, piroksen, biyotit ve hornblend olarak belirlenmiştir. Piroksen, plajiyoklaz ve K-feldispatlar, fiziksel ayrışma nedeniyle yoğun parçalanma göstermektedir. Hornblend ve biyotit hafifçe renk değiştirmiş bu da çevresinde Fe oksit

lekelenmesine yol açmıştır. Plajiyoklaz ve K-feldispatlar, mikro kristaller olarak kütlede en bol bulunan minerallerdir. Düzlem polarize ışık altında, cam parçalar genellikle ince ve uzundur ve renksiz ila açık kahverengidir. Matris, ince volkanik camdan yapılmıştır ve litik parçalar içermektedir. Litik parçalar koyu bej ve kahverengimsidir. Döğer tuf, vitro-porfirik dokuya sahiptir ve optik mikroskop incelemelerine göre kristal vitrik tuf olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4.3).



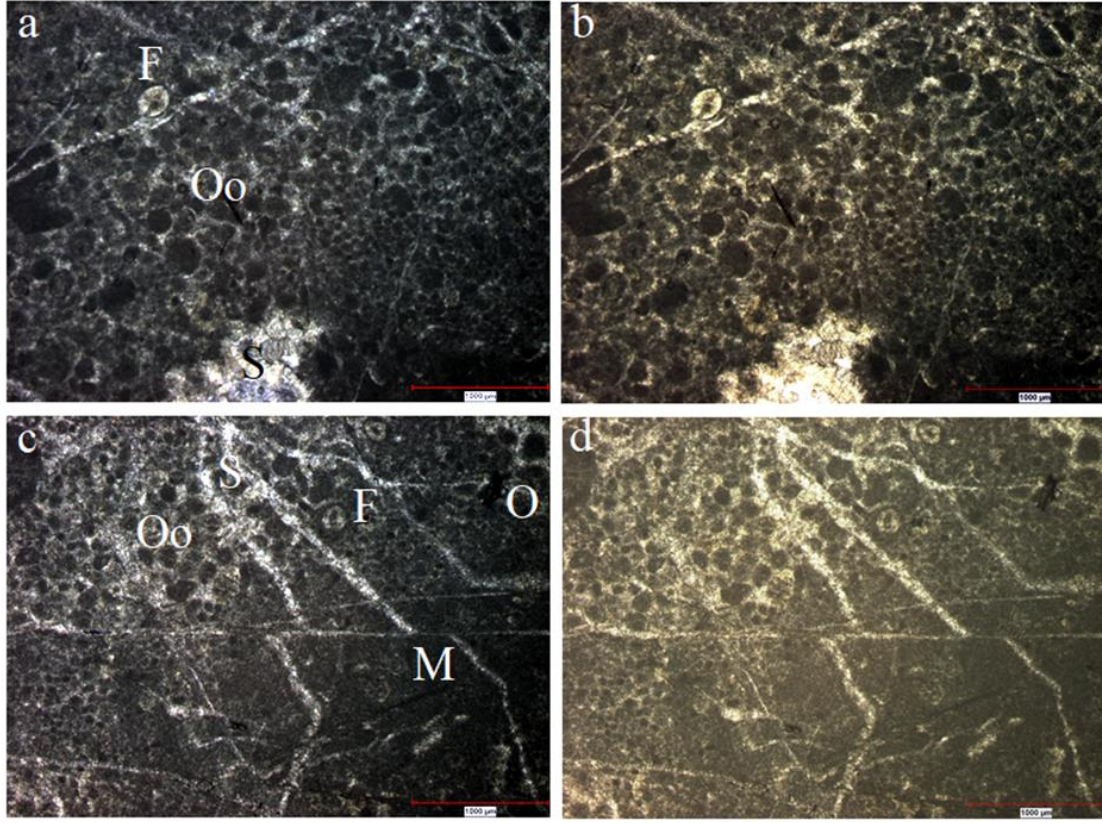
Şekil 4.3 Döğer tufünün polarizan mikroskop görüntüleri, çift nikol, (a, c), tek nikol, (b, d). S: sanidin, Pj: plajiyoklaz, P: piroksen, Q: kuvars, B: biyotit, V: volkanik cam.

Emirdağ gümüş traverten örnekleri grimsi-bej, açık gri-grimsi beyaz ve yer yer koyu gridir (Şekil 4.4). Traverten örneklerinde bazı karakteristik düzensiz boşluklar gözlenmiş, bazı gözenekler sparitik kalsit mineralleri ile doldurulmuştur. İnce kesitlerde yapılan çalışmalarda mikritik ve sparitik çimento malzemeleri gözlenmiştir. Mikrit gri ve belirsiz bantlar halinde, bazen yumru veya ipliksi formlarda oluşur. Sparitik kalsit mineralleri genellikle mozaik ve iç içe kristaller şeklinde ve gözenek kenarlarında görülmektedir.



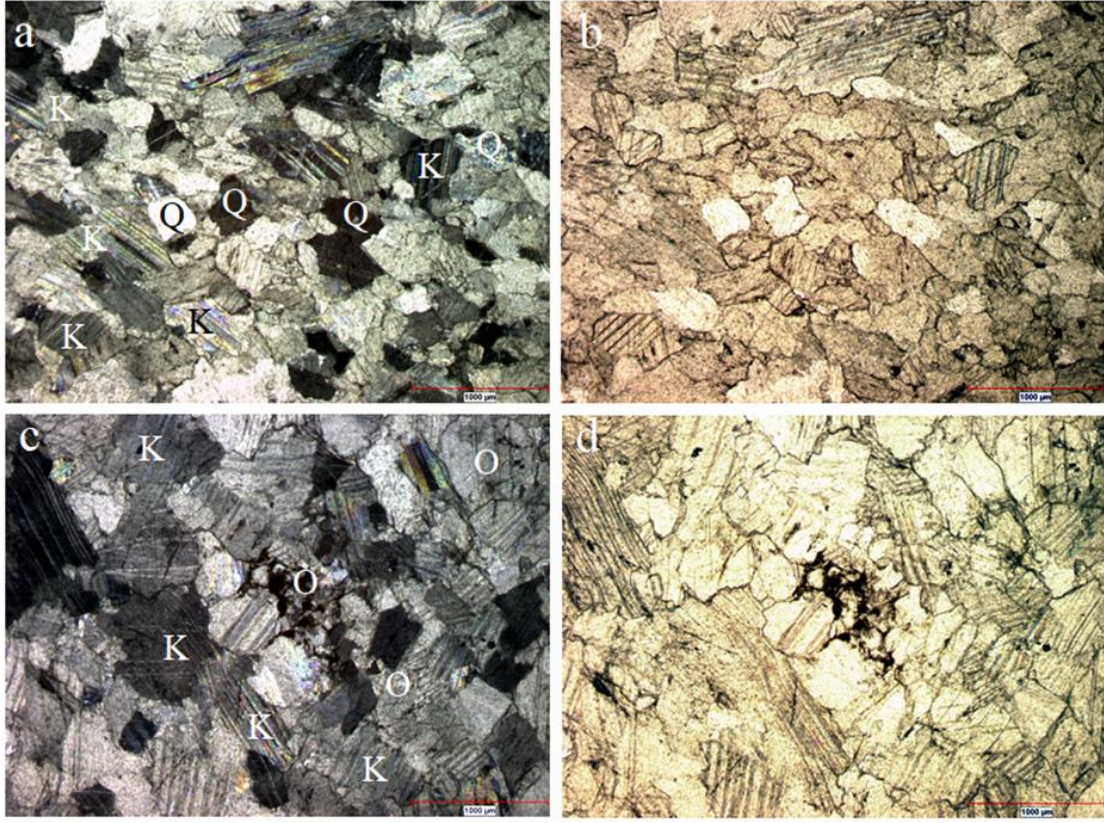
Şekil 4.4 Emirdağ gümüş travertenin polarizan mikroskop görüntüleri, çift nikol, (a, c), tek nikol, (b, d). M: mikrit, S: sparit, Q: kuvars, O: opak mineral.

İnce kesit incelemeleri, Şuhut kireçtaşının karbonat mineralleri (kalsit), fosil taneleri, kabuklar, intraklast ve oolit tanelerinden oluştuğunu ortaya koymuştur (Şekil 4.5). İncelenen örnekte mikritik bir çimento içinde rastgele dağılmış karbonat taneleri (kalsit) ve fosil kabukları gözlenmiştir. Bağlayıcı mikrit olup, yer yer iri taneli sparit oluşumları da gözlenmektedir. İncelenen örnekler bol çatlaklıdır ve çatlaklar genellikle sparitik kalsit dolguludur. Fosil kabukları da genellikle karbonat dolguludur. İncelenen örnek, fosil içeriği ve bağlayıcı dikkate alınarak biomikritik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4.5 Şuhut kireçtaşlarının polarizen mikroskop görüntüleri, çift nikol, (a, c), tek nikol, (b, d). Oo: oolit, M: mikrit, S: sparit O: opak mineral, F: fosil.

Afyon gri mermerde kalsit mineralleri, çoğunlukla polisentetik ikizlenmeye sahip ksenomorfik kristallerle granoblastik bir doku sunmaktadır. Afyon gri mermerini oluşturan kalsit tanelerinin 50-300 μm aralığında yoğunlaştığı belirlenmiş olup ortalama tane boyutu da 230 μm olarak ölçülmüştür. Bu verilere göre Afyon gri mermeri ince kristalli mermer olarak tanımlanabilir. Kalsitin yanı sıra mermere gri rengini veren opak mineraller de belirlenmiştir. İnce kesitlerde kuvars mineralleri de gözlenmiştir (Şekil 4.6). Kuvars minerallerinin varlığı kimyasal analizlerde belirlenen %2,06 SiO_2 oranı ile de uyumludur. Bunların dışında mika minerali olarak da klorit az miktarda bulunmaktadır.



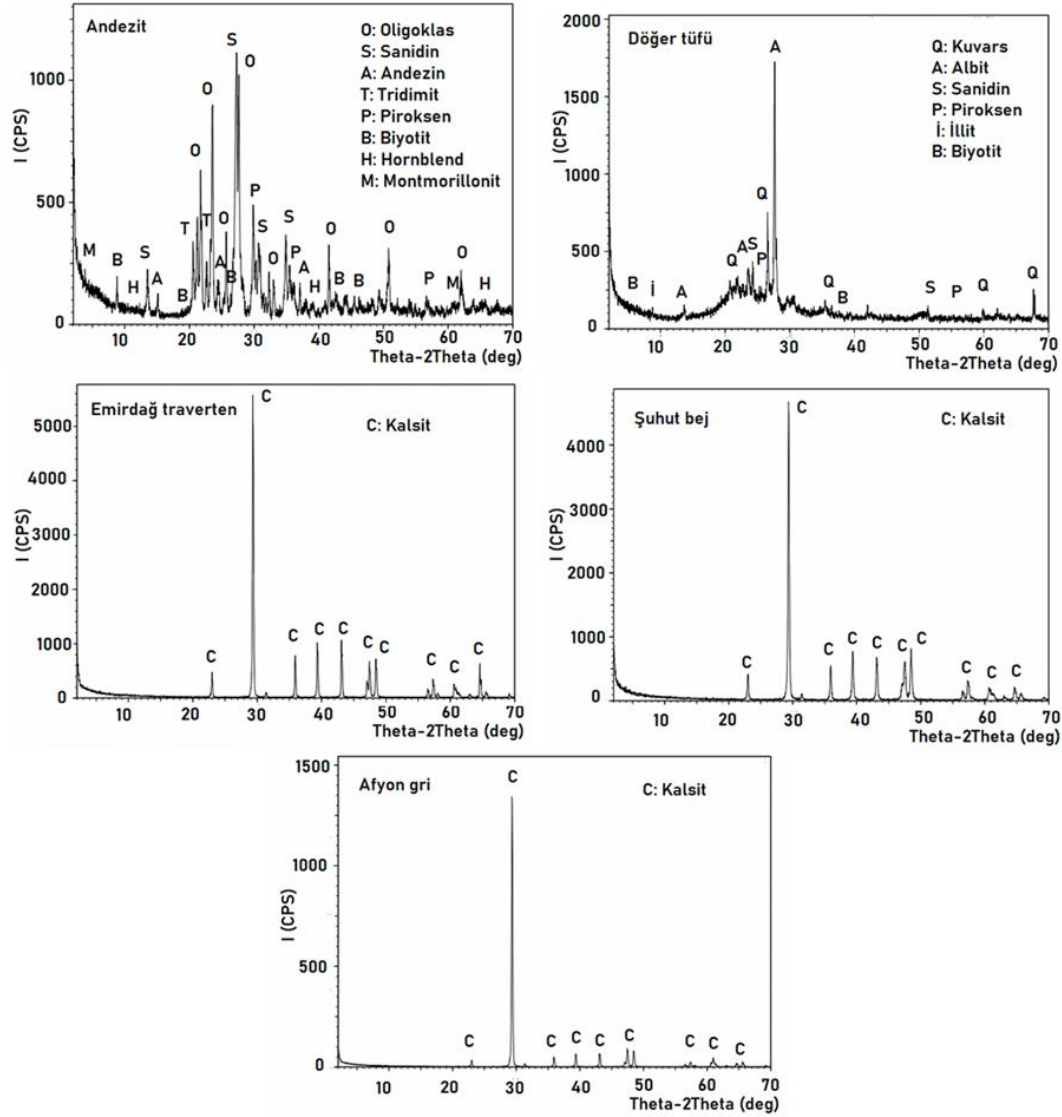
Şekil 4.6 Afyon gri mermerinin polarizen mikroskop görüntüleri, çift nikol, (a, c), tek nikol, (b, d). K: kalsit, Q: kuvars, O: opak mineral.

4.2.2.2 X-ışını Difraksiyonu (XRD) Analizi

İncelenen volkanik kayaların mineral bileşimlerini belirlemek amacıyla yapılan XRD analizi sonucunda elde edilen piklerin görünümü Şekil 4.7’de verilmiştir. İscehisar andezitinin bileşiminde feldispat (oligoklaz, sanidin, andezin), piroksen, biyotit, hornblend, montmorillonit ve tridimit (kuvars) mineralleri belirlenmiştir. Bileşimin büyük çoğunluğu feldispat minerallerinden meydana gelmiştir. Montmorillonit mineralinin oluşumu kil minerali varlığını göstermektedir. Burada, feldspat minerallerinin kil minerallerine dönüşmesi andezitlerin bozuşmasına işaret etmektedir.

Döğer tuf örneği kuvars, albit, sanidin, piroksen, illit ve biyotit minerallerinden oluşmuştur. İllit oluşumu kil minerali oluşumunu göstermektedir. Bu da tüflerin ayrışmaya başladığının bir göstergesi olarak ifade edilebilir. Emirdağ traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermer örneklerinin XRD analizi incelendiğinde örneklerin tamamen kalsit minerallerinden oluştuğu saptanmıştır. Emirdağ traverten ve Şuhut

kireçtaşı XRD analizlerinin XRF analizleri ile uyumlu olduğu ancak Afyon gri örneğinde XRF analizinde belirlenen %2,06 SiO₂ içeriğine XRD analizinde rastlanmamıştır.

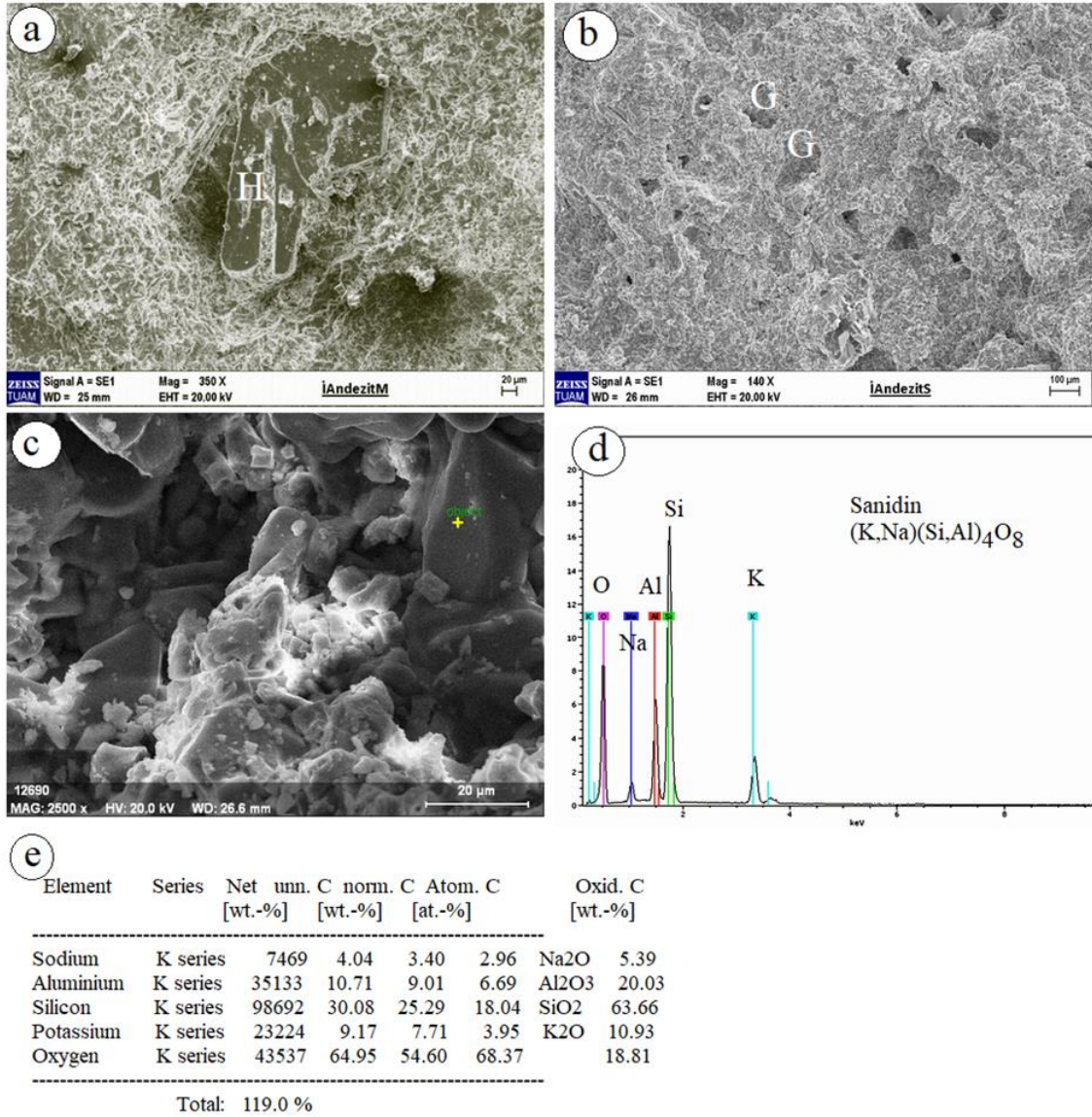


Şekil 4.7 Difraksiyonu (XRD) analizine göre mineral bileşimleri.

4.2.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

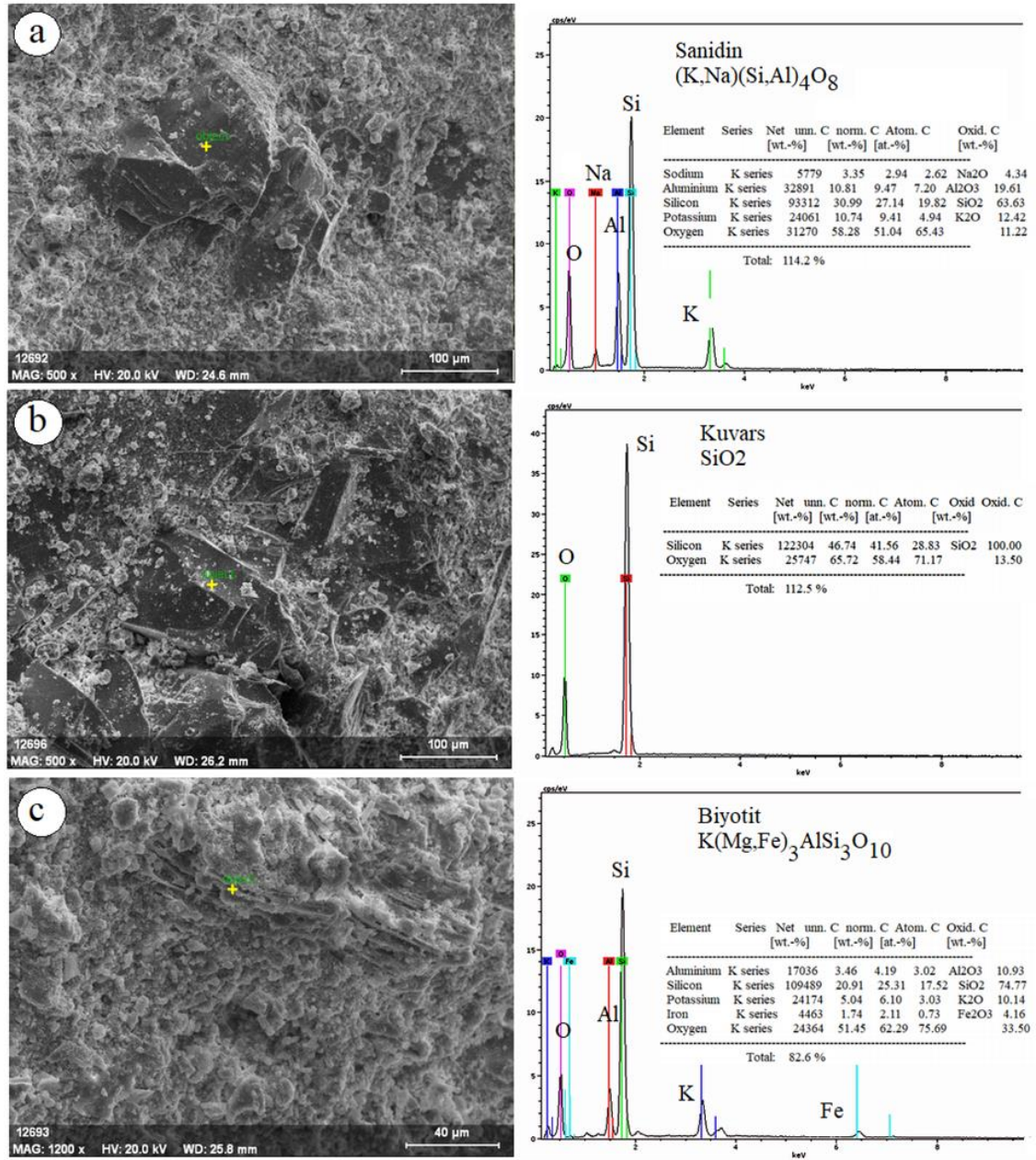
Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri sonucunda elde edilen mikro fotolar Şekil 4.14’de verilmiştir. İscehisar andezit örneklerine yapılan SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizinde değişik boyutlarda gözenekler ve hornblend minerali görülmektedir. Varlığı belirlenen bir feldspat minerali yapılan EDX analizi ile sanidin

olarak belirlenmiş ve elde edilen EDX grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



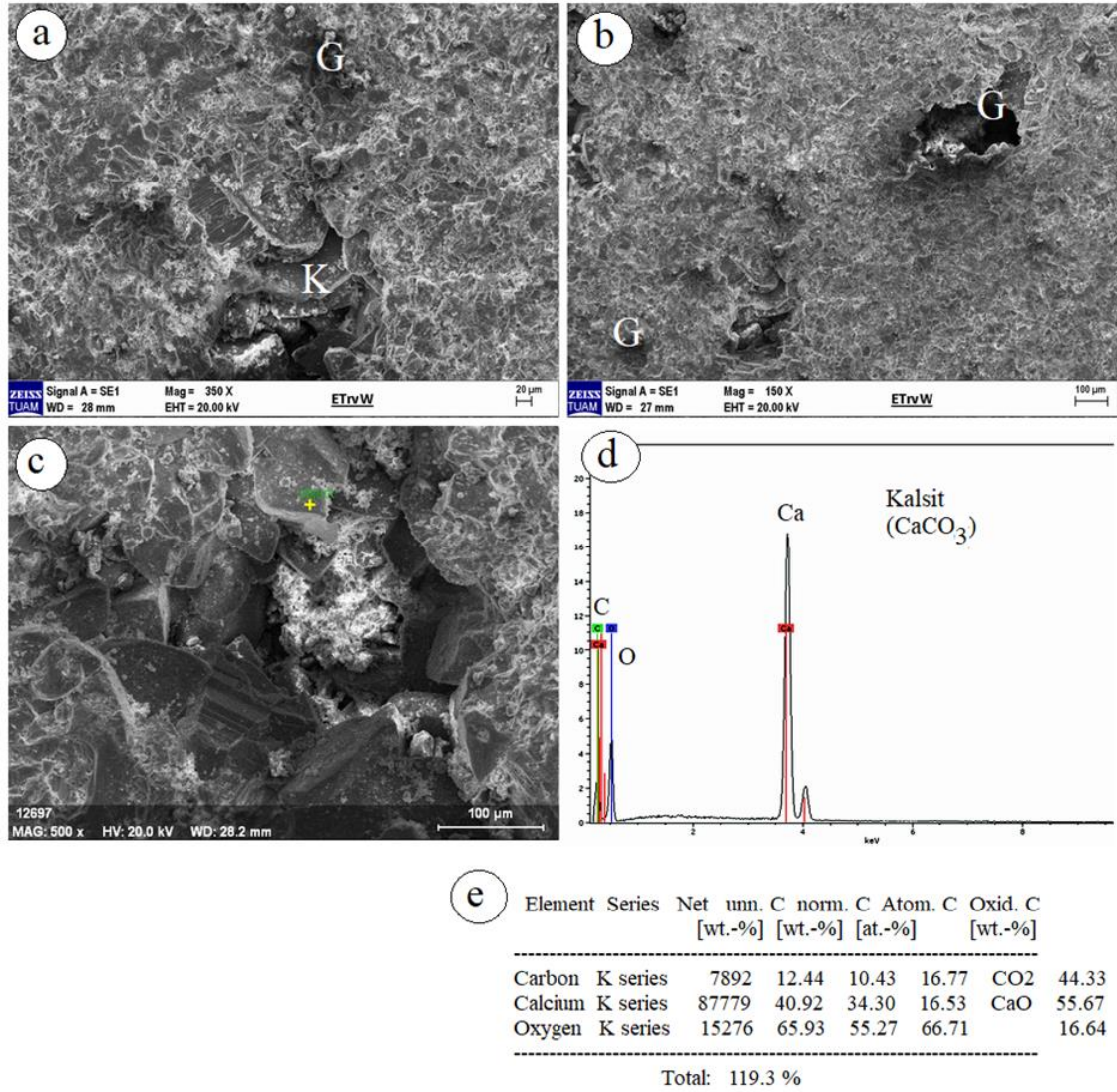
Şekil 4.8 Deneylerde kullanılan İncehisar andezitinin SEM mikro fotoları (a, b) ve sanidin mineralinin EDX analizi (c, d, e). H: hornblend, G: gözenek.

Döğer tüfü örneklerine yapılan SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizinde, sanidin, kuvars ve biyotit minerallerinin varlığı belirlenmiştir. Daha sonra EDX analizi yapılacak noktalar tespit edilmiştir ve bu noktaların EDX grafiklerinde sanidin, kuvars ve biyotit minerallerin varlıkları doğrulanmıştır (Şekil 4.9).



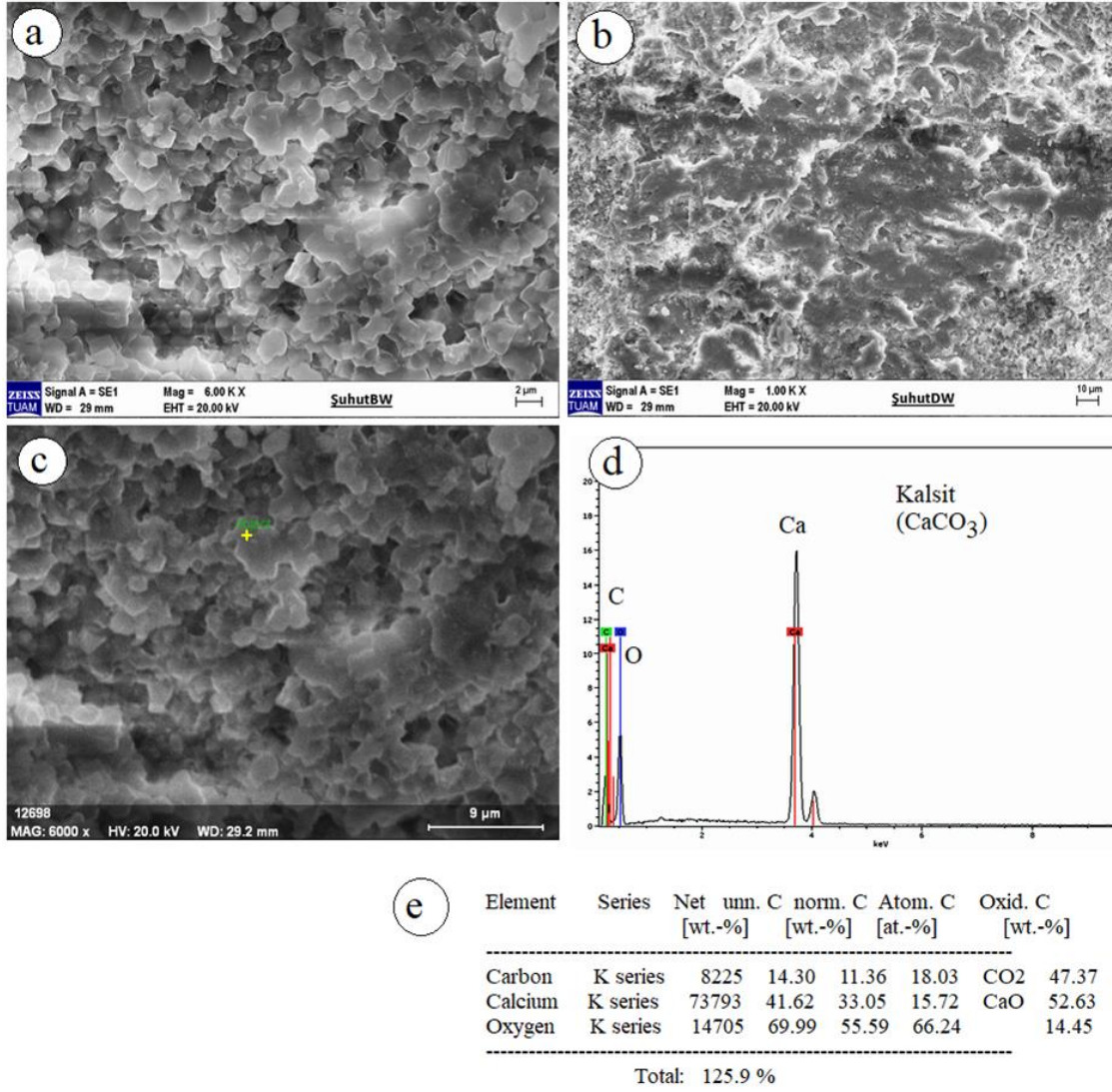
Şekil 4.9 Deneylerde kullanılan Döğer tufunun SEM mikro fotoları. Sanidin (a), kuvars (b) ve biyotit (c) minerallerinin EDX analizi.

Emirdağ gümüş traverten örneklerine yapılan SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizinde gözenekler ve kalsit mineralleri görülmüştür. Daha sonra belirlenen noktaya EDX analizi yapılmış ve kalsit mineralinin varlığı doğrulanmıştır. Gözeneklerin kısmen kristalli kalsit mineralleri ile doldurulduğu gözlenmiştir. Emirdağ gümüş traverten örneklerinde yaklaşık 10-150 µm boyutlarında gözenekler de gözlenmiştir (Şekil 4.10).



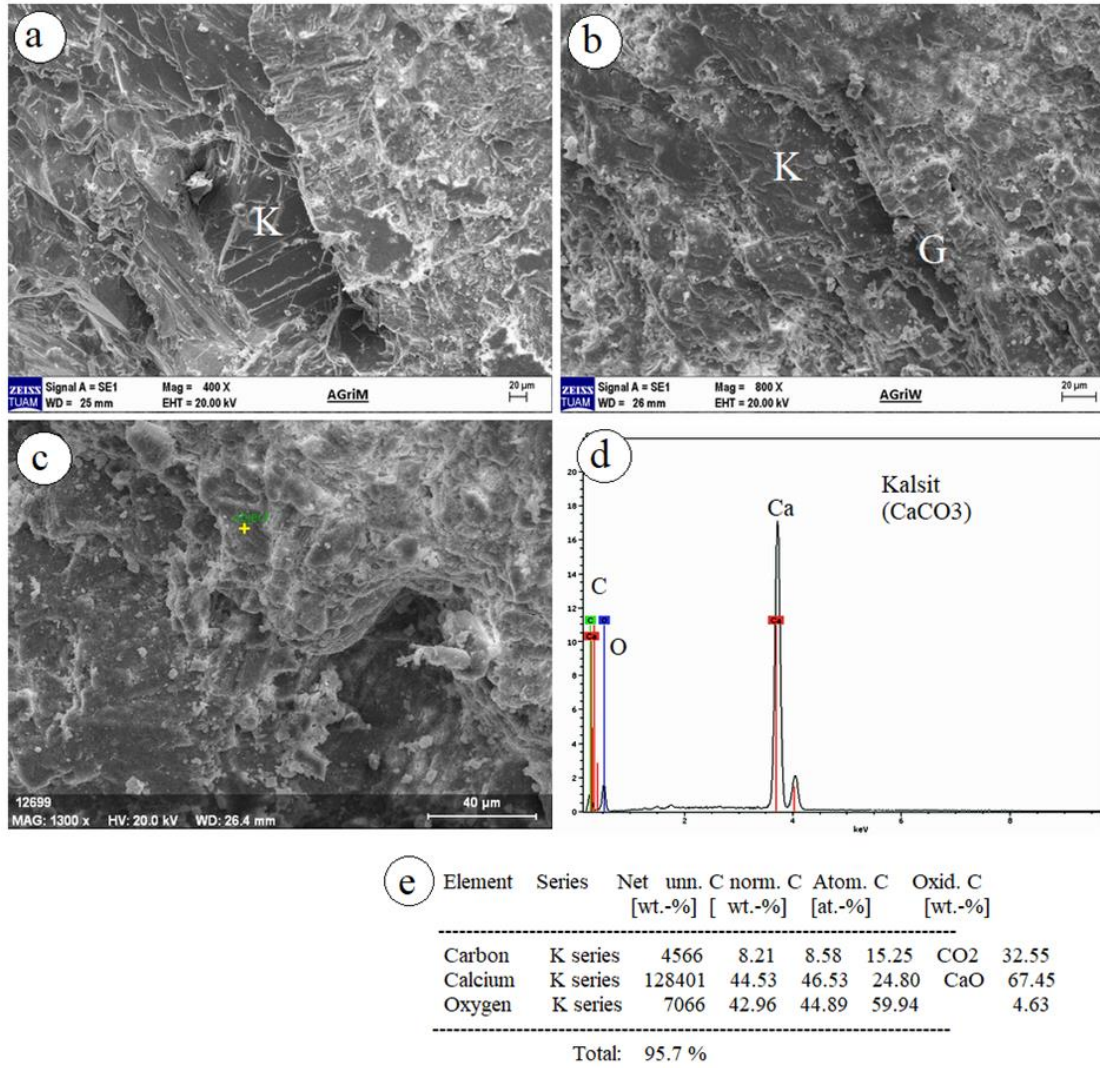
Şekil 4.10 Deneylerde kullanılan Emirdağ gümüş traverteninin SEM mikro fotoları (a, b) ve kalsit mineralinin EDX analizi (c, d, e). K: kalsit, G: gözenek.

Şuhut kireçtaşı örneklerine yapılan SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizinde gözenekler ve kalsit mineralleri tespit edilmiştir. Daha sonra yapılan EDX analizi ile kalsit mineralinin varlığı doğrulanmıştır. Kalsit minerallerinin birkaç μm boyutunda olduğu gözlenmiştir. Bu mineraller arasında yine mikro gözenekler izlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Deneylerde kullanılan Şuhut kireçtaşının SEM mikro fotoları (a, b) ve kalsit mineralinin EDX analizi (c, d, e). K: kalsit, G: gözenek.

Afyon gri mermer örneklerine yapılan SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizinde gözenekler ve kalsit mineralleri görülmüştür. Daha sonra yapılan EDX analizi sonucu kalsit mineralinin varlığı doğrulanmıştır. Kalsit minerallerinde ikizlenmeler yaygındır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Deneylerde kullanılan Afyon gri mermerin SEM mikro fotoları (a, b) ve kalsit mineralinin EDX analizi (c, d, e). K: kalsit, G: gözenek.

4.2.3 Gözenek Boyut Dağılımı (Cıvalı Porozimetre)

Doğal yapı taşlarının gözenek boyutu dağılımı, dayanıklılıklarını ve performanslarını etkileyen önemli bir özelliktir. Gözenek boyutlarının sınıflandırılması genellikle gözeneklerin çaplarına göre yapılır. Klopfer (1985) tarafından gözenek boyutlarına göre yapılan sınıflandırmaya göre; 0,1 μm 'den küçük olanlar mikro gözenek, 0,1 μm -1 mm arasında olanlar mezo gözenek (kılcal gözenek), 1 mm'den büyük olanlar makro gözenek olarak tanımlanmıştır. Çapları 0,1 μm -1 mm arasında olan gözenekler kılcal su emme ile ilişkilidir. Kayaçların gözenek çapları küçüldükçe kılcal su emme özelliği de artmaktadır. Çapı 1 mm'den büyük olan makro gözenekler ise daha çok suyun malzeme içindeki

hareketini sağlarlar (Siegesmund ve Dürrast, 2011).

Doğal taşların bozunma mekanizmaları ile doğrudan ilgili olan gözeneklilik ve gözenek boyutu dağılımı önemli fiziksel parametrelerdir. Doğal yapı taşlarında donma-çözülme, kılcal su emme, tuz kristalleşmesi gibi bozunmalara yol açan mekanizmalar su emme ile doğrudan ilişkilidir. Donma-çözülme, kılcal su emme ve tuz kristalleşme olayları su emme ile ilişkilidir. Gözenek boyutu dağılımının önemi, bu olayların açıklanmasında daha belirgin hale gelir. Bu nedenle deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının gözenek boyutu dağılımı cıvalı porozimetre yöntemi ile belirlenmiş ve elde edilen grafikler Şekil 4.13'de verilmiştir.

Andezit numunesinin gözenek boyutu dağılım analizi, tek modlu bir dağılım ortaya koymaktadır. Bu, gözlemlenen gözenek boyutları aralığında tek bir baskın tepe olduğu anlamına gelir. Ölçülen gözenek boyutu aralığı 0,008 μm ile 320 μm arasındadır. Gözenek boyutu dağılımının zirvesinin yaklaşık 3 μm olduğunu göstermektedir. Bu, andezit numunesinin yaklaşık 3 μm çapında önemli oranda gözeneklere sahip olduğunu göstermektedir. Bu özel gözenek boyutunun, taşın davranışı ve özellikleri üzerinde önemli etkileri olabilir. Boyutları 0.1–1 μm arasında olan gözeneklere genellikle kılcal gözenekler denir ve kılcal su emilimi ile ilişkili oldukları bilinmektedir. Taşın suyu emme ve taşıma kabiliyetinde çok önemli bir rol oynarlar. Kılcal gözenekler, taşın farklı çevre koşullarında dayanıklılığı ve performansı üzerinde etkileri olabilir.

Döğer tuf örneğinin gözenek boyutu 0,005 ile 300 μm arasında değişmekte olup gözenek boyutu dağılım eğrisi unimodal (tek tepeli) bir dağılım göstermektedir. Döğer tufünün gözenekleri 0,5-4 μm arasında yoğunlaşmıştır. Ancak gözenek boyutu 1 μm civarında pik (tepe noktası) göstermiştir. 1 μm çapındaki gözenekler, Klopfer (1985) sınıflandırmasına göre mikro gözenek aralığına girer. Mikro gözenekler, yalnızca mikroskop altında gözlemlenebilen son derece küçük gözeneklerdir. Küçük boyutlarına rağmen, mikro gözenekler taşın genel gözenekliliğine ve geçirgenliğine önemli ölçüde katkıda bulunabilir. 1 μm civarında belirgin bir tepe noktasının varlığı, Döğer tufünün bu boyut aralığında önemli sayıda mikro gözeneklere sahip olduğunu göstermektedir. Bu mikro gözenekler, taşın su emme ve nem tutma özelliklerinde önemli bir rol oynayabilir. Küçük

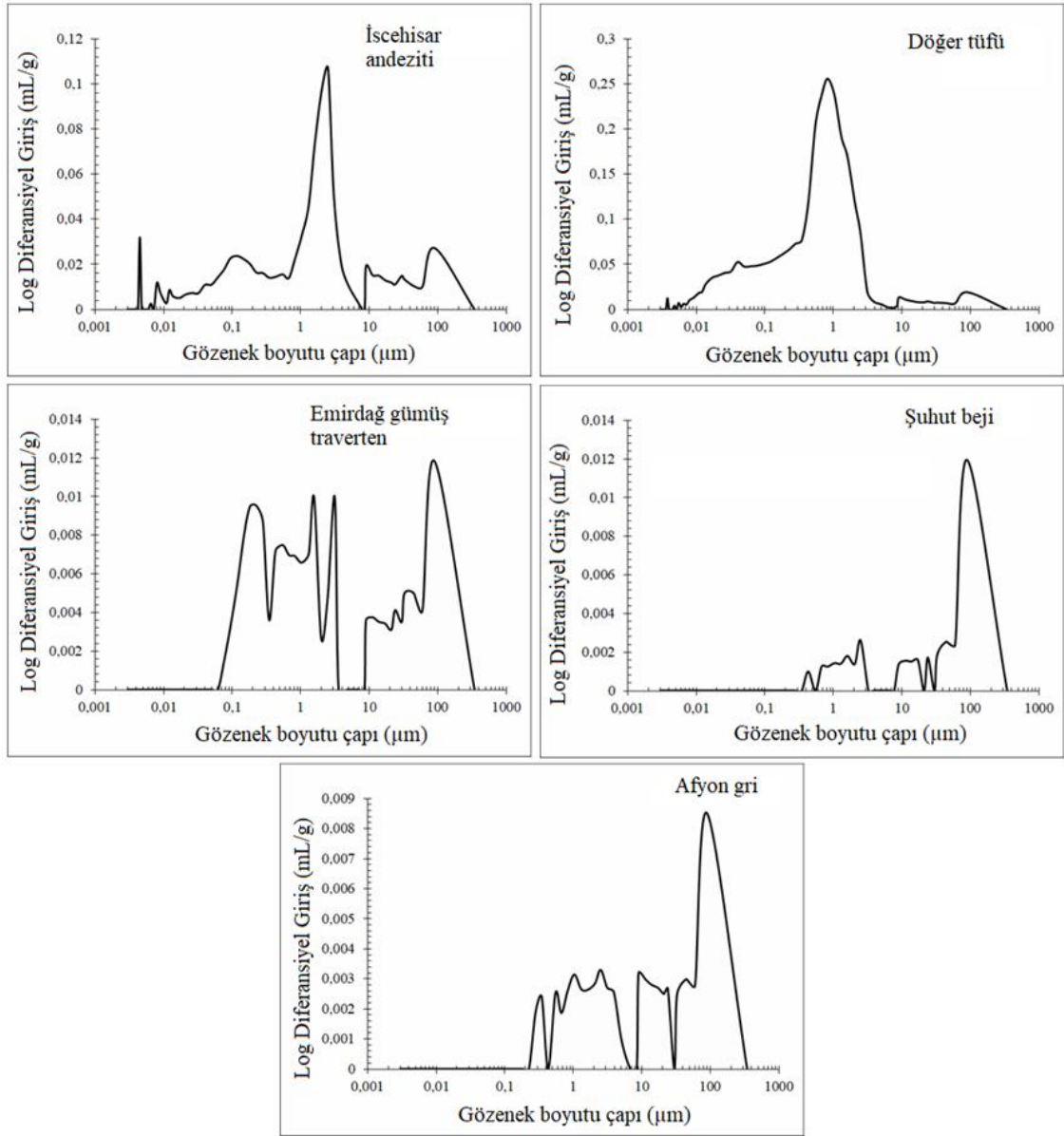
kanallar veya rezervuarlar görevi görerek taşın suyu emmesine ve bünyesinde depolamasını sağlarlar. Gözenek boyutu dağılımı, yapı taşlarının nem difüzyonu ve geçirgenlik özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Burada yeterli sayıda uygun gözeneklerin (0,01 μm ve 1 μm), tuz çözeltileri gibi doğal yapı taşlarının bozunmasına neden olan maddelerin malzeme içerisine nüfuz etmesini kolaylaştırdığı bilinmektedir. Porozimetre analizi, Döğer tufünün yüksek kılcal gözeneklere sahip olduğunu göstermiştir. Döğer tüflerinin andezitlere göre daha küçük gözeneklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu özelliğinden dolayı Döğer tüflerinin andezitlere göre daha fazla kılcal su emme kapasitesine sahip olduğu söylenebilir.

Emirdağ gümüş traverten örneğinin gözenek boyutu 0,01 ile 300 μm arasında değişmekte olup gözenek boyutu dağılım eğrisi multimodal (çok tepeli) bir dağılım göstermektedir. Emirdağ traverten örneğinin gözenekleri, 0,2 μm , 1,5 μm ve 100 μm civarında belirgin piklerle farklı boyut aralıklarında dağıldığını göstermektedir. 0,2 μm civarındaki pik, Klopfer (1985) sınıflandırmasına göre mikro gözeneklere karşılık gelmektedir. Bu boyut aralığında bir pikin bulunması, Emirdağ gümüş traverten numunesinin önemli sayıda mikro gözenek içerdiğini göstermektedir. Bu mikro gözenekler, taşın genel gözenekliliğine ve geçirgenliğine katkıda bulunabilir ve taşın su emme kapasitesi ve belirli çevresel faktörlere duyarlılığı üzerinde etkileri olabilir. 100 μm civarındaki pik, malzeme içinde daha fazla miktarda suyun hareketini sağlayan nispeten büyük gözeneklere karşılık gelmektedir. Emirdağ gümüş traverten örneğinde 1 μm 'den büyük gözeneklerin varlığı, yapısı sayesinde daha büyük miktarlarda suyun akışını karşılayabildiğini düşündürmektedir. Emirdağ gümüş traverteninin multimodal gözenek boyutu dağılımı, çok çeşitli gözenek boyutlarına sahip farklı bir gözenek yapısına işaret etmektedir. Bunun su emme kapasitesi, geçirgenliği ve dayanıklılığı dahil olmak üzere taşın çeşitli özellikleri üzerinde etkileri olabilir. Mikro gözeneklerin, 0,1–1 μm gözeneklerin ve 1 μm 'den büyük gözeneklerin kombinasyonu, malzeme içinde farklı su emme, tutma ve drenaj mekanizmalarına izin verir.

Şuhut kireçtaşı örneğinin gözenek boyutu 0,3 ile 300 μm arasında değişmekte olup gözenek boyutu dağılım eğrisi multimodal (çok tepeli) bir dağılım göstermektedir. Ancak gözenek boyutu en fazla 100 μm arasında yoğunlaşmıştır. Gözenek konsantrasyonun

ağırlıklı olarak maksimum 100 μm içinde olması kireçtaşı örneğinin, su emme özellikleri ve davranışı üzerinde dikkate değer çıkarımlara sahip olabilen, bu boyut aralığında önemli oranda gözeneklere sahip olduğunu göstermektedir. 100 μm civarındaki gözeneklerin tepe konsantrasyonu, 1 μm 'den büyük gözeneklerin varlığını gösterir. 1 μm 'den büyük gözenekler, suyun malzeme içinde hareketini kolaylaştıran nispeten büyük gözeneklerdir. 1 μm 'den büyük gözeneklerin önemli konsantrasyonu, Şuhut kireçtaşının yapısı boyunca daha büyük miktarlarda su akışını barındırma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

Afyon gri mermer örneğinin gözenek boyutu 0,2 ile 300 μm arasında değişmekte olup gözenek boyutu dağılım eğrisi multimodal (çok tepeli) bir dağılım göstermektedir. Ancak gözenek boyutu en fazla 90 – 300 μm arasında yoğunlaşmıştır. Gözenek çapları 0,1 μm ve 1 mm arasındaki gözenekler, pratik olarak kılcal su emme özelliğine sahiptir. Bu durumda doğal taşlarda gözenek çaplarının küçülmesiyle kılcal su emme kapasitesi de artmaktadır. Çapı 1 mm'den daha büyük olan 1 μm 'den büyük gözenekler ise emilen bu suyun doğal taş içinde hareket etmesini sağladığı bilinmektedir. Değerler incelendiğinde örneklerinin sahip oldukları gözeneklerin çapları 0,002 ile 300 μm arasında olduğundan gözeneklerin örneklerin kılcal etkiye bağlı su emme değerlerine etki ettiğini söylemek mümkündür.



Şekil 4.13 Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının cıvalı porozimetre yöntemi ile ölçülen gözenek boyut dağılımı.

Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının çeşitli gözenek parametre (Cıvalı porozimetre) sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Döğer tüfü %37,042 ile en yüksek gözenek oranına sahip yapı taşı olup onu %19,600 ile İncehisar andeziti izlemektedir. Karbonat kökenli yapı taşları, volkanik kökenli olanlara göre daha düşük gözenek oranına sahip olduğu görülmektedir. Beş farklı doğal yapı taşının (İA, DT, EGT, ŞK, AGM) ortalama gözenek çapı da sırasıyla 0,145 µm, 0,132 µm, 0,709 µm, 4,604 µm, 2,603 µm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının Cıvalı porozimetre deney sonuçları.

	İscehisar andeziti	Döğer tüfü	Emirdağ gümüş trv	Şuhut kireçtaşı	Afyon gri mermer
Toplam cıva giriş hacmi (mL/g)	0,101	0,260	0,022	0,011	0,011
Toplam gözenek alanı (m ² /g)	2,797	7,898	0,125	0,009	0,017
Medyan gözenek çapı (hacim) (µm)	2,356	0,808	7,152	131,851	53,499
Medyan gözenek çapı (Alan) (µm)	0,011	0,023	0,201	0,473	0,412
Ortalama gözenek çapı (4V/A) (µm)	0,145	0,132	0,709	4,604	2,603
Kütle yoğunluğu 0,52 psia (g/mL)	1,940	1,423	2,466	2,587	2,552
Görünen (iskeletsel) yoğunluk (g/mL)	2,413	2,261	2,609	2,659	2,627
Gözenek oranı (%)	19,600	37,042	5,481	2,714	2,866
Kullanılan stem hacmi (%)	25	65	7	6	4

Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının deney öncesi gözenek boyut dağılım sınıflandırma % oranları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Afyon gri mermer ve Şuhut kireçtaşının boyut dağılım sınıflandırmasına göre %94,60 ve %88,39 oranında 1 µm’den büyük gözeneğe sahip olduğu, mikro gözenek oranının sıfır olduğu görülmüştür. Döğer tüfünün ise %15,56 ile en yüksek mikro gözenek yapısına sahip olduğu görülmüştür. Ortalama gözenek çapı 0,132 µm ile düşük olan Döğer tüfünün kılcal su emme değeri daha yüksektir.

Çizelge 4.4 Deneylerde kullanılan Afyonkarahisar yöresindeki değişik kökenli yapı taşlarının gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.

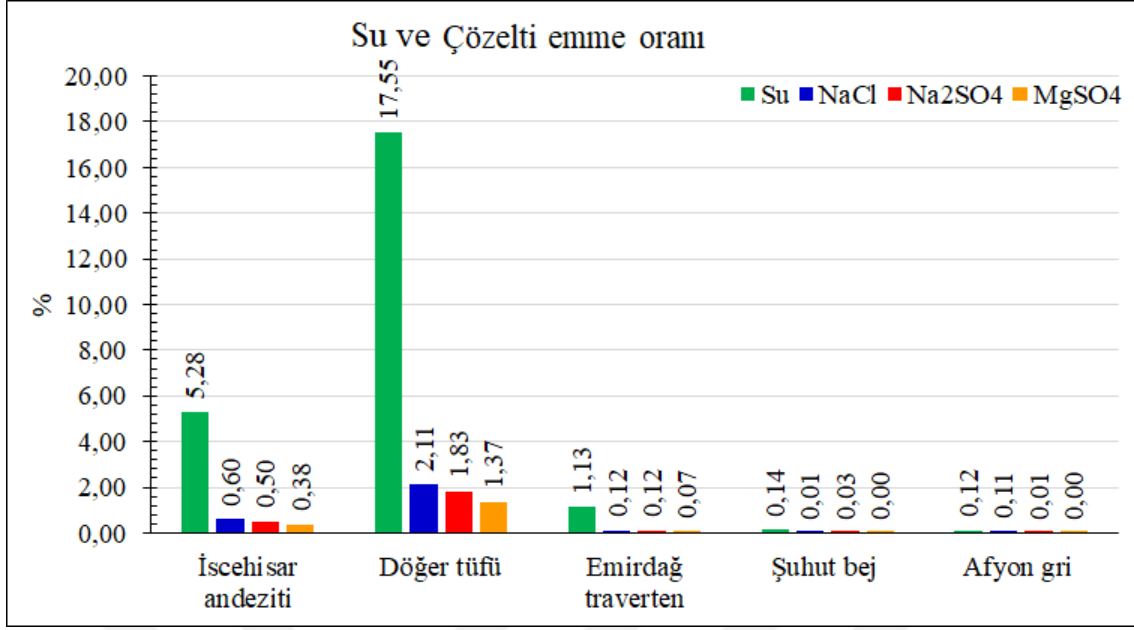
	Gözenek boyut dağılımları (%)		
	Mikro	Kılcal Gözenekler	
	<0,1 µm	0,1–1 µm	>1 µm
İscehisar andeziti	10,72	16,68	72,60
Döğer tüfü	15,56	35,57	48,86
Emirdağ gümüş traverten	0,90	29,21	69,89
Şuhut kireçtaşı	0,00	5,40	94,60
Afyon gri	0,00	11,61	88,39

4.3 Tuzlu Çözelti ve Tuz Alım Kapasitesi

Belirli doğal yapı taşları genellikle gözenekli yapıları nedeniyle suyu emme özelliğine sahiptir. Suyun emilmesi, suyun malzeme içindeki küçük boşluklara veya gözeneklere çekildiği kılcal hareket nedeniyle oluşur. Tipik olarak daha düşük konsantrasyonda çözünmüş tuz içeren daha az tuzlu bir çözelti söz konusu olduğunda, absorpsiyon saf su

ile karşılaştırıldığında farklı olabilir. Bunun nedeni, çözünmüş tuzların varlığının su emme sürecini iki ana yoldan etkileyebilmesidir; ilki, daha az tuzlu bir çözelti, gözenekli doğal bir yapı taşıyla karşılaştığında, çözeltideki çözünmüş tuzlar, suyun malzemeye doğru hareketine karşı koyan bir ozmotik basınç oluşturabilir. Bu ozmotik basınç, saf su çözeltisine kıyasla genel su emilimini azaltabilir. İkincisi ise tuzlar, pozitif ve negatif yüklü iyonlardan oluşur. Bu iyonlar, doğal yapı taşlarının yüklü yüzeyleriyle etkileşime girebilir. Bu etkileşimler, iyonların yapı taşlarının yüzeyinde adsorpsiyonuna neden olarak suyun emilmesi için mevcut alanı azaltabilir. Sonuç olarak, daha az tuzlu çözeltiler, bu iyon-yüzey etkileşimlerinin varlığından dolayı saf suya kıyasla daha düşük su absorpsiyonu sergileyebilir (Wells 1973).

Tuz kristalleşme deneyleri öncesinde incelenen doğal yapı taşlarının su ve tuzlu çözelti emme kapasiteleri hakkında ön bilgi edinmek amacıyla deneyler yapılmıştır. İA, DT, EGT, ŞK, AGM örneklerinin saf su, %14 NaCl, %14 Na₂SO₄ 10H₂O ve %14 MgSO₄ 7H₂O içeren solüsyonlarda tuzlu çözelti emme kapasitelerinin bulmak için deney yapılmıştır. Bulunan değerleri grafiksel gösterimi Şekil 4.14'de verilmiştir. Test edilen doğal yapı taşları arasında Döğer tüfü, tüm çözelti türlerinde en yüksek emme kapasitesini sergilemiştir. Saf suda %17,55, NaCl çözeltisinde %2,11, Na₂SO₄ 10H₂O çözeltisinde %1,83 ve MgSO₄ 7H₂O çözeltisinde %1,37 absorbe etmiştir. Bu, Döğer tüfünün çeşitli tuzlu su çözeltilerinde nemi emme ve tutma konusunda önemli bir yeteneğe sahip olduğunu göstermektedir. Emme kapasitesi en düşük olanın Afyon gri mermer olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit, Afyon gri mermerinin test edilen diğer taşlara kıyasla nispeten daha az gözenekli olduğunu ve nemi emme ve tutma eğiliminin daha düşük olduğunu göstermektedir. İlginç bir şekilde İA, DT, EGT, ŞK, AGM dahil olmak üzere tüm taş örnekleri saf suda en yüksek emilimi göstermiştir. Bu durum, bu taşların deneyde kullanılan tuzlu su çözeltilerine kıyasla saf sudan nemi emme ve tutma konusunda nispeten daha yüksek bir afiniteye sahip olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4.14 Emme kapasitesi deney sonuçları grafiksel gösterimi.

4.4 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Sonuçları

4.4.1 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Döngülerde Kütle Değişimi

4.4.1.1 Saf Suda Döngülerde Kütle Değişimi

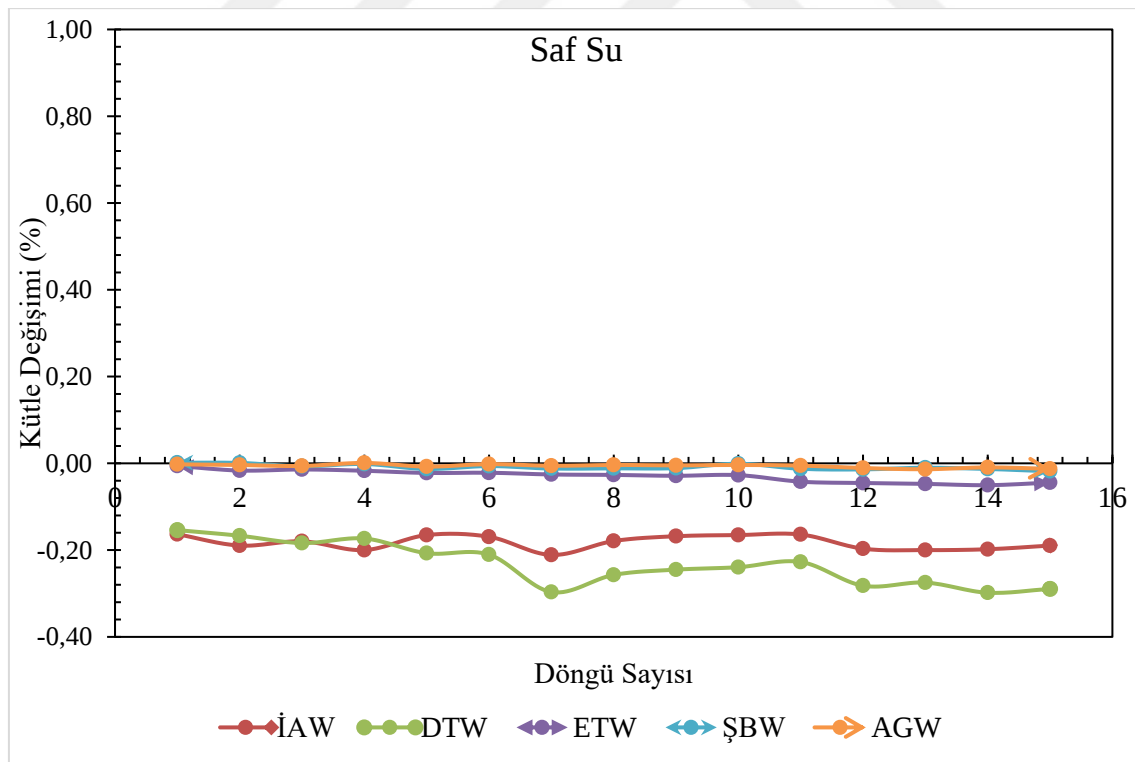
Saf suda yapılan deney sonrasında kütle değişimi grafiği Şekil 4.15’de verilmiştir. Şekil 4.15’de görüldüğü gibi, saf suda kütle kaybı İncehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermerde sırasıyla %0,19, %0,29, %0,04, %0,02 ve %0,01 olmuştur. Kütle kaybı en fazla Döğer tüfünde olduğu görülmüştür. Bu durum, potansiyel olarak gözenekli yapısından dolayı Döğer tüfünün suyun bozucu etkilerine karşı daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Toplam gözenekliliği düşük olduğu için (%4,2), saf suda yapılan deneylerden en az kütle kaybı Afyon gri mermerde görülmüştür. Afyon gri mermer, nispeten kompakt ve daha yoğun bir yapıya sahip olduğundan, suya batırıldığında daha az kütle kaybına neden olur. Gözlenen kütle kaybı eğilimleri, taşın gözenekliliği ile suyla ilişkili bozunmaya karşı direnci arasındaki etkileşimle açıklanabilir. Daha yüksek gözenekliliğe sahip taşlar genellikle suyu emebilen ve tutabilen daha fazla gözenek alanına sahiptir, bu da daha yüksek kütle kaybına yol açar. Tersine, daha düşük gözenekli taşlar daha az efektif gözenek alanına

sahiptir, bu da daha az su emilimi ve daha düşük kütle kaybı ile sonuçlanır. Deney örneklerinin her bir döngüde kütle değişim değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Deney örneklerinin Saf su deneyinde her döngüde kütle değişim değerleri (İAW: İscehisar andeziti, DTW: Döğer tüfü, ETW: Emirdağ gümüş traverten, ŞBW: Şuhut kireçtaşı, AGW: Afyon gri mermer).

SAF SU	Kuru ağırlık (g)	1. Döngü	2. Döngü	3. Döngü	4. Döngü	5. Döngü	6. Döngü	7. Döngü	8. Döngü
İAW	255,07	254,65	254,59	254,61	254,56	254,65	254,64	254,53	254,61
DTW	206,80	206,48	206,45	206,42	206,44	206,37	206,36	206,19	206,27
ETW	331,12	331,10	331,06	331,07	331,18	331,04	331,05	331,03	331,03
ŞBW	346,16	346,17	346,16	346,14	346,16	346,12	346,14	346,12	346,12
AGW	355,90	355,89	355,89	355,88	355,90	355,87	355,89	355,88	355,89

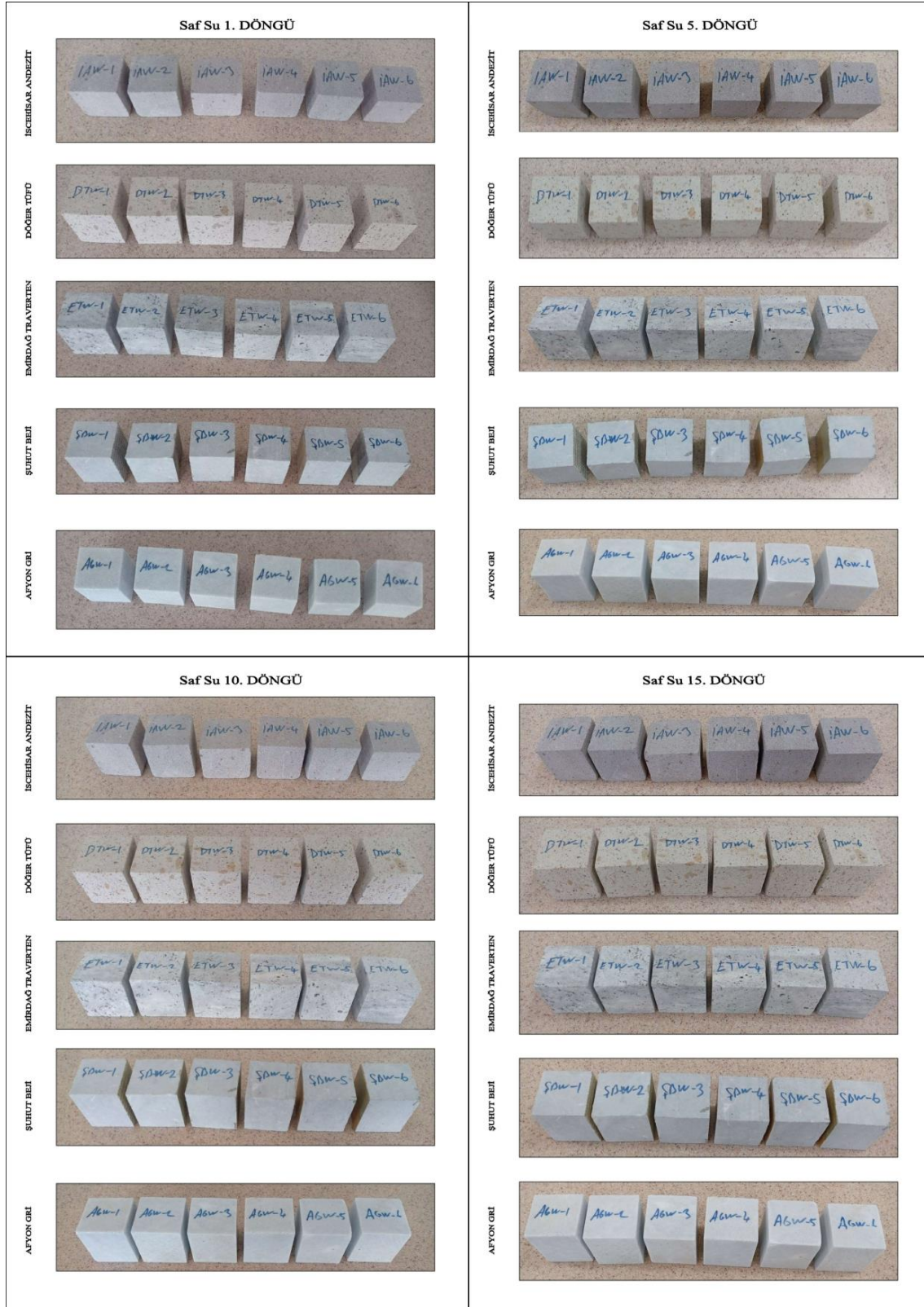
SAF SU	9. Döngü	10. Döngü	11. Döngü	12. Döngü	13. Döngü	14. Döngü	15. Döngü	Kütle Kaybı (%)
İAW	254,64	254,65	254,65	254,57	255,08	254,57	254,59	-0,19
DTW	206,29	206,30	206,33	206,22	206,23	206,18	206,20	-0,29
ETW	331,02	331,03	330,98	330,97	330,96	330,95	330,97	-0,04
ŞBW	346,12	346,16	346,12	346,11	346,13	346,12	346,10	-0,02
AGW	355,88	355,89	355,88	355,86	355,85	355,87	355,86	-0,01



Şekil 4.15 Saf suda örneklerin kütle değişimi grafiği (İAW: İscehisar andeziti, DTW: Döğer tüfü, ETW: Emirdağ gümüş traverten, ŞBW: Şuhut kireçtaşı, AGW: Afyon gri mermer).

İncelenen örneklerin 1, 5, 10 ve 15.döngü sonrasındaki görünüşleri Resim 4.1 verilmiştir. Doğal yapı taşı numunelerindeki kütle kaybı çoğu zaman dış görünüşlerindeki değişikliklerin göstergesi olabilmektedir. Belirli bir taşta daha yüksek kütle kaybı, ayrışmaya maruz kaldığında dış görünüşünde daha belirgin değişikliklere uğrayabileceğini düşündürmektedir. Kütle kaybı en yüksek olan Döğer tüfü örneğinde, taşın dış görünüşünün ayrışmaya maruz kaldığında daha belirgin değişikliklere uğraması muhtemeldir. Bu değişiklikler renk solmasını, yüzey pürüzlülüğünü, aşınmayı veya diğer bozunma biçimlerini içermektedir. Döğer tüfünün daha yüksek kütle kaybı, suyla ilişkili bozunmaya daha duyarlı olabileceğini ve potansiyel olarak dış görünüşünde gözle görülür değişikliklere yol açabileceğini göstermektedir.

Afyon gri mermer ise düşük gözenekliliği nedeniyle en az kütle kaybı sergilemiştir. Bu, saf suya maruz kaldığında dış görünüşünde minimum değişikliklere uğrayacağını düşündürmektedir. Afyon gri mermerin düşük gözenekliliği, zamanla orijinal görünüşünü koruyarak, su ile ilgili bozunmalara daha iyi direnç sağladığı görülmektedir. Genel olarak incelenen tüm doğal yapı taşı örneklerinin fiziksel bütünlüğünün bozunmadığı söylenebilir.



Resim 4.1 Deney örneklerinin saf suda 1,5,10 ve 15. döngü sonrası görünüşleri.

4.4.1.2 Sodyum Klorür (NaCl) Çözeltisinde Döngülerde Kütle Değişimi

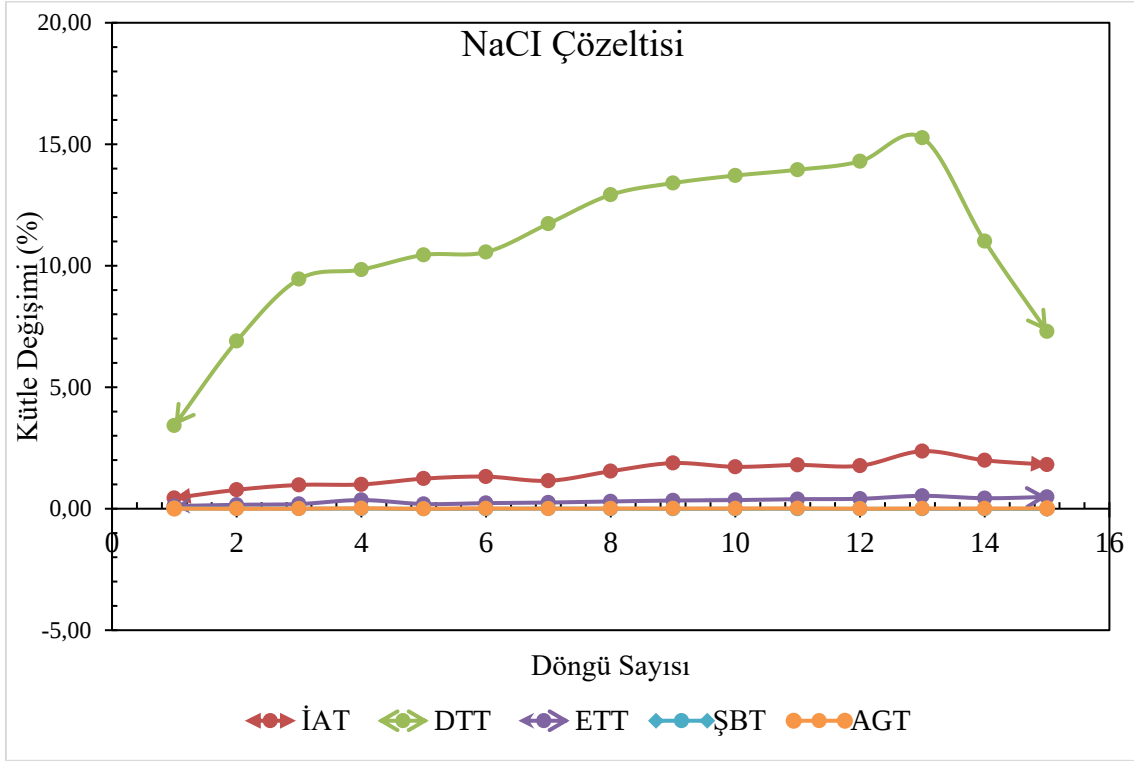
NaCl çözeltisi ile yapılan deney sonrasında kütle değişimi grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir. NaCl çözeltisinde kütle değişimi İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermerde sırasıyla %1,81, %7,29, %0,48, %0,01 ve %0,02 olmuştur. Kütle artışı en fazla Döğer tüfünde olduğu görülmüştür. En yüksek kütle artışı ise %7,29'luk kütle artışıyla Döğer tüfünde gözlenmiştir. Bu önemli kütle değişikliği, taşın gözeneklerinde tuz birikmesine bağlanabilir. NaCl çözeltisi taşın gözenekli yapısına nüfuz edip buharlaştıkça geride tuz kristalleri kalır ve bu da kütlelenin artmasına neden olur. Döğer tüfünün %47,5 ile en yüksek toplam gözenekliliğe sahip olduğu göz önüne alındığında, tuz birikimi için geniş alan sağlayarak gözlemlenen en yüksek kütle değişimine neden olması beklenen bir durumdur. Döğer tüfüne benzer şekilde diğer taş örneklerdeki kütle artışları da aynı şekilde değerlendirilebilir. İscehisar andezit, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut ve Afyon gri mermerde gözlenen düşük kütle değişimleri, gözeneklerinde nispeten daha az tuz birikimine işaret etmektedir. Doğal taşlardaki tuz birikimini ve kütle değişikliklerini belirlemek, kıyı veya deniz ortamları gibi tuza maruz kalmanın önemli olduğu ortamlarda dayanıklılıklarını ve performanslarını değerlendirmek için önemli olabilmektedir. Deney örneklerinin NaCl çözeltisinde her bir döngüde kütle değişim değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Deney örneklerinin NaCl çözeltisi ile yapılan deneyde, her döngüde kütle değişim değerleri (İAT: İscehisar andeziti, DTT: Döğer tüfü, ETT: Emirdağ gümüş traverten, ŞBT: Şuhut kireçtaşı, AGT: Afyon gri mermer).

NaCl	Kuru ağırlık (g)	1. Döngü	2. Döngü	3. Döngü	4. Döngü	5. Döngü	6. Döngü	7. Döngü	8. Döngü
İAT	250,59	251,69	252,54	253,04	253,09	253,69	253,90	253,47	254,45
DTT	206,32	213,38	220,55	225,81	226,62	227,87	228,11	230,52	232,97
ETT	327,67	328,03	328,20	328,30	328,84	328,30	328,42	328,51	328,65
ŞBT	346,69	346,73	346,71	346,70	346,71	346,67	346,68	346,71	346,69
AGT	355,90	355,93	355,90	355,91	355,96	355,90	355,94	355,92	355,93

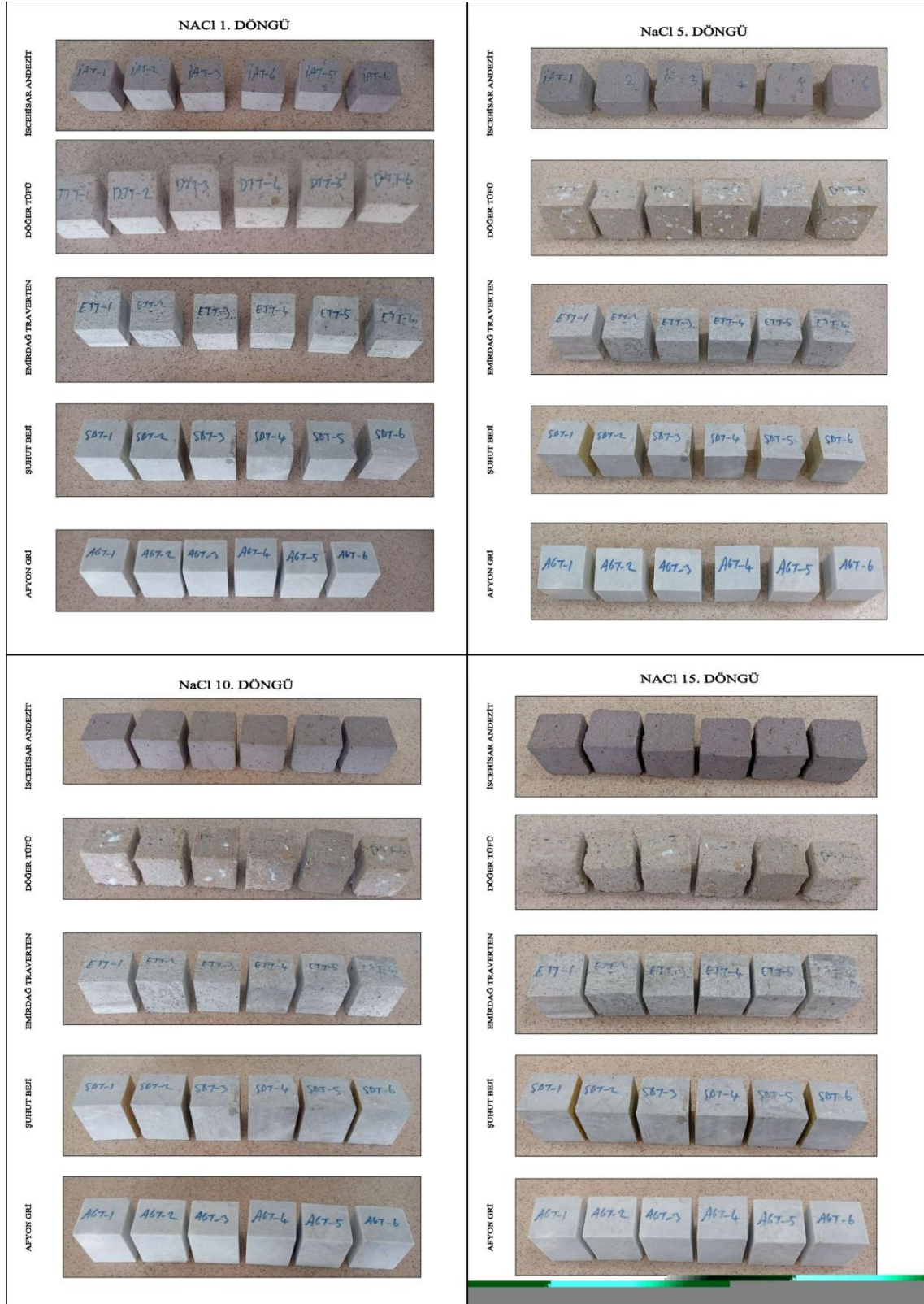
NaCl	9. Döngü	10. Döngü	11. Döngü	12. Döngü	13. Döngü	14. Döngü	15. Döngü	Kütle Kaybı (%)
İAT	255,30	254,91	255,10	255,02	256,52	255,58	255,13	1,81
DTT	233,97	234,61	235,10	235,81	237,81	229,04	221,36	7,29
ETT	328,78	328,83	328,96	329,01	329,41	329,08	329,26	0,48

ŞBT	346,68	346,68	346,69	346,68	346,68	346,68	346,66	-0,01
AGT	355,93	355,94	355,95	355,91	355,94	355,93	355,96	0,02



Şekil 4.16 Sodyum klorürü çözeltisinde örneklerin kütle değişimi grafiği (İAT: İscehisar andeziti, DTT: Döğer tüfü, ETT: Emirdağ gümüş traverten, ŞBT: Şuhut kireçtaşı, AGT: Afyon gri mermer).

İncelenen örneklerin NaCl çözeltisinde 1, 5, 10 ve 15. döngü sonrasındaki görünüşleri Resim 4.2’de verilmiştir. Taş yüzeyinin doğası, dokusu ve taş ile NaCl çözeltisi arasındaki spesifik etkileşimler gibi diğer faktörler de dış görünümdeki değişiklikleri etkileyebilmektedir. Buna bağlı olarak, çiçeklenme veya renk değişikliği gibi tuz birikiminin görsel etkileri, gözlemlenen kütle değişiklikleriyle doğru orantılı olarak Döğer tüflerinde izlenmiştir. 5. döngüden itibaren örnek yüzeylerinde tuz kristalleri birikimleri gözlenmiş ve döngü sayısı ilerledikçe bu durum arttığı gözlenmiştir. Nitekim 15. döngü sonunda taş yüzeyinde partikül kopmaları ve ayrışma izleri görülmüştür. Andezit örneklerinde NaCl tuz kristalleşme izleri tüfe göre daha az oranda gözlenirken diğer yapı taşı örneklerinin fiziksel bütünlüğünde herhangi bir değişiklik izlenmemiştir.



Resim 4.2 Deney örneklerinin sodyum klorürü çözeltisi ile yapılan tuz kristalleşmesi deneyinde 1,5,10 ve 15. döngü sonrası görünümleri.

4.4.1.3 Sodyum Sülfat Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Çözeltisinde Döngülerde Kütle Değişimi

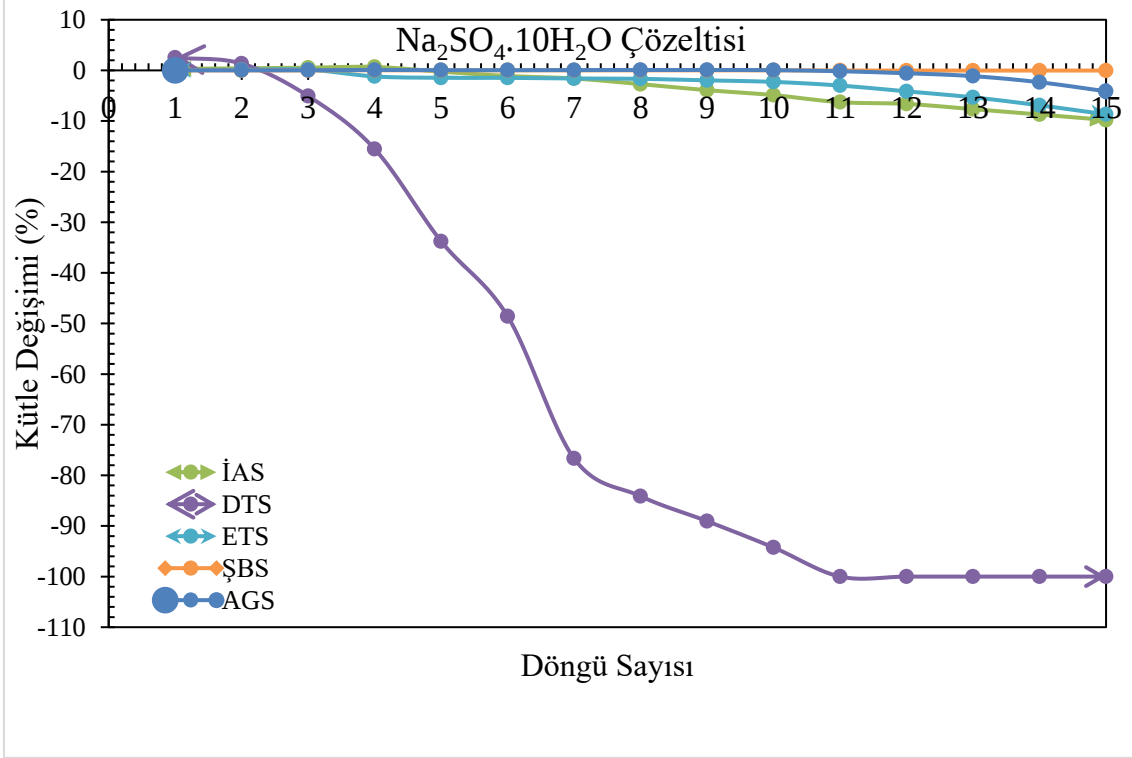
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi ile yapılan deney sonrasında kütle değişimi standartlara göre belirlenmiş olup, Şekil 4.17’de verilmiştir. Şekil 4.23’de görüldüğü gibi $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinde kütle değişimi İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermerde sırasıyla %9,80, %100, %8,68, %0,03 ve %4,13 olmuştur. En yüksek kütle kaybı ve önemli gözlem, deneyin 11. döngüsünden sonra tamamen dağılan Döğer tüfünde meydana gelmiştir. Döğer tüfünün gözeneklerine yerleşen tuzlar, gözeneklerin genişlemesine ve ardından taşın dağılmasına neden olmuştur. Bu tam dağılım, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinin etkisiyle taşın yapısında ciddi bir bozunma olduğunu göstermiştir. Deney örnekleri çözeltiler arasında en fazla kütle kaybını bu çözeltide yaşamışlardır. Bu da $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ solüsyonunun deneyde kullanılan diğer solüsyonlara göre taşlar üzerinde daha belirgin zararlı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ solüsyonuna maruz kalan diğer taş örneklerinde gözlenen yüksek kütle kaybı, bu çözeltinin genel olarak doğal taşlar üzerinde belirgin bir bozucu etkiye sahip olduğunu düşündürmektedir. Deney örneklerinin sodyum sülfat çözeltisinde her bir döngüde kütle değişim değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Deney örneklerinin sodyum sülfat çözeltisi ile yapılan deneyde, her döngüde kütle değişim değerleri (İAS: İscehisar andeziti, DTS: Döğer tüfü, ETS: Emirdağ gümüş traverten, ŞBS: Şuhut kireçtaşı, AGS: Afyon gri mermer).

NaSO ₄	Kuru ağırlık (g)	1. Döngü	2. Döngü	3. Döngü	4. Döngü	5. Döngü	6. Döngü	7. Döngü	8. Döngü
İAS	250,94	251,71	251,98	252,28	252,67	250,30	248,16	246,93	244,12
DTS	202,51	207,59	205,23	192,24	171,07	134,12	104,12	47,24	32,15
ETS	327,07	327,34	327,46	327,54	323,16	322,30	322,24	321,85	321,61
ŞBS	341,01	341,03	341,03	341,03	341,09	341,04	341,05	341,05	341,05
AGS	357,58	357,62	357,65	357,68	357,93	357,74	357,72	357,81	357,87

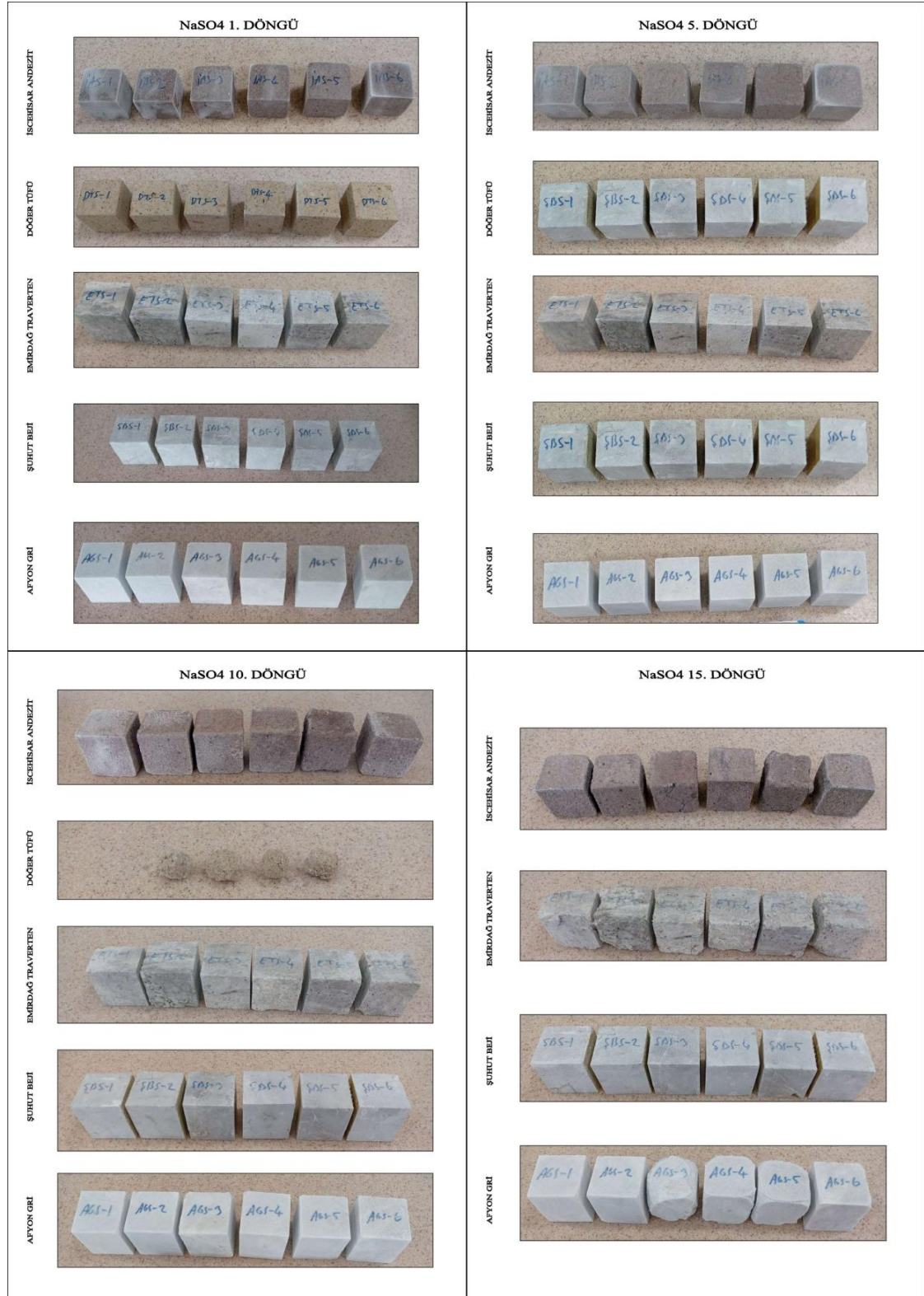
NaSO ₄	9. Döngü	10. Döngü	11. Döngü	12. Döngü	13. Döngü	14. Döngü	15. Döngü	Kütle Kaybı (%)
İAS	241,15	238,69	235,19	234,32	231,73	229,09	226,35	-9,80
DTS	22,17	11,64						-100,00
ETS	320,64	319,64	317,28	313,54	309,67	304,52	298,68	-8,68

ŞBS	341,05	341,05	340,95	340,89	340,91	340,91	340,91	-0,03
AGS	357,88	357,77	357,00	355,56	353,53	349,23	342,82	-4,13



Şekil 4.17 Na₂SO₄·10H₂O çözeltisinde örneklerin kütle değişimi grafiği (İAS: İscehisar andeziti, DTS: Döğer tüfü, ETS: Emirdağ gümüş traverten, ŞBS: Şuhut kireçtaşı, AGS: Afyon gri mermer).

Örneklerin Na₂SO₄·10H₂O çözeltisinde 1, 5, 10 ve 15. döngü sonrasındaki görünüşleri Resim 4.3’de verilmiştir. En dikkate değer gözlem, Na₂SO₄·10H₂O çözeltisine 11. maruz kalma döngüsünden sonra %100 kütle değişimi yaşayan ve tamamen dağılan Döğer tüfüne ilişkindir. Döğer tüfünün gözeneklerine yerleşen tuzlar, bu gözeneklerin genişlemesi sonucunda mikro çatlak oluşumuyla taşın dağılmasına neden olmuştur. Bu, Döğer tüfünün dış görünümünün, muhtemelen yapısal parçalanma ve orijinal formunun kaybolmasıyla sonuçlanan ciddi değişikliklere uğradığını düşündürmektedir. Yine aynı şekilde diğer doğal taş örneklerinde ciddi tuz kristalleşme hasarları gözlenmiştir. İscehisar andezit (%9,80), Emirdağ gümüş traverten (%8,68), Şuhut kireçtaşı (%0,03) ve Afyon gri mermerde (%4,13) gözlenen önemli kütle kayıpları, bu taşların da önemli ölçüde bozunmaya uğradığını göstermektedir. Ayrıca Emirdağ travertenin ve Afyon gri mermerinin de 15. döngüde dağılmaya başladığı şekilde açıkça görülmektedir.



Resim 4.3 Deney örneklerinin sodyum sülfat çözeltisi ile yapılan tuz kristalleşmesi deneyinde 1, 5, 10 ve 15. döngü sonrası görünüşleri.

4.4.1.4 MgSO₄ 7H₂O Çözeltisinde Döngülerde Kütle Değişimi

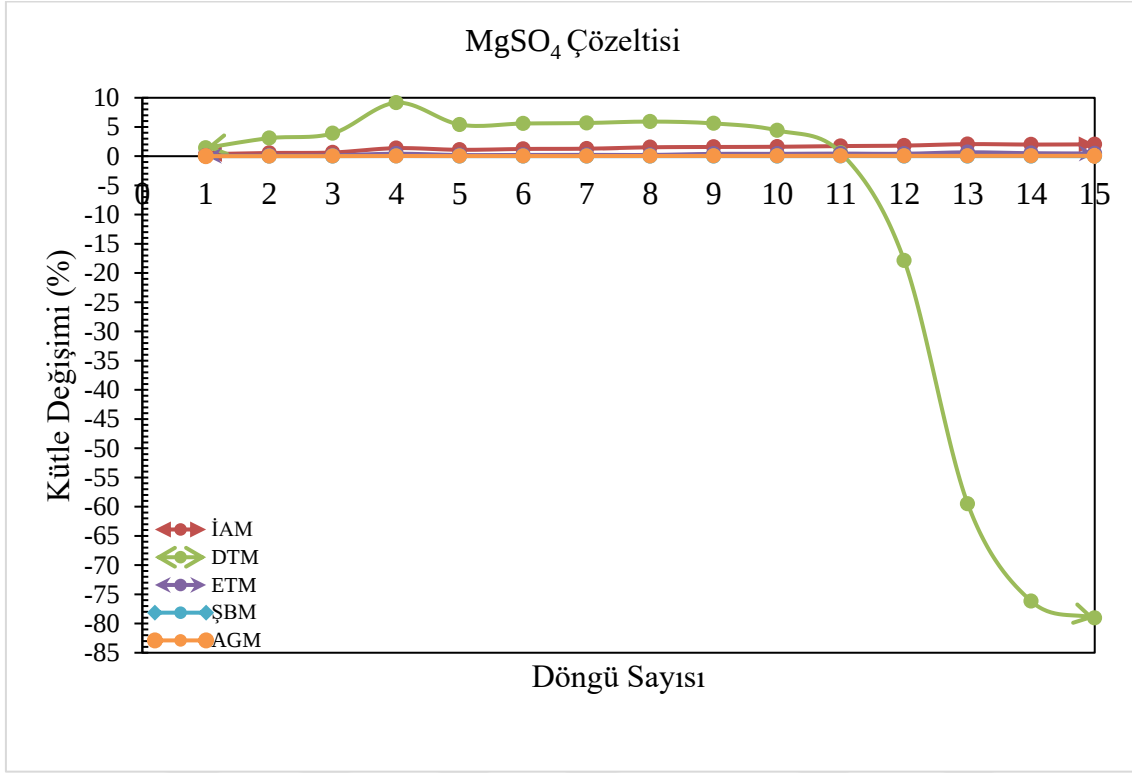
Deney örneklerinin magnezyum sülfat çözeltisinde her bir döngüde kütle değişim değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. MgSO₄.7H₂O çözeltisi ile yapılan deney sonrasında kütle değişimi standartlara göre belirlenmiş olup, Şekil 4.24’de verilmiştir. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi MgSO₄.7H₂O çözeltisinde kütle değişimi İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermerde sırasıyla %2,03, %79,06, %0,46, %0,01 ve %0,07 olmuştur. Döğer tüfünün, %47,5’lik yüksek toplam gözenekliliği ile uyumlu olarak, numuneler arasında en yüksek kütle kaybına uğradığını görülmektedir. Döğer tüfündeki önemli kütle kaybı, MgSO₄. 7H₂O çözeltisinde bulunan ve taşın yapısının bozunmasına neden olan tuzlara bağlıdır. Bu gözlem, Döğer tüfünün çeşitli çözeltilerin zararlı etkilerine karşı özellikle duyarlı olduğu fikrini daha da desteklemektedir. Bu verilere dayanarak, hem Na₂SO₄.10H₂O hem de MgSO₄.7H₂O çözeltileri dahil olmak üzere test edilen tüm çözeltilerde Döğer tüfünün en çok etkilenen doğal taş olduğu açıktır. Gözeneklerdeki yüksek toplam gözeneklilik ve müteakip tuz birikimi muhtemelen önemli kütle kaybına ve bozunmasına katkıda bulunmuştur. Bu bulgular, Döğer tüfü veya benzeri gözenekli doğal taşların MgSO₄.7H₂O’ya veya benzer zarar verici etkilere sahip diğer solüsyonlara maruz kalan ortamlarda kullanılması durumunda dikkatli değerlendirme ve uygun koruyucu önlemlerin alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Çizelge 4.8 Deney örneklerinin magnezyum sülfat çözeltisi ile yapılan deneyde, her döngüde kütle değişim değerleri (İAM: İscehisar andeziti, DTM: Döğer tüfü, ETM: Emirdağ gümüş traverten, ŞBM: Şuhut kireçtaşı, AGM: Afyon gri mermer).

	Kuru								
	ağırlık	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
MgSO ₄	(g)	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü
İAM	259,39	260,26	260,81	261,04	262,96	262,21	262,60	262,72	263,34
DTM	199,62	202,47	205,79	207,42	217,89	210,41	210,79	210,96	211,45
ETM	331,77	332,00	332,12	332,25	333,20	332,45	332,50	332,53	332,48
ŞBM	342,57	342,61	342,60	342,60	342,63	342,60	342,58	342,59	342,59
AGM	358,51	358,53	358,53	358,56	358,63	358,60	358,61	358,60	358,63

	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	Kütle Kaybı
MgSO ₄	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü	Döngü	(%)
İAM	263,48	263,57	263,89	264,09	264,75	264,55	264,66	2,03
DTM	210,82	208,43	200,77	163,95	80,80	47,55	41,80	-79,06
ETM	333,09	333,10	333,25	333,16	334,00	333,46	333,31	0,46

ŞBM	342,61	342,59	342,62	342,61	342,60	342,59	342,57	0,00
AGM	358,66	358,67	358,71	358,68	358,72	358,72	358,74	0,07

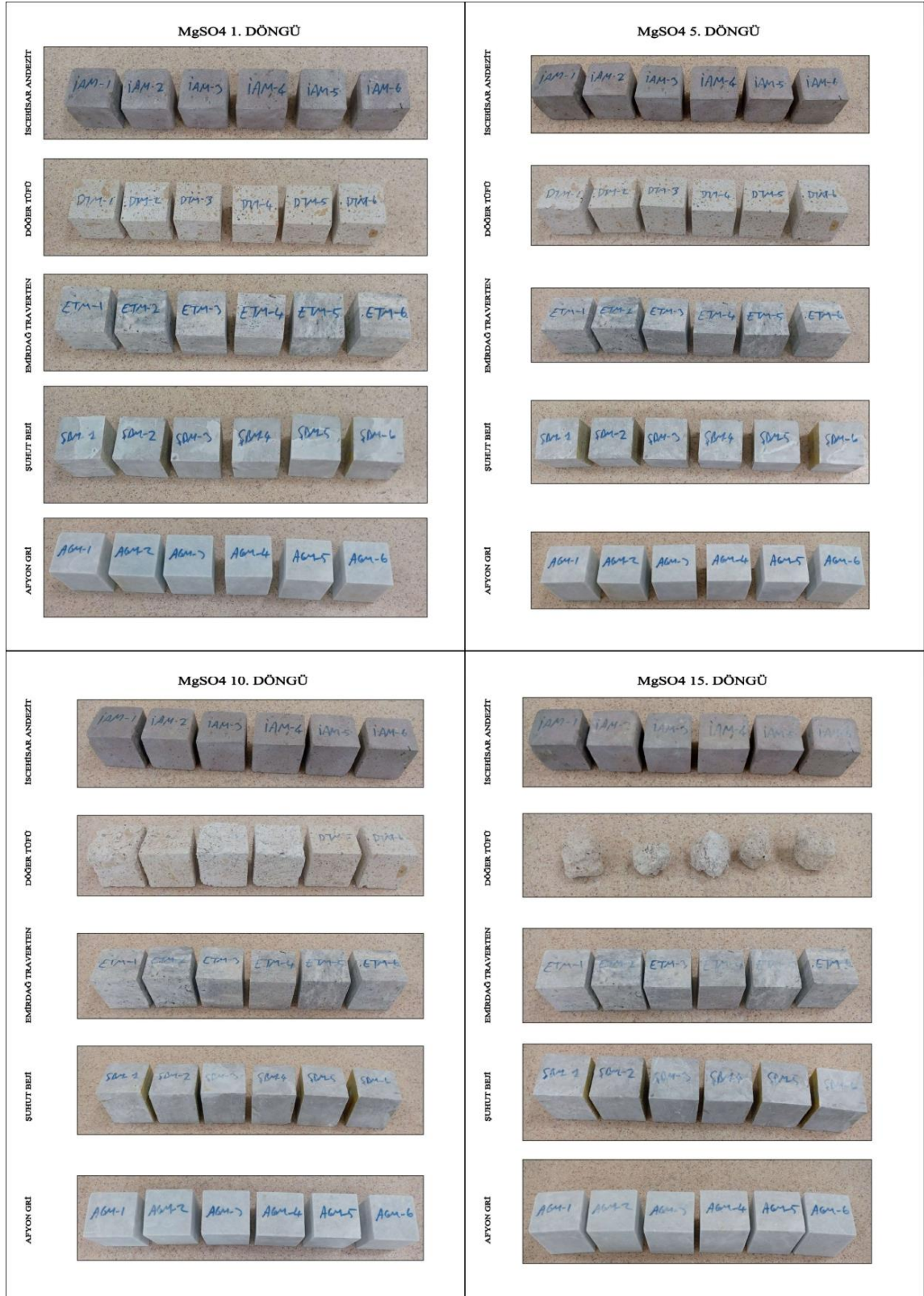


Şekil 4.18 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ çözeltisinde örneklerin kütle değişimi grafiği (İAM: İscehisar andeziti, DTM: Döğer tüfü, ETM: Emirdağ gümüş traverten, ŞBM: Şuhut kireçtaşı, AGM: Afyon gri mermer).

Örneklerin $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ çözeltisinde 1, 5, 10 ve 15. döngü sonrasındaki görünüşleri Şekil 4.4’de verilmiştir. En dikkate değer gözlem, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ çözeltisinde %79.06’lık bir kütle değişimi yaşayan ve önemli bir kütle kaybına işaret eden Döğer tüfüne ilişkindir. Bu önemli kütle kaybı, Döğer tüfünün dış görünümünün önemli ölçüde değiştirmiştir. Taşın yüzey erozyonu, yapısal parçalanma ve doku değişiklikleri gibi görünür bozunma belirtileri göstermiştir. Diğer taş örneklerinin dış görünümündeki gözle görülür değişiklikler ortaya çıkmıştır. Hem $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ hem de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ çözeltileri dahil olmak üzere test edilen tüm çözeltilerde en çok etkilenen doğal taşın Döğer tüfü olduğu düşünüldüğünde, Döğer tüfünün dış görünümünün test edilenler arasında en belirgin değişiklikleri yaşadığı sonucuna varılabilir. Döğer tüfü gibi doğal taşların çeşitli ortamlar için uygunluğunu değerlendirirken gözenekliliğini ve tuz kaynaklı bozunmaya karşı savunmasızlığını dikkate almak önemlidir. Bu bulgular, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ veya benzeri zarar

verici solüsyonlardaki gözenekli doğal taşların dış görünümünü ve yapısal bütünlüğünü korumak için uygun koruyucu önlemlerin (su itici kimyasallar kullanılması vb.) ve bakım stratejilerinin kullanılmasının önemini vurgulamaktadır.

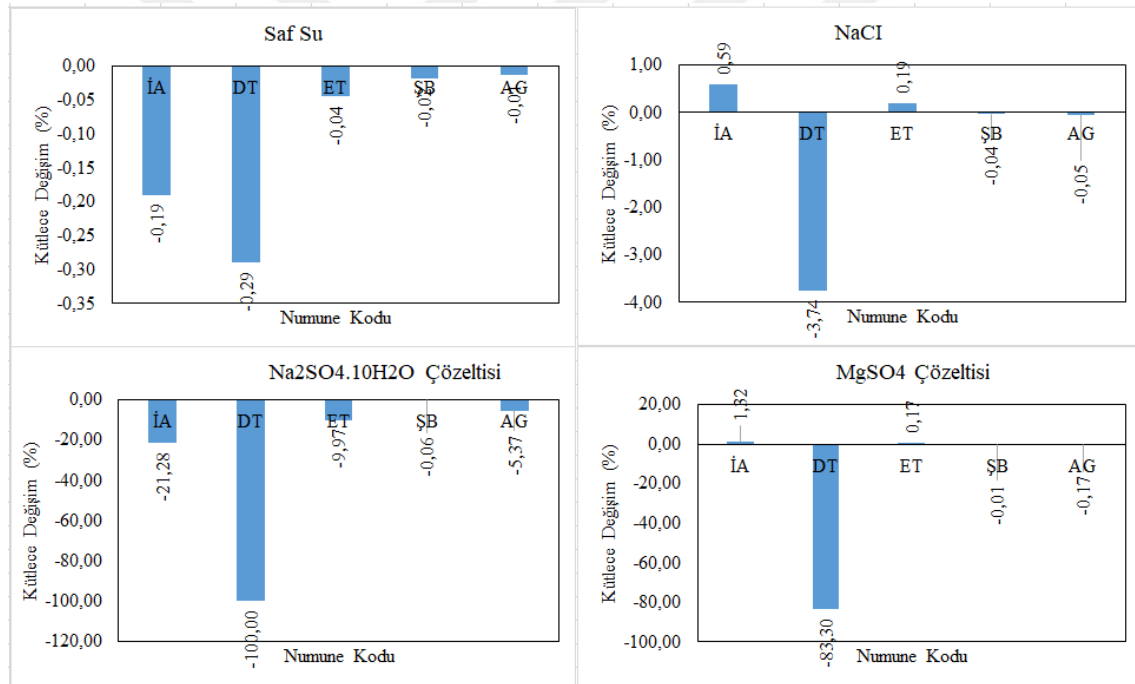




Resim 4.4 Deney örneklerinin magnezyum sülfat çözeltisi ile yapılan tuz kristalleşmesi deneyinde 1, 5, 10 ve 15. döngü sonrası görünümleri.

4.4.2 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Sonrası Kuru Ağırlık Kaybı Değişimi

İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermer örneklerine standartlara uygun olarak deneyler yapılmış ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Yapılan deneylere göre hasar etkisinin en fazla olduğu çözelti sodyum sülfat olduğu tespit edilmiştir. Gözenekliliği %47,5 olan Döğer tüfünün saf suda %0,29, NaCl çözeltisinde %3,74, sodyum sülfat çözeltisinde tamamen dağıldığı ve magnezyum sülfat çözeltisinde %83,30 ile en çok hasara uğrayan doğal taş olduğu, bütün çözeltilerde görülmüştür. Çözeltilere baktığımız zaman doğal taşların en çok hasar sodyum sülfat çözeltisinde, en az hasarı ise saf suda aldıkları açıkça görülmektedir. Toplam gözenekliliği düşük olan doğal taşların az hasara maruz kaldığı tespit edilmiştir.

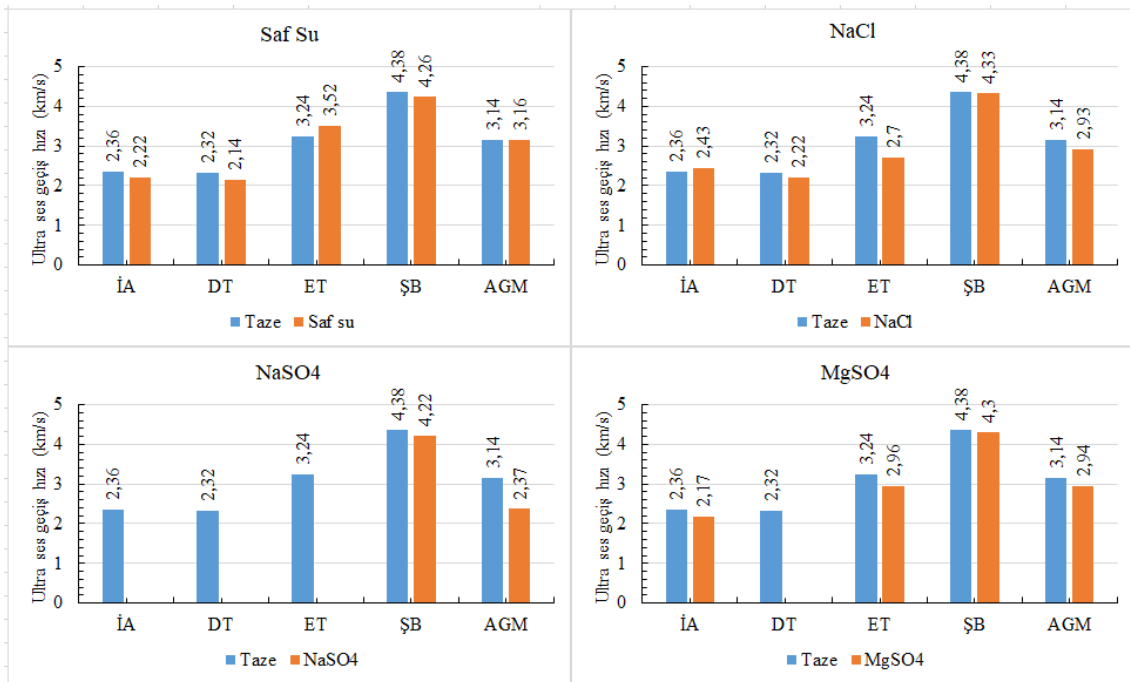


Şekil 4.19 Deney örneklerinin Saf su, NaCl çözeltisi, Na₂SO₄.10H₂O çözeltisi ve MgSO₄ çözeltisinde ağırlık değişimleri grafiği (İA: İscehisar andeziti, DT: Döğer tüfü, ET: Emirdağ gümüş traverten, ŞB: Şuhut kireçtaşı, AG: Afyon gri mermer).

4.4.3 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Sonrası Ultra Ses Yayılma Hızı Değişimi

İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermer örneklerine standartlara uygun olarak ultra ses geçiş hızı deneyleri yapılmış ve

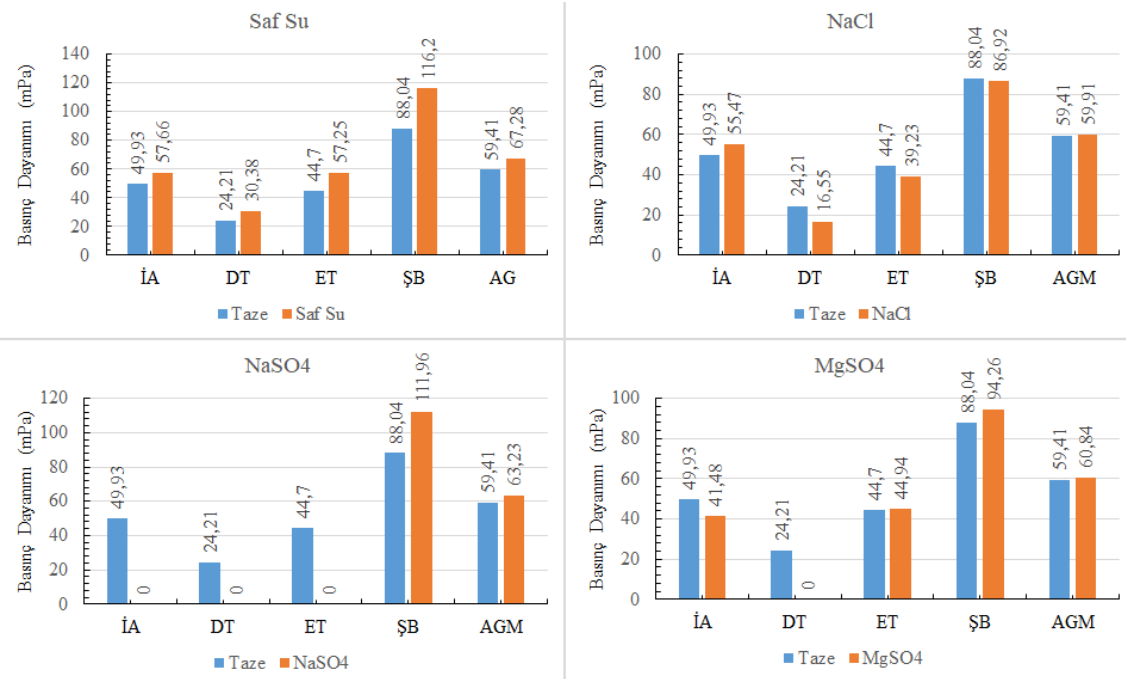
deney öncesi ve sonrası sonuçlar Şekil 4.20’da gösterilmiştir. Saf suda yapılan deneyler sonucunda ses yayılma hızları ısıtma işlemine tabi tutulduğu için mikro çatlaklar oluşmuş ve ses yayılma hızı düşmüştür. NaCl çözeltisi ile yapılan deneyler sonunda sadece İscehisar andezitinde ses yayılma hızı artmıştır, bunun nedeni gözeneklerin tuz ile dolması ile ilgili olduğu düşünülebilir. Deney sırasında özellikle $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinde Döğeri tüfleri tamamen dağıldığı için ölçüm yapılamamıştır. Yine aynı şekilde İscehisar andezit ve Emirdağ gümüş travertenlerin bozunma sonucu düzgün yüzey olmadığından ölçüm yapılamamıştır. Örneklerin en düşük ultra ses geçiş hızları $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinde bulunmuştur. Magnezyum sülfat ile yapılan deneyler sonucunda da bütün deney örneklerinde deney sonrası ses yayılma hızları düşmüştür. Tuz kristalleşme deneyinden sonra genel ultra ses geçiş hızlarında düşüş olmasının nedeni, tuz kristallenmesi sırasında mikro çatlaklar ve boşluklar meydana gelmiş ve gözeneklerin artmasıyla ultra ses geçiş hızı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tuz kristalleşme sırasında gözeneklerde biriken tuz kristalleri döngüler ilerledikçe gözenekleri doldurmaya başlar. NaCl kristalleşme basıncı diğer tuzlara göre daha düşük olduğu için sadece gözeneklerde birikerek ultrases geçiş hızının artışına yol açabilir. Na_2SO_4 ve MgSO_4 çözeltisinde ise gözenek duvarlarına yapılan basıncın artması mikro çatlak oluşumlarına bağlı olarak gözenek genişlemeleriyle sonuçlanabilir. Bu durumda da ultrases geçiş hızlarında azalmalar meydana gelebilir.



Şekil 4.20 Deney örneklerinin Saf su, NaCl çözeltisi, Na₂SO₄ çözeltisi ve MgSO₄ çözeltisinde ultra ses geçiş hızı değişimleri grafiği (İA: İscehisar andeziti, DT: Döğer tüfü, ET: Emirdağ gümüş traverten, ŞB: Şuhut kireçtaşı, AGM: Afyon gri mermer).

4.4.4 Tuz Kristalleşmesi Deneyi Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişimi

İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermer örneklerine standartlara uygun olarak tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve deney öncesi ve sonrası verilerin karşılaştırılması Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Saf suda yapılan deneylerde fazla farklılık olmamasına karşın dayanımlarında bir miktar artış görülmüştür, bunun nedeni ısıtma işlemiyle gözeneklerin kapanması ile ilgili olabilir. NaCl çözeltisi ile yapılan deneyde, İscehisar andezitlerinde gözenekler tuzla dolduğu için dayanımında bir miktar artış olmuştur. Diğer bütün doğal taşların dayanımlarının düştüğü görülmüştür. Deney sırasında özellikle Na₂SO₄.10H₂O çözeltisinde Döğer tüfleri tamamen dağılmıştır. Tuz kristalleşme deneyinden sonra tüflerin dağılmasının nedeni tuz kristallenmesi sırasında mikro çatlaklar ve boşluklar meydana gelmiş ve gözeneklerin artması ile ilgilidir. Magnezyum sülfat çözeltisinde Şuhut kireçtaşının gözeneklerine tuz çökeldiği için dayanımı az miktarda artmıştır. Diğer doğal taşlarda azaldığı görülmüştür. Tek eksenli basınç dayanımını karşılaştırdığımız zaman bazı örneklerde artmasının nedeni gözeneklere tuzların girmesi ve boşlukları doldurması ile ilgilidir.



Şekil 4.21 Deney örneklerinin Saf su, NaCl çözeltisi, Na₂SO₄ çözeltisi ve MgSO₄ çözeltisinde tek eksenli basınç dayanımı değişimleri grafiği (İA: İscehisar andeziti, DT: Döğertüf, ET: Emirdağ gümüş traverten, ŞB: Şuhut kireçtaşı, AGM: Afyon gri mermer).

4.5 Tuz Kristalleşmesinin Gözenek Boyut Dağılımına Etkisi

Doğal yapı taşlarının gözenek boyutu dağılımı, dayanıklılıklarını, güçlerini ve performanslarını etkileyen önemli bir özelliktir. Doğal yapı taşlarının tuz kristalleşmesiyle ayrılması, taşın gözenek boyutu dağılımında değişikliklere neden olabilir. Tuz kristalleşmesi, bir taşın gözeneklerinde tuz kristalleri oluştuğunda ve tuz çözeltisi buharlaştıkça büyüdüğünde meydana gelen bir ayrışma sürecidir. Bu büyüme, taşın bloklara ayrılmasına yol açan mekanik gerilimlere neden olabilir.

Tuz kristalleştirme işlemi sırasında, tuz çözeltisi taşın gözeneklerine nüfuz eder ve çözelti buharlaştıkça tuz kristalleri gözenekler içinde büyür ve genişler. Bu büyüme, yeni gözeneklerin oluşumu da dahil olmak üzere taşta fiziksel hasara neden olabilir ve ayrıca taş içindeki gözenek boyutlarının dağılımında değişikliklere neden olabilir. Doğal yapı taşlarının tuz kristalleşmesi ile ayrışması, küçük boyutlu gözeneklerin sayısında artış ve daha büyük boyutlu gözeneklerin sayısında azalma ile taşın gözenek boyutu dağılımında değişikliklere neden olabilir. Bu değişiklikler, taşın genel taşıma özelliklerini ve zamanla

dayanıklılığını etkileyebilir.

4.5.1 İscehisar Andeziti Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi

Tuz kristalleşme deneyi sonrası İscehisar andezitinin Cıvalı porozimetre deney sonuçları Çizelge 4.9'da gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları Çizelge 4.10'da verilmiştir. NaCl, Na₂SO₄ ve MgSO₄ testleri sonrasında cıvalı porozimetri verilerine göre ortalama gözenek çapı sırasıyla 0,144 µm'den 0,202 µm, 0,243 µm ve 0,328 µm'ye yükselmiştir.

Çizelge 4.9 Tuz kristalleşme deneyi sonrası İscehisar andezitinin Cıvalı porozimetre deney sonuçları.

	Taze (ayırışma mı)	Su ile ayırışma	NaCl çözeltisi	Na ₂ SO ₄ çözeltisi	MgSO ₄ çözeltisi
Toplam cıva giriş hacmi (mL/g)	0,101	0,0882	0,0771	0,1061	0,0861
Toplam gözenek alanı (m ² /g)	2,797	1,567	1,527	1,74	1,048
Medyan gözenek çapı (hacim) (µm)	2,356	2,416	2,075	2,787	2,264
Medyan gözenek çapı (Alan) (µm)	0,011	0,031	0,037	0,031	0,05
Ortalama gözenek çapı (4V/A) (µm)	0,144	0,225	0,202	0,243	0,328
Kütle yoğunluğu 0.52 psia (g/mL)	1,9399	2,1235	2,216	2,0436	2,1613
Görünen (iskeletsel) yoğunluk (g/mL)	2,4129	2,6129	2,673	2,6092	2,6555
Gözenek oranı (%)	19,6003	18,7301	17,0958	21,6757	18,6088
Kullanılan stem hacmi (%)	25	31	30	35	32

Tuz kristalleşme deneyleri sonrası İscehisar andezitinin gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

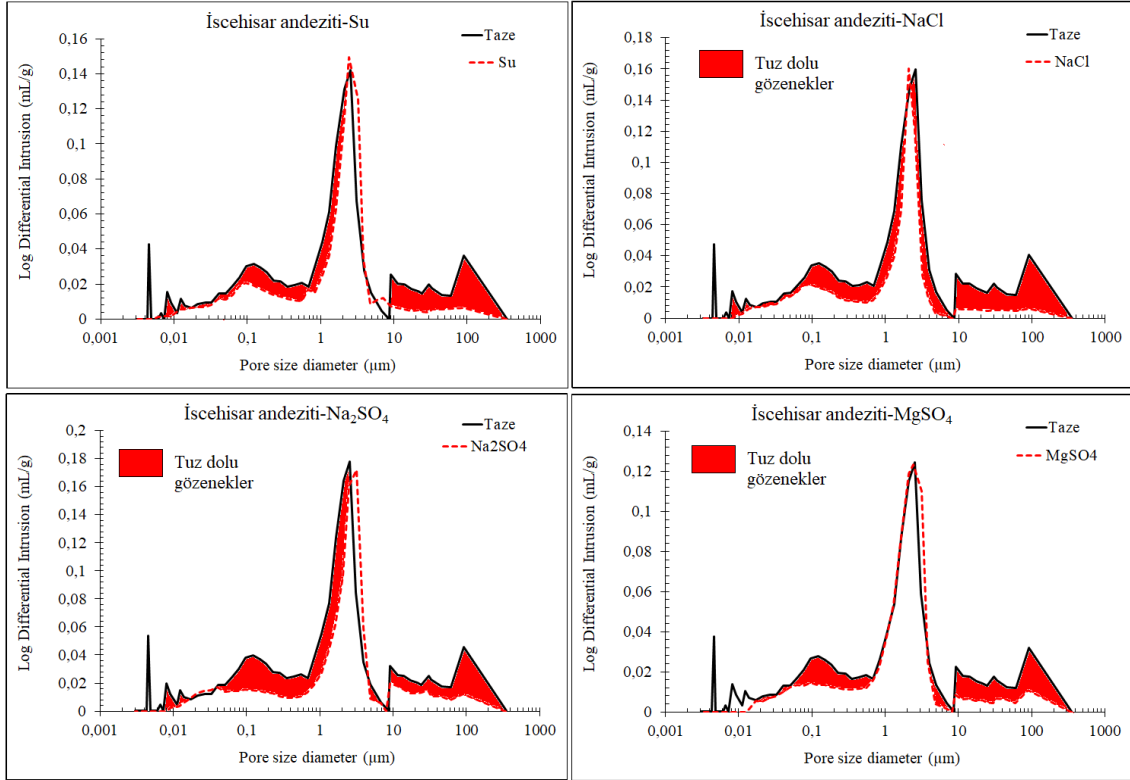
Çizelge 4.10 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası İscehisar andezitinin gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.

	Gözenek boyut dağılımları (%)		
	Mikro <0.1 µm	Kılcal gözenekler	
		0.1–1 µm	>1 µm
Taze	10,72	16,68	72,60
Su	12,76	15,23	72,01
NaCl	15,94	17,00	67,06
Na ₂ SO ₄	12,22	11,35	76,43
MgSO ₄	10,05	14,83	75,11

Andezitin tuz çözeltilerinde tuz kristalleşme testi öncesi ve sonrası gözenek boyutu dağılım grafikleri de Şekil 4.22'de verilmiştir.

Tuz kristalleşme deneyinden sonra andezitte gözenek boyutu dağılımındaki değişiklikler, tuz kristalleşmesinin kayanın mikro yapısı üzerindeki etkilerine ilişkin değerli bilgiler sağlar. Cıvalı porozimetri analizinden elde edilen veriler, andezit örneklerinin gözenek özelliklerinde önemli değişiklikler olduğunu ortaya koymuştur. Andezit örneklerinde 0.01-1 μm aralığındaki gözeneklerin çoğunun tuz kristalizasyon testleri sonrasında tuz kristalleri ile dolduğu gözlenmiştir. Bu, tuzların kaya matrisi içindeki bu ince gözeneklere sızma ve onları işgal etme yeteneğine sahip olduğunu gösterir. Gözenekler içinde tuz kristallerinin varlığı, deney koşullarında bulunan tuzların kayanın mikro yapısı içinde çözünme ve çökelme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, magnezyum sülfatın varlığının, sodyum sülfat ve sodyum klorürün aksine gözenek dolgusu ile sonuçlanmaması dikkat çekicidir. Bu tutarsızlık, gözeneklerin kristalleşmesini ve dolmasını engelleyebilecek magnezyum sülfat ve andezit arasındaki spesifik kimyasal etkileşimlere bağlanabilir.

Cıva porozimetri verilerine göre magnezyum sülfat dışında tuz kristalizasyon testleri sonrasında andezit numunelerinde 0,01-1 μm arasındaki gözeneklerin büyük bir kısmının tuz kristalleri ile dolduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda tuz kristalizasyon testi sonrasında 0.1-1 μm aralığında yeni mikro çatlaklar oluşmuştur. 0.01 μm 'den büyük gözeneklerin sayısındaki azalmaya rağmen tuz kristallerinin iç basıncından dolayı boyut çapının arttığı tespit edilmiştir. 0.01 μm 'den küçük olan mikro gözenekler, tuz alımı ile en yüksek değere sahiptir. Bunun nedeni, havanın daha büyük mikro gözeneklerden daha kolay dışarı atılması ve böylece çözeltinin bu gözenekleri tamamen kaplamasına izin verilmesidir. Özellikle 10-200 μm arasında gözenek boyutlarında önemli bir artış olmuştur. Bununla birlikte, daha büyük gözenekler, tuzları emmede her zaman en etkili olanlar değildir. Daha büyük gözeneklerde çözelti girişi daha kolay olmasına rağmen emilen çözeltinin tutulması zordur. Bu duruma neden olan gözeneklerde kristalleşen tuz kristallerinin oluşumu SEM incelemelerinde gözlenmiştir.



Şekil 4.22 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında İskehisar andezitinde gözenek boyut dağılım değişimleri.

4.5.2 Döğer Tüfü Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi

Döğer tüfü üzerindeki tuz kristalleştirme deneyinin sonuçları, gözenek boyutu dağılımında önemli değişiklikler göstermiştir. Ortalama gözenek çapı her tuz testinden sonra artmış, en yüksek artış $MgSO_4$ testinde gözlenmiştir. Bu durum, tuzların kristalleşmesinin tüf örneklerinde mikro gözeneklerin ve çatlakların oluşumuna neden olduğunu düşündürmektedir.

$NaCl$, Na_2SO_4 ve $MgSO_4$ testleri sonrasında cıvalı porozimetri verilerine göre ortalama gözenek çapı sırasıyla $0,131 \mu m$ 'den $0,157 \mu m$, $0,270 \mu m$ ve $0,325 \mu m$ 'ye yükselmiştir. Ortalama gözenek çapındaki artış, SEM'de gözlemlendiği gibi, tuz kristalleşmesi sırasında mikro gözeneklerin ve çatlakların artışı ile açıklanabilir. Her üç tuz çözeltisinde de yaşlandırma deneyinden sonra gözeneklilik oranının değiştiği gözlenmiştir. Na_2SO_4 çözeltisinde ayrılmış örneklerdeki gözeneklilik oranı, taze örneklerde %37,04'dan %39,79'e artış göstermiştir. Bu durum $0,05 \mu m$ ile $3 \mu m$ arasındaki gözeneklerin tuz kristalleri ile dolu olmasına karşın 4 ile $300 \mu m$ arasında yeni oluşan mikro çatlaklara

bağlıdır. Gözeneklilik oranı NaCl ve MgSO₄ çözeltilerinde ise sırasıyla %29,99 ve %33,22'e düşmüştür. Şekil 4.23'de görüldüğü gibi bu durumun temel nedeni 1 µm ile 3 µm arasındaki gözeneklerin NaCl kristalleri ile dolu olmasıdır. MgSO₄ çözeltisinde ise 0,01 µm ile 0,1 µm arasındaki gözeneklerin MgSO₄ kristallerinin gözeneklerde birikmesi olarak açıklanabilir. Mikro gözenekler ve mikro çatlaklar tuz kristalleşme döngülerine daha duyarlıdır ve çözeltilerin yoğunlaşması için ideal yerlerdir ve tuzla ilgili taş bozunma süreçlerini desteklemektedir.

Çizelge 4.11 Tuz kristalleşme deneyi sonrası Döğer tüfünün Cıvalı porozimetre deney sonuçları.

	Taze (ayırışma	Su ile	NaCl	Na₂SO₄	MgSO₄
	miş)	ayırışma	çözeltisi	çözeltisi	çözeltisi
Toplam cıva giriş hacmi (mL/g)	0,26	0,07	0,18	0,27	0,21
Toplam gözenek alanı (m ² /g)	7,90	0,15	4,61	4,05	2,62
Medyan gözenek çapı (hacim) (µm)	0,807	1,939	0,682	1,221	1,044
Medyan gözenek çapı (Alan) (µm)	0,023	1,550	0,030	0,036	0,071
Ortalama gözenek çapı (4V/A) (µm)	0,131	1,841	0,157	0,270	0,325
Kütle yoğunluğu 0.52 psia (g/mL)	1,42	1,01	1,66	1,45	1,56
Görünen (iskeletsel) yoğunluk (g/mL)	2,26	1,08	2,36	2,41	2,33
Gözenek oranı (%)	37,04	7,014	29,99	39,79	33,22
Kullanılan stem hacmi (%)	65	17	48	65	42

Çizelge 4.12'de Döğer tüf örneklerinin tuz kristalleştirme deneyinden sonraki gözenek boyut dağılımı sınıflandırma varyasyonunu göstermektedir. Döğer tüfünün ayırışma testleri öncesi 0,1 µm'den küçük boyutlu gözenek (mikro) oranı taze örneklerde %15,56 iken NaCl, Na₂SO₄ ve MgSO₄ çözeltilerinde sırasıyla %15,05, %8,75 ve %6,90 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum yukarıda açıklanan 0,1 µm'den küçük boyutlu gözeneklerde biriken tuz kristallerine bağlıdır. 0.1–1 µm gözeneklilik oranında taze örnekler %35,57 iken, Na₂SO₄ çözeltisinde kayda değer bir artış olmamıştır (%35,66). 0.1–1 µm gözeneklilik oranı, NaCl ve MgSO₄ çözeltilerinde yeni gözenek oluşumlarına bağlı olarak sırasıyla %56,18 ve %43,37 olarak ölçülmüştür.

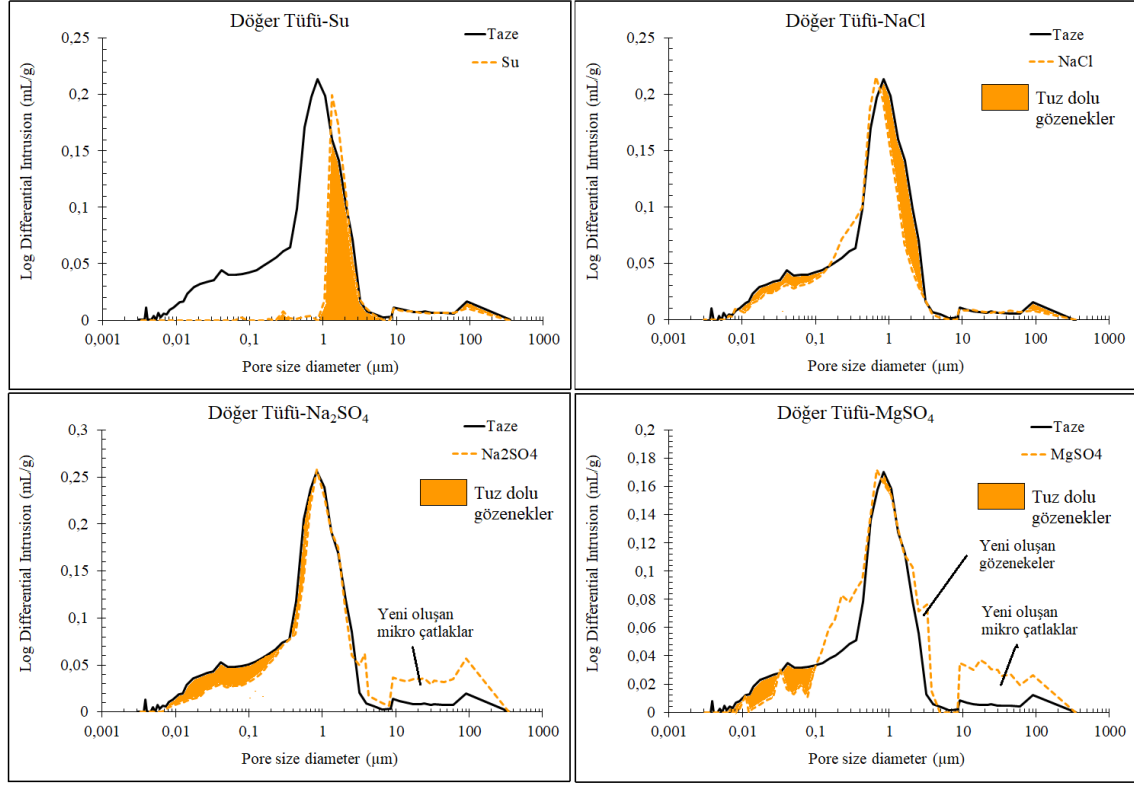
1 µm'den büyük gözenek oranı taze örneklerde %48,86 iken NaCl çözeltisinde %28,77 olarak gerçekleşmiştir. 1 µm'den büyük gözeneklerdeki azalma, bu gözeneklerin tuzla dolu olduğunu gösterir. 1 µm'den küçük gözenek boyutlarındaki artış, kısmi tuz dolumu nedeniyle 1 µm'den büyük gözeneklerin daha küçük boyutlara gelişmesi gerçeğinden kaynaklanmıştır.

Na_2SO_4 ve MgSO_4 çözeltilerinde $1\text{ }\mu\text{m}$ 'den büyük gözenek oranı %55,59 ve %49,73 olarak belirlenmiştir. Grafiklerden de görüleceği gibi bu çözeltilerde test edilen örneklerde yeni mikro çatlaklar oluşmuştur. Bu mikro çatlaklar da $1\text{ }\mu\text{m}$ 'den büyük gözenek oranının artmasına yol açmıştır.

Çizelge 4.12 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası Döğer tufunun gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.

	Gözenek boyut dağılımları (%)		
	Mikro <0.1 μm	Kılcal gözenekler 0.1–1 μm >1 μm	
Taze	15,56	35,57	48,86
Su	0,42	2,73	96,86
NaCl	15,05	56,18	28,77
Na_2SO_4	8,75	35,66	55,59
MgSO_4	6,90	43,37	49,73

Döğer tufunun tuz çözeltilerinde tuz kristalleşme testi öncesi ve sonrası gözenek boyutu dağılım grafikleri de Şekil 4.29'da verilmiştir. Döğer tufunda mevcut gözeneklerin genişlemesi ile tuz kristalleşmesinin neden olduğu yeni gözeneklerin oluşumu gözenekliliğin artmasına neden olmuştur. İlk aşamada mikro çatlakların oluşması, sonraki döngülerde ise kırıkların genişlemesiyle gözenekliliğin artmasına sebep olmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi tuz kristalleşmesi deneyi sonrasında tuzların çökmesi ile mikro çatlakları doldurmuştur. Sem görüntüleri bunu doğrulamaktadır.



Şekil 4.23 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında Döğer tüfünde gözenek boyut dağılım değişimleri.

4.5.3 Emirdağ Gümüş Traverten Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi

Emirdağ gümüş traverten deney örneklerine tuz kristalleşme deneyleri yapılmış olup, tuz kristalleşme deneyi sonrası cıvalı porozimetre sonuçları Çizelge 4.13’de, gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları Çizelge 4.14’de verilmiştir. Ortalama gözenek çapının en yüksek sodyum sülfat çözeltisinde (2,145 µm) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.13 Tuz kristalleşme deneyi sonrası Emirdağ gümüş travertenin Cıvalı porozimetre deney sonuçları.

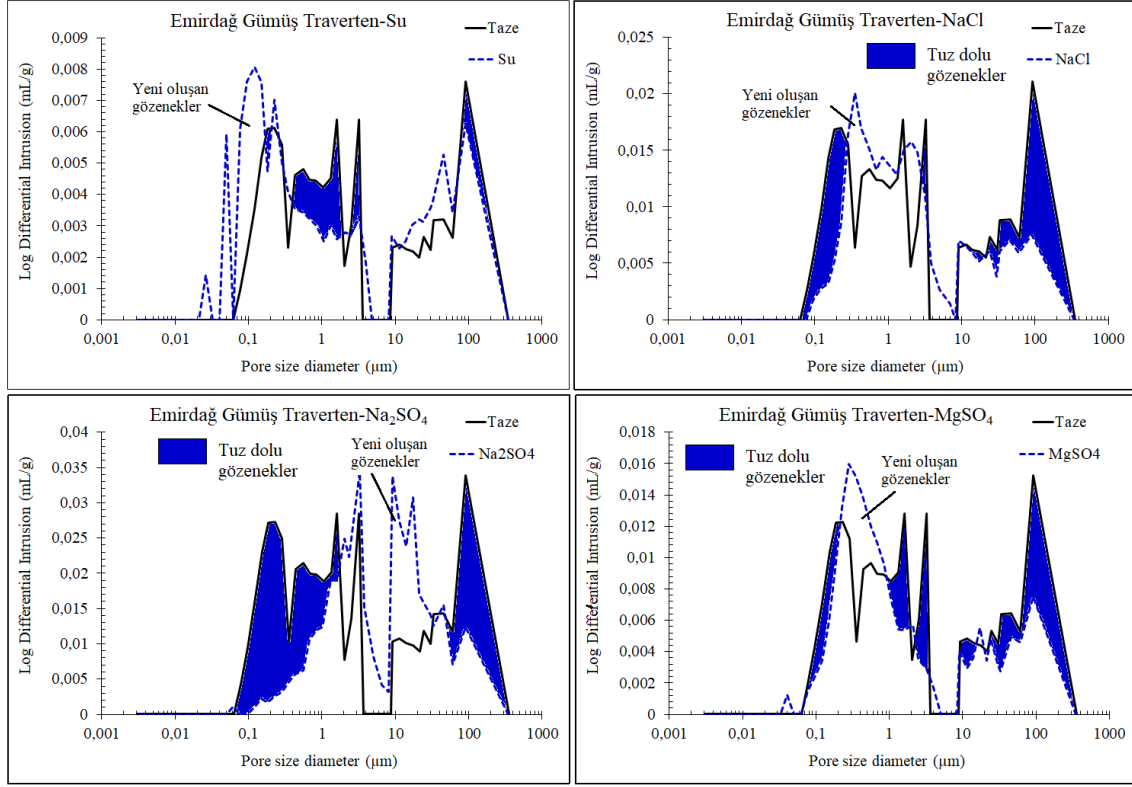
	Taze (ayırışma mı)	Su ile ayırışma	NaCl çözeltisi	Na ₂ SO ₄ çözeltisi	MgSO ₄ çözeltisi
Toplam cıva giriş hacmi (mL/g)	0,0222	0,0155	0,0308	0,046	0,0226
Toplam gözenek alanı (m ² /g)	0,125	0,191	0,142	0,086	0,159
Medyan gözenek çapı (hacim) (µm)	7,151	2,605	2,070	11,030	1,174
Medyan gözenek çapı (Alan) (µm)	0,201	0,104	0,358	0,563	0,252
Ortalama gözenek çapı (4V/A) (µm)	0,709	0,323	0,866	2,145	0,570
Kütle yoğunluğu 0.52 psia (g/mL)	2,4663	2,5621	2,4879	2,3571	2,5168
Görünen (iskeletsel) yoğunluk (g/mL)	2,6094	2,6679	2,6941	2,644	2,6687
Gözenek oranı (%)	5,481	3,9651	7,6566	10,8498	5,6907

Tuz kristalleşme deneyleri sonrası Emirdağ gümüş travertenin gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları Çizelge 4.14’de verilmiştir. 1 μm ’den büyük gözenek oranı taze örneklerde %69,89 iken, MgSO_4 çözeltisinde %51,77’ye düşmesi gözeneklerin tuz ile dolması ile ilgili olduğu görülmektedir. Yeni mikro çatlaklar oluştuğu için Na_2SO_4 çözeltisinde oran %89,52’ye çıkmıştır.

Çizelge 4.14 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası Emirdağ gümüş travertenin gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.

	Gözenek boyut dağılımları (%)		
	Mikro <0.1 μm	Kılcal gözenekler 0.1–1 μm	>1 μm
Taze	0,90	29,21	69,89
Su	13,14	30,04	56,83
NaCl	1,00	35,67	63,33
Na_2SO_4	0,59	9,88	89,52
MgSO_4	2,62	45,61	51,77

Emirdağ gümüş traverten deney örneklerinin tuz çözeltilerinde tuz kristalleşme testi öncesi ve sonrası gözenek boyutu dağılım grafikleri de Şekil 4.24’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 0,08 μm ile 1,5 μm arasındaki gözeneklere NaCl çökelmiş ve yeni halit kristali oluşmuştur. Sodyum sülfat çözeltisi ile yapılan deney sonuçlarına baktığımız zaman 0,08 μm ve 1,4 μm arasındaki gözeneklere sodyum sülfat tuzu çökelmiş ve yeni gözenekler oluşmuştur. Test edilen Emirdağ gümüş traverten örneklerinin magnezyum sülfat ile yapıla tuz kristalleşmesi deneyinde, mikro çatlaklar ve gözeneklere magnezyum sülfat kristalleri dolduğu görülmektedir.



Şekil 4.24 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında Emirdağ gümüş traverteninde gözenek boyut dağılım değişimleri.

4.5.4 Şuhut Kireçtaşı Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi

Tuz kristalleşme deneyi sonrası Şuhut kireçtaşının Cıvalı porozimetre deney sonuçları Çizelge 4.15'de, gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları Çizelge 4.16'da verilmiştir. NaCl, Na₂SO₄ ve MgSO₄ testleri sonrasında cıvalı porozimetri verilerine göre ortalama gözenek çapı sırasıyla 4,603 μm'den 14,839 μm, 12,870 μm ve 2,463 μm olarak hesaplanmıştır. NaCl ve Na₂SO₄ çözeltilerinde gözenek oranının yükselmesinin nedeni, SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi tuz kristalleşmesi sırasında mikro gözeneklerin ve çatlakların artması ile ilgilidir. MgSO₄ çözeltisinde gözenek oranının azalmasının nedeni gözeneklerin kristalleşme sırasında tuz ile dolmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 4.15 Tuz kristalleşme deneyi sonrası Şuhut kireçtaşının Cıvalı porozimetre deney sonuçları.

	Taze (ayırışma mı)	Su ile ayırışma	NaCl çözeltisi	Na ₂ SO ₄ çözeltisi	MgSO ₄ çözeltisi
Toplam cıva giriş hacmi (mL/g)	0,0105	0,0033	0,0029	0,0017	0,0034
Toplam gözenek alanı (m ² /g)	0,009	0,001	0,001	0,001	0,006
Medyan gözenek çapı (hacim) (μm)	13,185	12,935	96,503	10,424	77,809

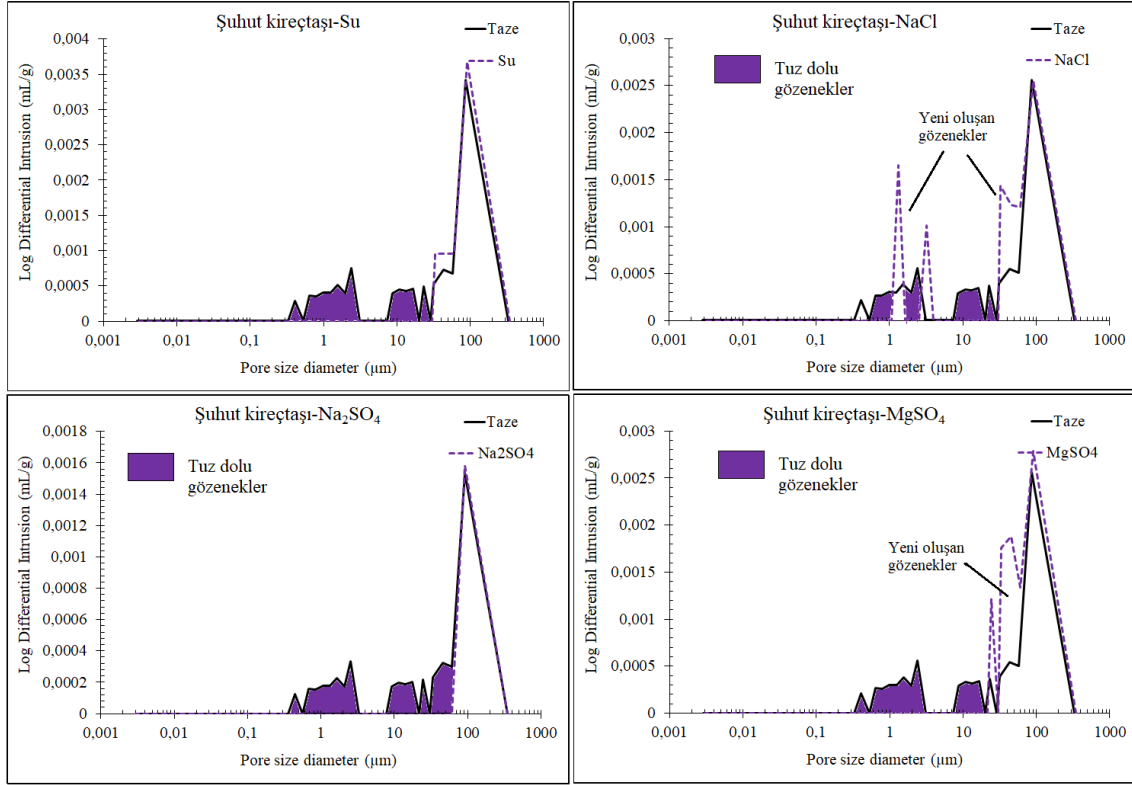
Medyan gözenek çapı (Alan) (μm)	0,472	2,302	1,628	2,073	0,179
Ortalama gözenek çapı (4V/A) (μm)	4,603	20,947	14,839	12,870	2,463
Kütle yoğunluğu 0.52 psia (g/mL)	2,5868	2,6736	2,683	2,7134	2,6415
Görünen (iskeletsel) yoğunluk (g/mL)	2,659	2,6972	2,7039	2,7262	2,6654
Gözenek oranı (%)	2,7137	0,8756	0,7744	0,4684	0,9001
Kullanılan stem hacmi (%)	6	1	2	2	2

Tuz kristalleşme deneyi sonrası Şuhut kireçtaşının gözenek boyut dağılım sınıflandırması % oranlar Çizelge 4.16'da verilmiştir. Şuhut kireçtaşının kristalleşme deneyleri öncesi taze örneklerde mikro gözeneklilik oranı sıfırken MgSO_4 çözeltisi ile yapılan deney sonrasında %1,63 olmuştur. Bunun nedeni kristalleşme deneyi ile yeni gözeneklerin oluşmuş olmasıdır. 0.1–1 μm arasında gözeneklilik oranı taze örneklerde %5,40 iken NaCl çözeltisi ile tuz kristalleşmesi sırasında gözenekler tuzla dolduğu için sıfır olmuştur. Deney öncesinde %94,60 olan 1 μm 'den büyük gözenekler Sodyum klorür ve sodyum sülfatta yükselmiştir. Ancak gözeneklerin magnezyum ile dolmasıyla magnezyum sülfat çözeltisindeki deney sonrası 1 μm 'den büyük gözeneklilik oranı %90,64 e düşmüştür.

Çizelge 4.16 Tuz kristalleşme deneyleri sonrası Şuhut kireçtaşının gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları.

	Gözenek boyut dağılımları (%)		
	Mikro <0.1 μm	Kılcal Gözenekler 0.1–1 μm	>1 μm
Taze	0,00	5,40	94,60
Su	0,00	0,36	99,64
NaCl	0,00	0,00	100,00
Na_2SO_4	0,00	1,65	98,35
MgSO_4	1,63	7,73	90,64

Şuhut kireçtaşı deney örneklerinin tuz çözeltilerinde tuz kristalleşme testi öncesi ve sonrası gözenek boyutu dağılım grafikleri de Şekil 4.25'de verilmiştir. 0,5 μm ile 1,6 μm arasındaki gözeneklere NaCl dolduğu gözükmektedir. Ayrıca yeni oluşan gözenekler şekilde gösterilmiştir. Sodyum sülfat deneyi sonrası ise 0,8 μm ile 6 μm arasında gözeneklerin sodyum sülfat tuzu ile dolduğu görülmüştür. Aynı şekilde magnezyum sülfat tuzunun çökeldiği de görülmektedir. Bunların hepsi SEM görüntülerinde görülmüştür.



Şekil 4.25 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında Şuhut kireçtaşında gözenek boyut dağılım değişimleri.

4.5.5 Afyon Gri Mermer Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi

Tuz kristalleşme deneyi sonrası Afyon gri mermerin Cıvalı porozimetre deney sonuçları Çizelge 4.17'de, gözenek boyut dağılım sınıflandırmasına göre % oranları Çizelge 4.18'de verilmiştir. Afyon gri mermer üzerindeki tuz kristalleştirme deneyinin sonuçları, gözenek boyutu dağılımında önemli değişiklikler göstermiştir. Ortalama gözenek çapı her tuz testinden sonra artmış, en yüksek artış NaCl testinde gözlenmiştir. Gözeneklilik oranı az olduğu için, ayrıca gözenekler tuz ile dolduğu için Afyon gri mermerlerin tuz kristalleşme deneyi sonrasında ortalama gözenek çapların azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.17 Tuz kristalleşme deneyi sonrası Afyon gri mermerin Cıvalı porozimetre deney sonuçları.

	Taze (ayırışma mı)	Su ile ayırışma	NaCl çözeltisi	Na ₂ SO ₄ çözeltisi	MgSO ₄ çözeltisi
Toplam cıva giriş hacmi (mL/g)	0,0112	0,0089	0,007	0,0595	0,0124
Toplam gözenek alanı (m ² /g)	0,017	0,017	0,016	3,085	1,389
Medyan gözenek çapı (hacim) (µm)	53,499	65,844	17,368	22,522	4,021
Medyan gözenek çapı (Alan) (µm)	0,411	0,289	0,554	0,016	0,005

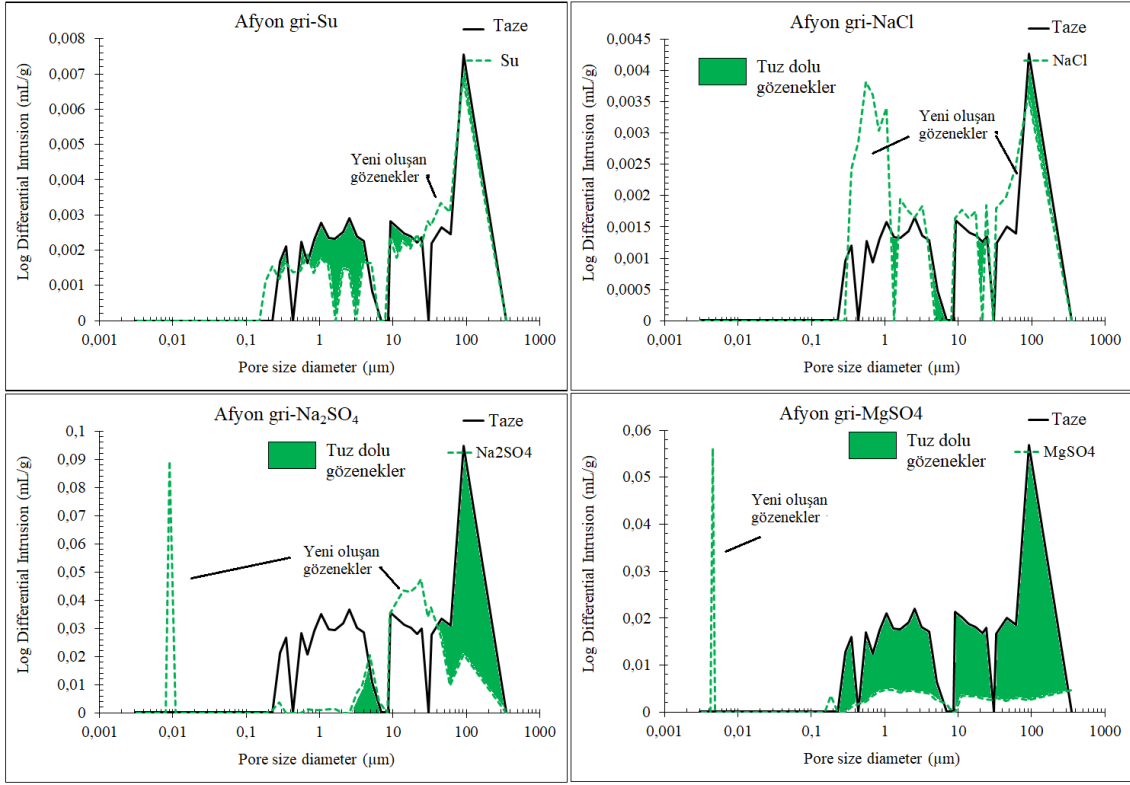
Ortalama gözenek çapı (4V/A) (μm)	2,603	2,072	1,730	0,077	0,035
Kütle yoğunluğu 0.52 psia (g/mL)	2,5519	2,6476	2,6666	2,3621	2,6332
Görünen (iskeletsel) yoğunluk (g/mL)	2,6271	2,7115	2,7171	2,7485	2,7224
Gözenek oranı (%)	2,8657	2,3562	1,8595	14,0607	3,2782
Kullanılan stem hacmi (%)	4	4	3	26	6

Çizelge 4.18, Afyon gri mermer örneklerinin tuz kristalleştirme deneyinden sonraki gözenek boyut dağılımı sınıflandırma varyasyonunu göstermektedir. Taze örneklerde 0,1 μm 'den küçük gözenek boyut dağılımı sıfır iken Na_2SO_4 ve MgSO_4 tuz çözeltisi ile yapılan deneyler sonucunda sırasıyla, %12,94 ve %12,61'e yükselmiştir. Bunun nedeni yeni mikro gözeneklerin oluşmasıdır. Afyon gri mermerinin ayrışma testleri öncesi 0,1 μm 'den büyük boyutlu gözenek oranı taze örneklerde %88,39 iken NaCl , Na_2SO_4 ve MgSO_4 çözeltilerinde sırasıyla %75,49, %85,39 ve %70,29 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum yukarıda açıklanan 0,1 μm 'den büyük boyutlu gözeneklerde biriken tuz kristallerine bağlıdır.

Çizelge 4.18 Tuz kristalleştirme deneyleri sonrası Afyon gri mermerin gözenek boyut dağılımı sınıflandırmasına göre % oranları.

	Gözenek boyut dağılımları (%)		
	Mikro <0.1 μm	0.1–1 μm 0.1–1 μm	>1 μm >1 μm
Taze	0,00	11,61	88,39
Su	0,34	13,35	86,31
NaCl	0,00	24,51	75,49
Na_2SO_4	12,94	1,67	85,39
MgSO_4	12,61	17,09	70,29

Afyon gri mermerin tuz çözeltilerinde tuz kristalleştirme testi öncesi ve sonrası gözenek boyutu dağılım grafikleri de Şekil 4.26'da verilmiştir. Tuz kristalleştirme deneyinden sonra Afyon gri mermer gözenek boyutu dağılımındaki değişiklikler, tuz kristalleştirme sürecinin kayanın mikro yapısı üzerindeki etkilerine ilişkin değerli bilgiler sağlar. Cıvalı porozimetri analizinden elde edilen veriler, Afyon gri mermer numunelerinde özellikle magnezyum sülfat çözeltisinde gözeneklerin çoğunun tuz kristalleştirme testleri sonrasında tuz kristalleri ile dolduğu gözlenmiştir. Şekilde ayrıca yeni oluşan gözenekler gösterilmiştir. Büyük gözeneklerin emilimi daha fazladır ancak tuz gözenekte durması daha zordur. İncelenen SEM görüntüleri de bunu ortaya koymuştur.



Şekil 4.26 Tuz kristalleşme deneyi sonrasında Afyon gri mermerinde gözenek boyut dağılım değişimleri.

4.6 Tuz Kristalleşme Deneyi Sonrası SEM-EDX İncelemeleri

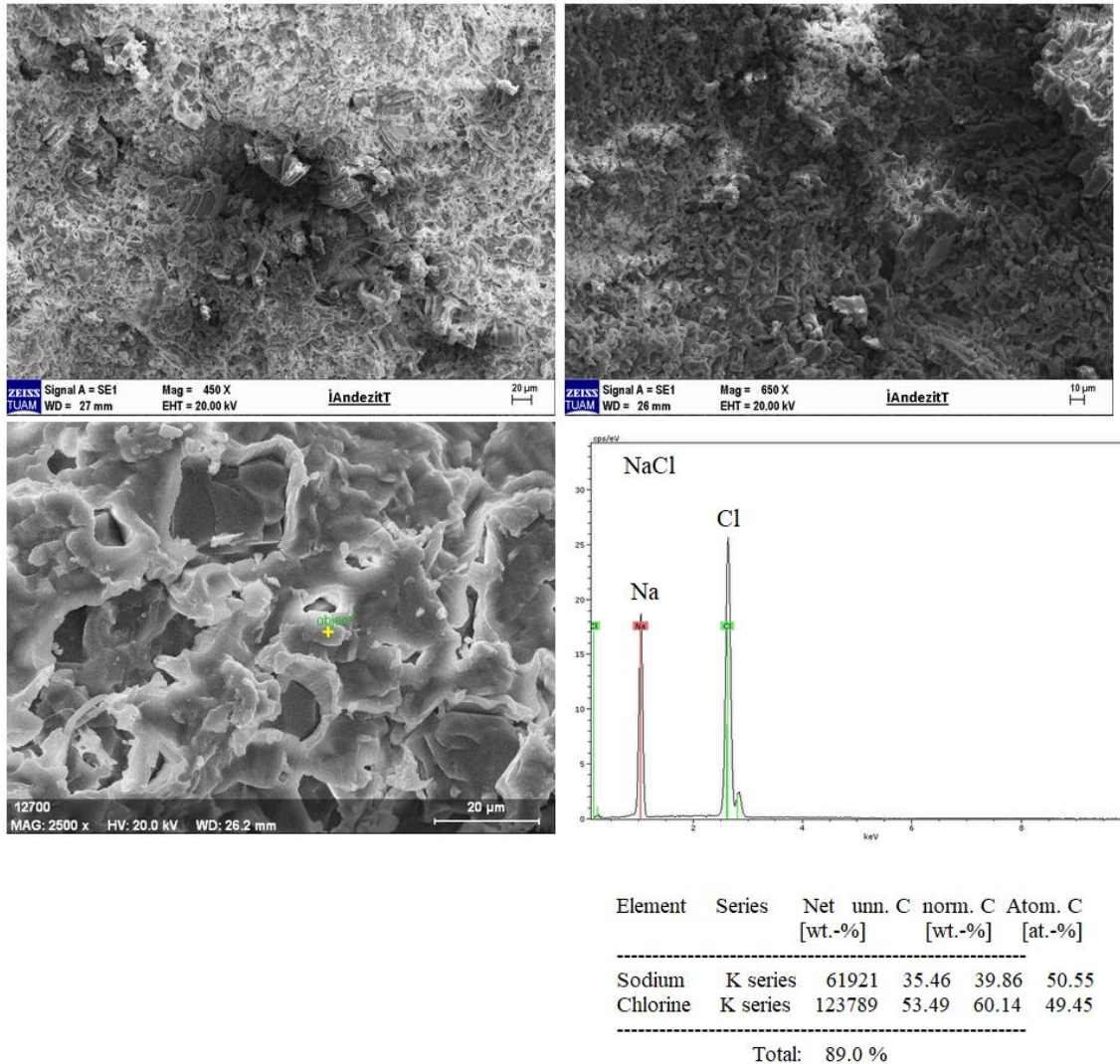
4.6.1 NaCl Çözeltisi ile Tuz Kristalleşmesi

Sodyum klorür sodyum sülfata göre daha yavaş çökme ve büyüme hızı nedeniyle daha düşük kristalleşme basınçlarına sahiptir. Bu da sodyum klorürün, sodyum sülfatlar gibi daha zararlı tuzlardan daha düşük hasar kapasitesine sahip olduğu anlamına gelir. Bu durum, sodyum klorürün hasara neden olmadığı anlamına gelmez, çünkü değişen sıcaklıkta suyun hızlı buharlaşması daha derin kurutmada meydana gelme eğilimindedir, bu da çiçek altı büyümesine yol açar ve bu nedenle daha yüksek kristalleşme basınçları meydana gelebilir (Alves vd. 2014).

Test edilen örneklerin sodyum klorür testi sonrasında, her örnekte de bir miktar bozunma ve mikro çatlaklar oluşturmuştur. Ancak, sülfat tuzlarına göre sodyum klorür çözeltisinin düşük tuz kristalizasyon basıncı üretmesi nedeniyle daha az hasara neden olduğu

yorumlanmıştır. Sodyum klorür, tüm örneklerde belirgin izometrik ve öz şekilli kübik kristaller ve yüzeyin bir kısmını kaplayan ince tabakalar şeklinde gözlenmiştir.

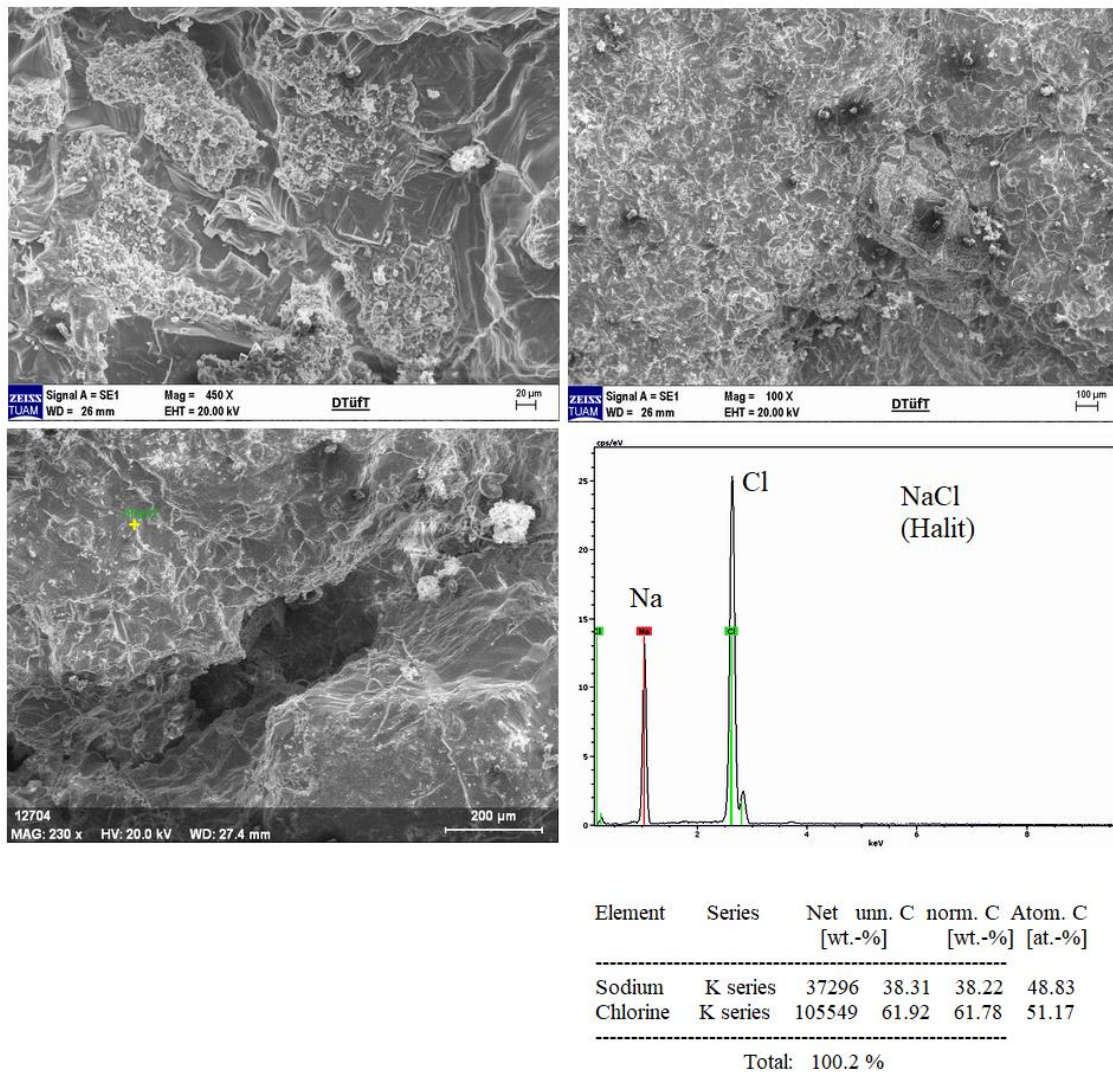
İscehisar andezitinin SEM analizinde kübik kristaller halit (NaCl) olarak tanımlanmıştır. Ayrıca SEM-EDX çalışmasında tespit edildiği üzere elementel bileşimin Na ve Cl olması NaCl (halit) mineralinin bu fazın kimliğini doğruladığını göstermektedir (Şekil 4.27). Andezit örneğinde gelişen tuz kristallerinin SEM görüntüleri, gözenekleri dolduran mikrometre altı boyutlu halit kristallerinin kümelerini göstermiştir.



Şekil 4.27 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra İscehisar andeziti örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

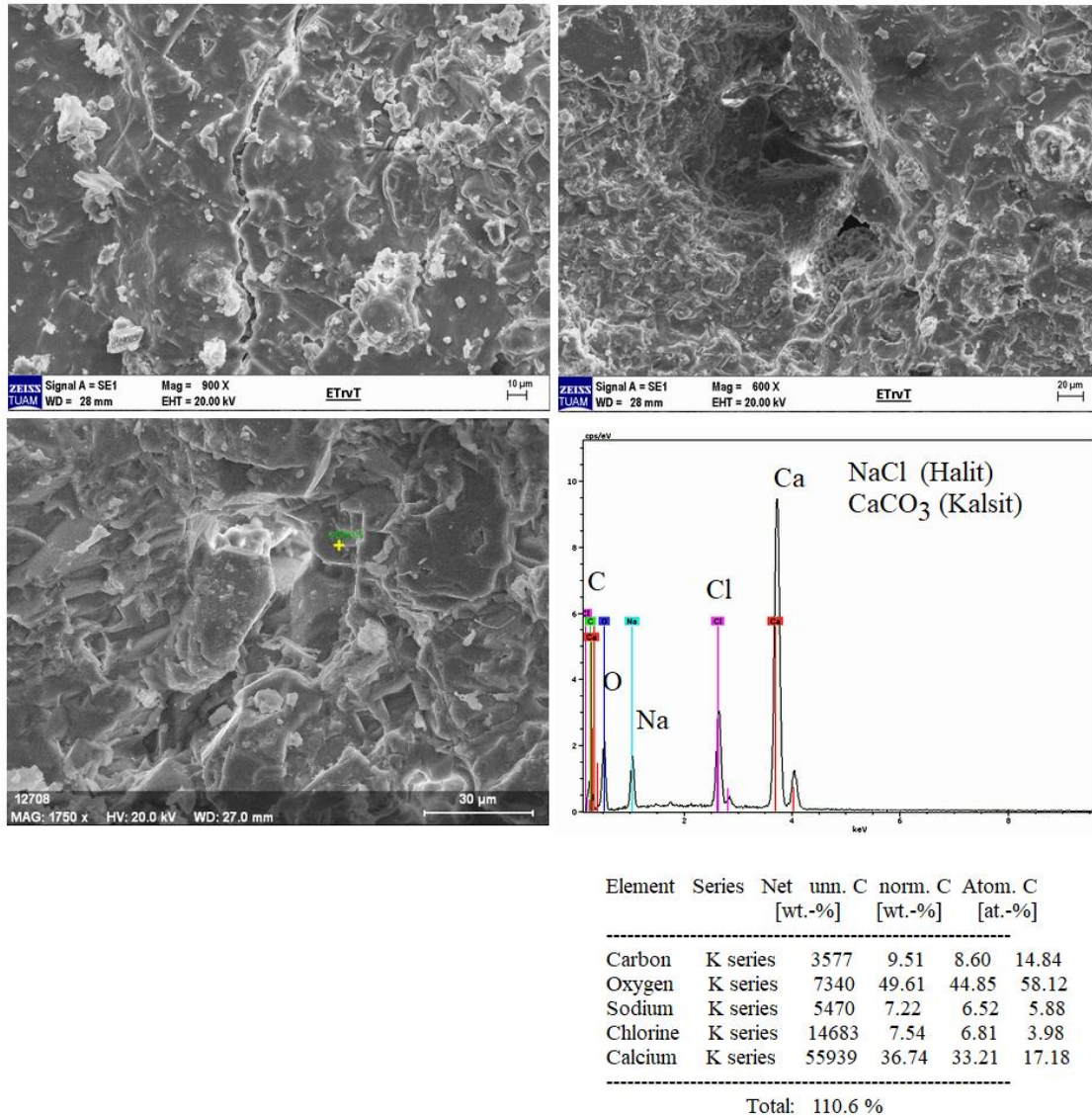
Sodyum klorür testinde halit, Döğer tüfünün yüzeyinde ve gözeneklerde çok sayıda küçük kristal oluşturmuştur. Yine bu küçük kristaller üzerinde, belirli alanlarda nispeten daha büyük halit kristal kümeleri oluşmuştur. Bu büyüme paterni, Döğer tüfünün gözenekleri içinde SEM analizi sırasında halit kristallerinin oluşumu ile tespit edilmiştir (Şekil 4.28).

SEM analizinde gözenekte gelişen mikro çatlaklar da gözlenmiştir (Şekil 4.34). Ayrıca Halit kristalinin SEM-EDX analizi sonucunda + işaretli noktada halit kristali bileşimini gösteren Na ve Cl elementleri belirlenmiştir (Şekil 4.34).



Şekil 4.28 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Döğer tüfü örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

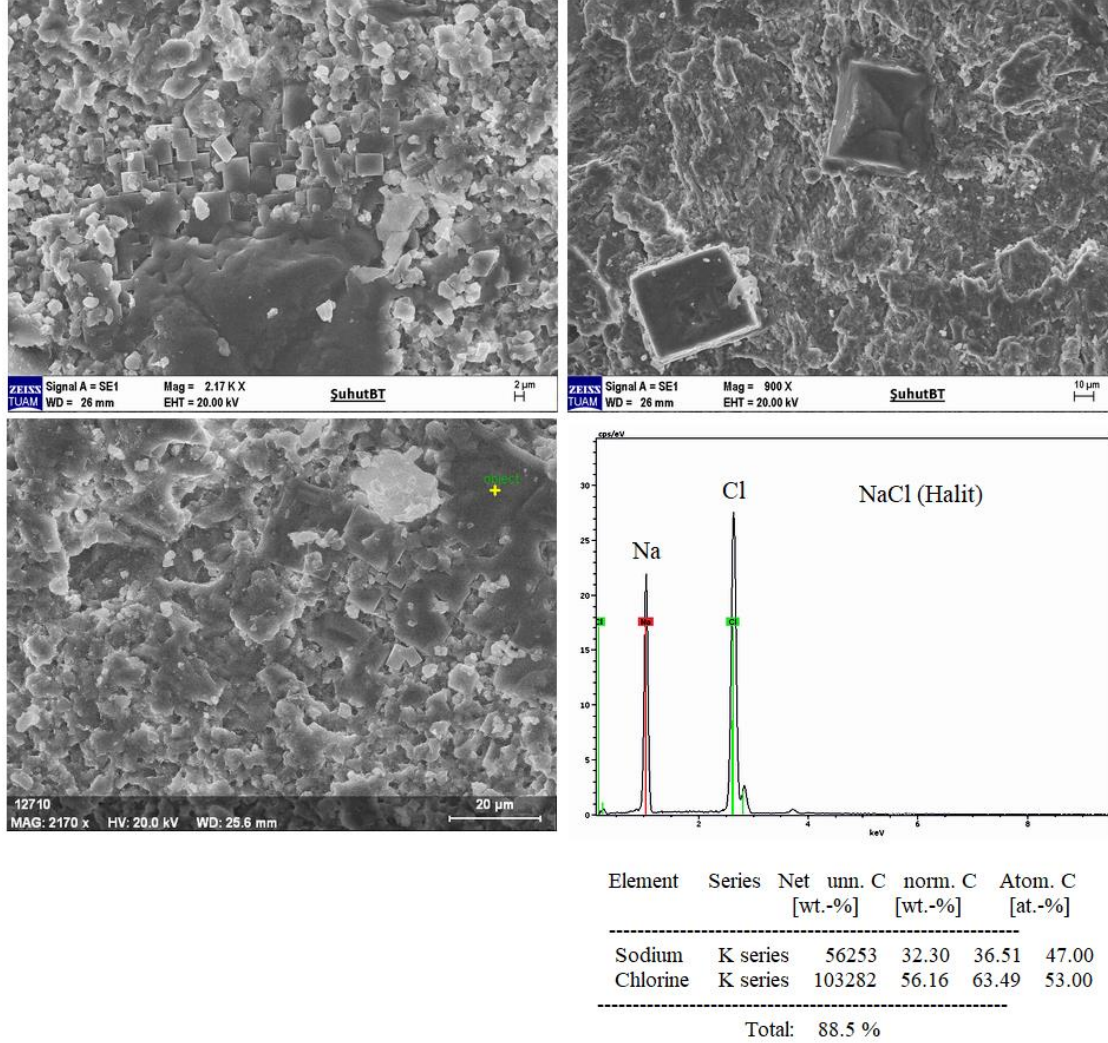
Emirdağ gümüş traverten örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları Şekil 4.29'de verilmiştir. Halit (NaCl) olarak tanımladığımız kübik kristaller dışında, Kalsit (CaCO_3) mineralini oluşturan kalsiyum, karbon, oksijen elementleri SEM- EDX kimyasal analizinde görülmektedir. Ayrıca sarı renkli + işaretli yere SEM-EDX kimyasal analiziyle, deneyde kullanılan mineral olan Haliti oluşturan sodyum %5,88 ve klor %3,98 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.29 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Emirdağ gümüş traverten örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

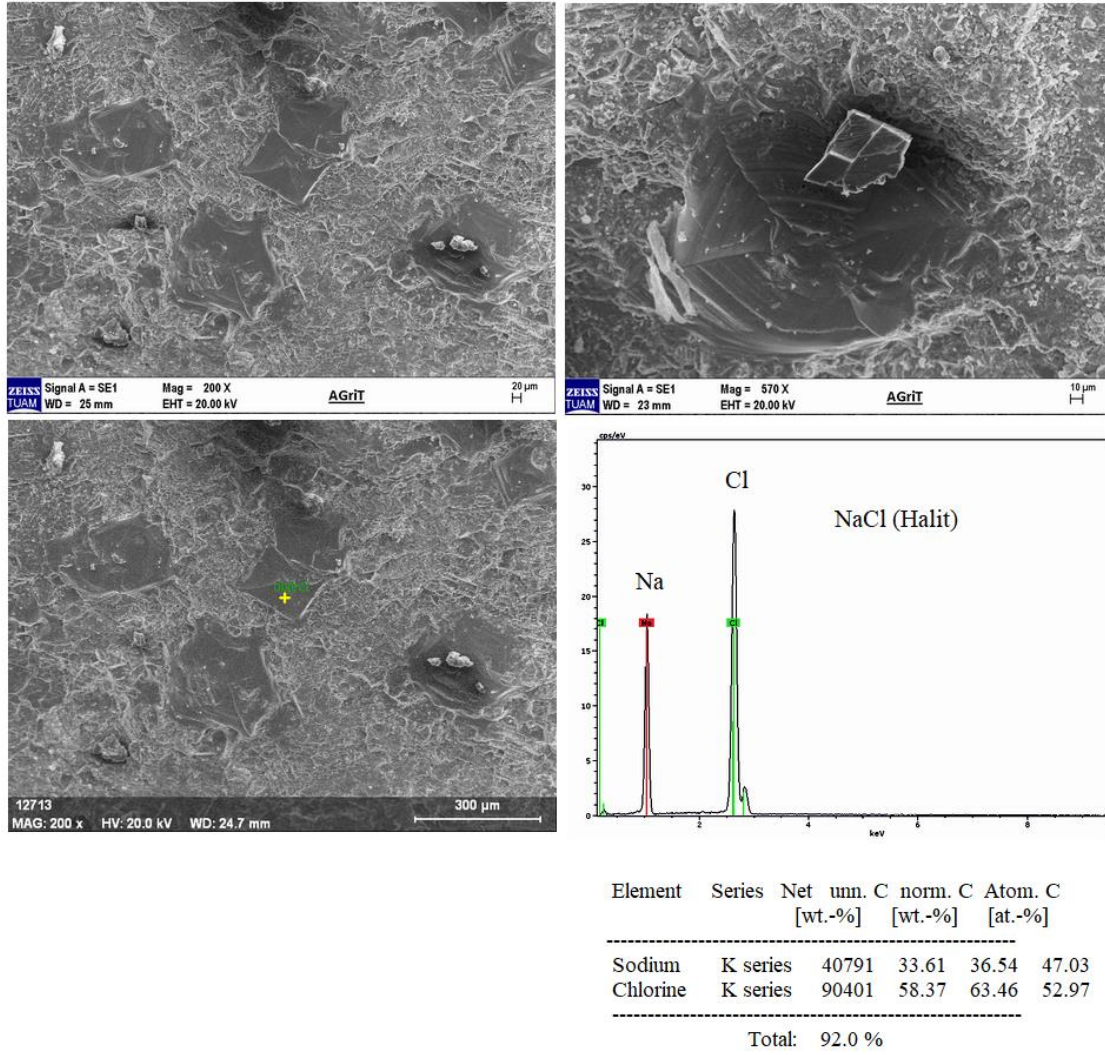
Şuhut kireçtaşı örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM

mikro fotoğrafları Şekil 4.30'da verilmiştir. Mikro fotoğraflarda kübik kristaller ve çatlaklar açıkça gözükmemektedir. Sarı renkli + işaretinin olduğu yerde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre halit (NaCl)'yi oluşturan Na (%47) ve Cl (%53) elementleri SEM-EDX çalışmasında görülmektedir.



Şekil 4.30 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Şuhut kireçtaşı örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

Sodyum klorür çözeltisi ile yapılan kristalleşme sonrası Afyon gri mermer örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM fotoğrafları Şekil 4.31'de verilmektedir. Haliti oluşturan Na (%47,03) ve Cl (%52,97) elementleri SEM-EDX analizinde belirlenmiştir.



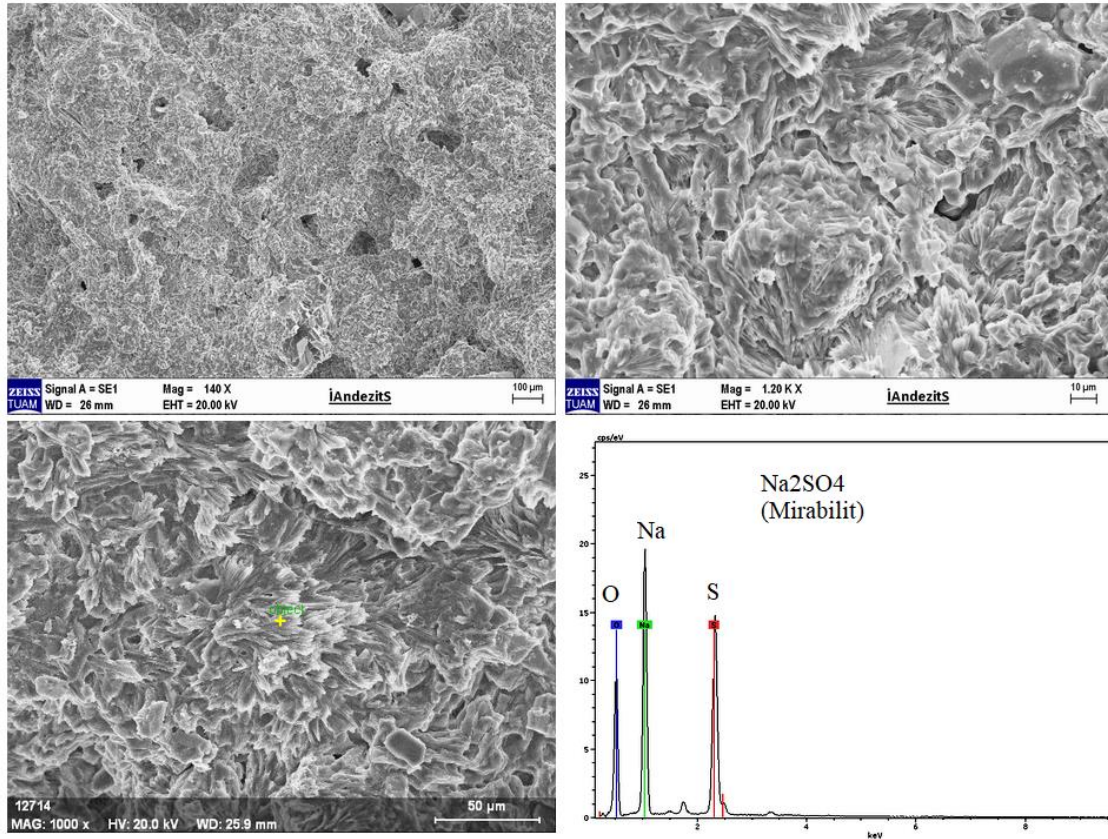
Şekil 4.31 Sodyum klorür çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Afyon gri mermer örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

4.6.2 Na₂SO₄ 10H₂O Çözeltisi ile Tuz Kristalleşmesi

Na₂SO₄ 10H₂O çözeltisinden düşük nemde Na₂SO₄ (tenardit) veya yüksek nemde Na₂SO₄ 10H₂O (mirabilit) oluşabilmektedir (Flatt 2002). Sodyum sülfat, tenarditten (susuz aşama) mirabilit (sulu dekahidrat) geçişte büyüyerek 4,15 kat artan molar hacim nedeniyle tüm tuzların en zararlısı olarak kabul edilir (Doehne 1994). Sodyum sülfat, sıcaklık ve nem koşullarına bağlı olarak hem mirabilit (Na₂SO₄ 10H₂O) hem de tenardit (Na₂SO₄) olarak kristalleşebilir (Flatt 2002; Benavente vd. 1999). Tenardit kristalleri genel olarak izometrik ve küremsi formda olup agregatlar şeklinde kümelenmiş olarak

görülebılır. Mirabilit kristalleri ise uzun levhamsı şekillerde ve dendroid formlar da gözlemlenebilir.

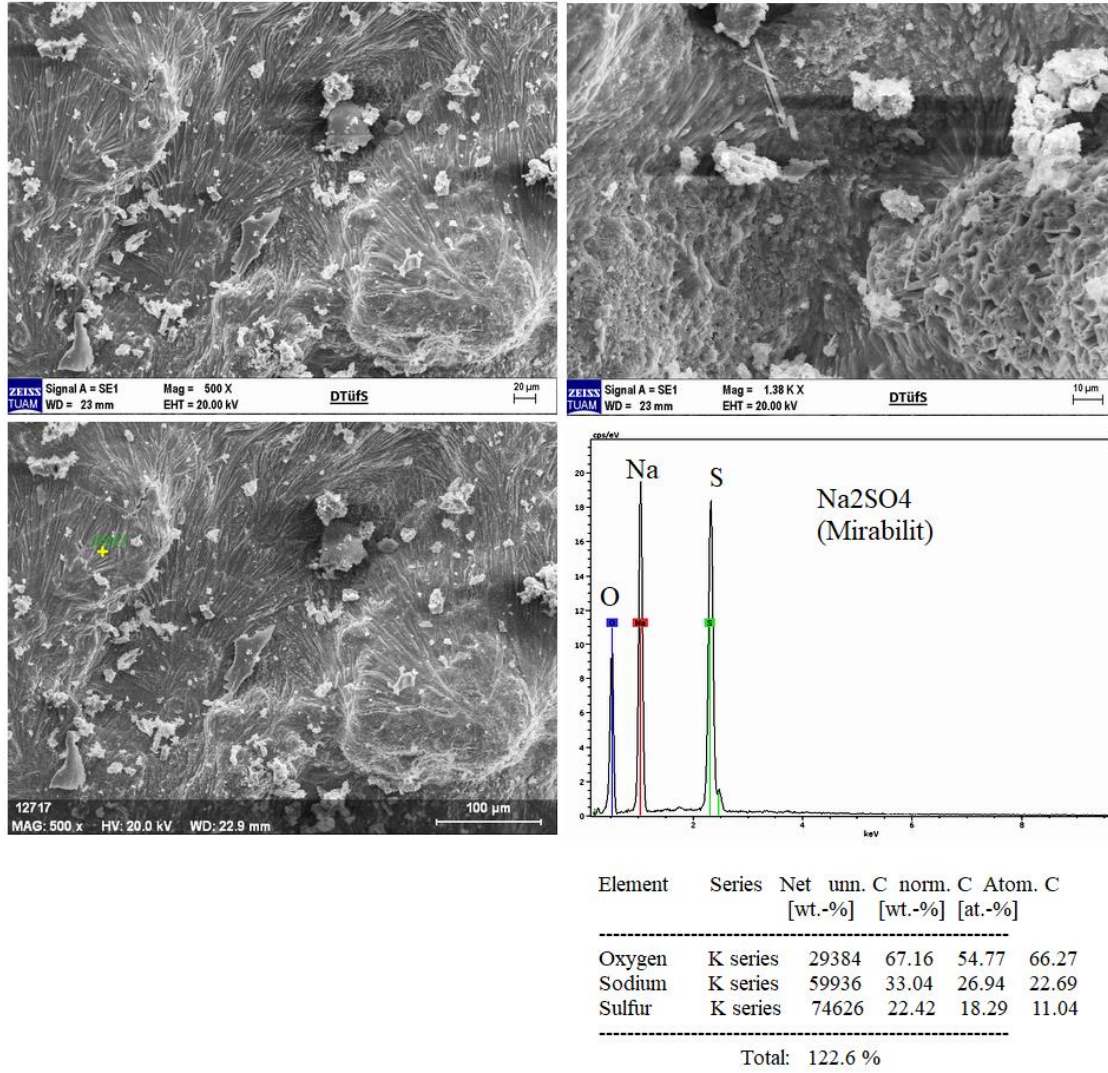
İscehisar andeziti SEM analizi örneklerdeki sodyum sülfat kristallerinin ağırlıklı olarak mirabilitten oluştuğunu ve ayrıca tenardit minerallerinin varlığını ortaya koymuştur. SEM çalışmalarında tenardit minerallerinin kristal şekilleri de belirlenmiştir. Tüm örneklerde gözlenen tenardit kristalleri genel olarak izometrik ve küremsi formdadır (Şekil 4.32). Test edilen taşlarda bulunan diğer mirabilit formları arasında, uzun kristallerin oluşturduğu dendroid formları da gözlemlendi (Şekil 4.38). SEM-EDX tarafından tespit edilen Na-sülfat tuzların kimyasal analizleri ve foto-mikrografları Şekil 4.38’de gösterilmektedir. EDX ile yapılan kimyasal analizler oksijen (%64,65 ağırlık), sodyum (%25,85) ve kükürt (%9,50) varlığını göstermiştir.



Element	Series	Net un. C	norm. C	Atom. C
		[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]
Oxygen	K series	20192	74.33	53.50
Sodium	K series	40305	42.70	30.74
Sulfur	K series	39592	21.89	15.76
Total:		138.9 %		

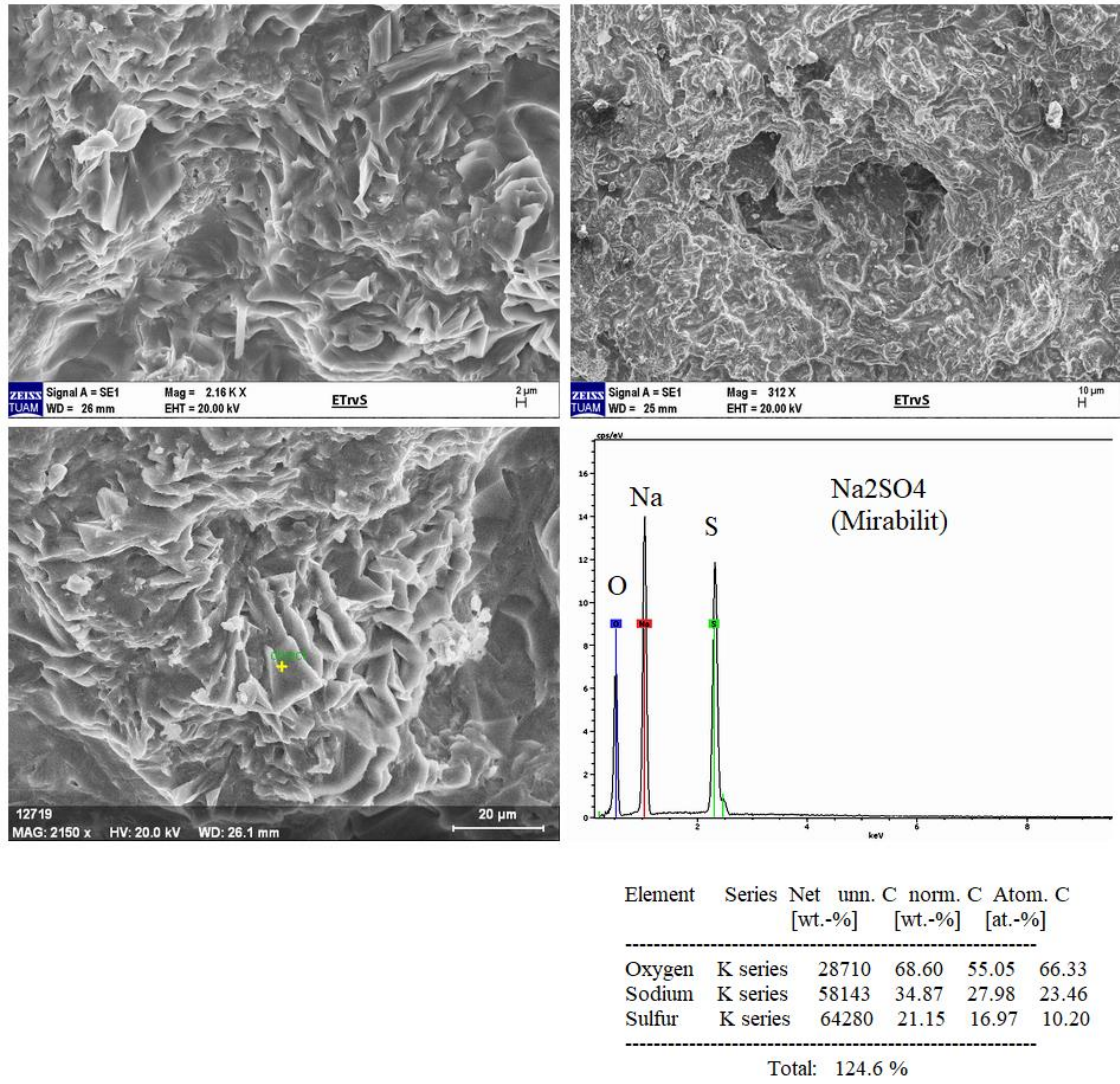
Şekil 4.32 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra İschehisar andezit örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

Tuz kristalleştirme testleri sonrasında Döğer tufunun gözeneklerinde tenardit (Na₂SO₄) gibi sodyum sülfat kristalleri SEM ile tanımlanmıştır. Döğer tuf örneğinin %14'lük sodyum sülfat tuz çözeltisi ile tuz kristalleştirme testi sonrasındaki SEM görüntüleri ve tuz kristalleşmesinin neden olduğu mikro kristallerin detayı Şekil 4.33'da verilmiştir. SEM gözlemleri, Döğer tuf örneklerinin ciddi şekilde hasar gördüğünü göstermiştir.



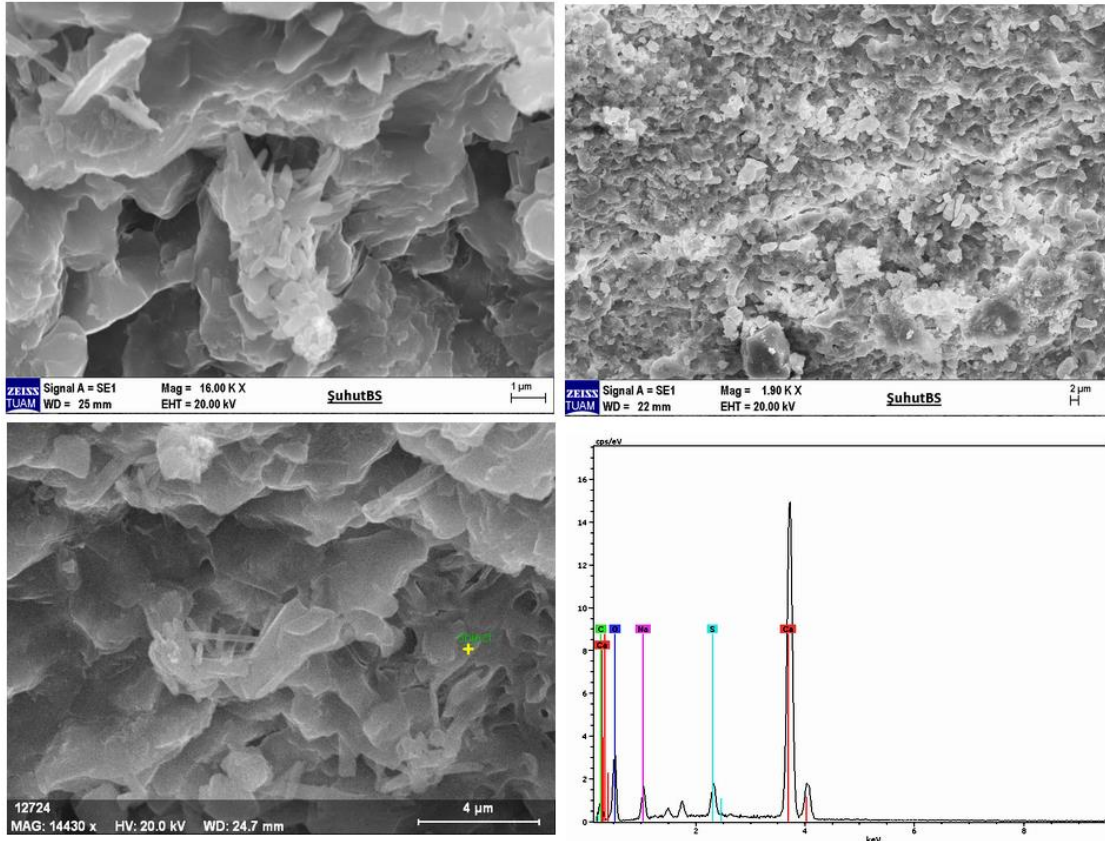
Şekil 4.33 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Döğer tüfü örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d)

Emirdağ gümüş traverteninin sodyum sülfat testi sonrası elde edilen mikro fotoğraflar Şekil 4.34’de verilmiştir. Tuz kristalleşmesi sonucu oluşan mikro çatlaklar ve yaklaşık 30 µm büyüklüğündeki bir gözenek içinde ve etrafındaki tuz kristalleri SEM incelemelerinde gözlenmiştir. Ayrıca + işaretli noktadan alınan SEM-EDX sonuçlarına göre oksijen (%66,33), sodyum (%23,46) ve sülfür (%10,20) elementleri belirlenmiştir. Bu da mirabilit minerali oluşumunu göstermektedir.



Şekil 4.34 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Emirdağ gümüş traverten örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

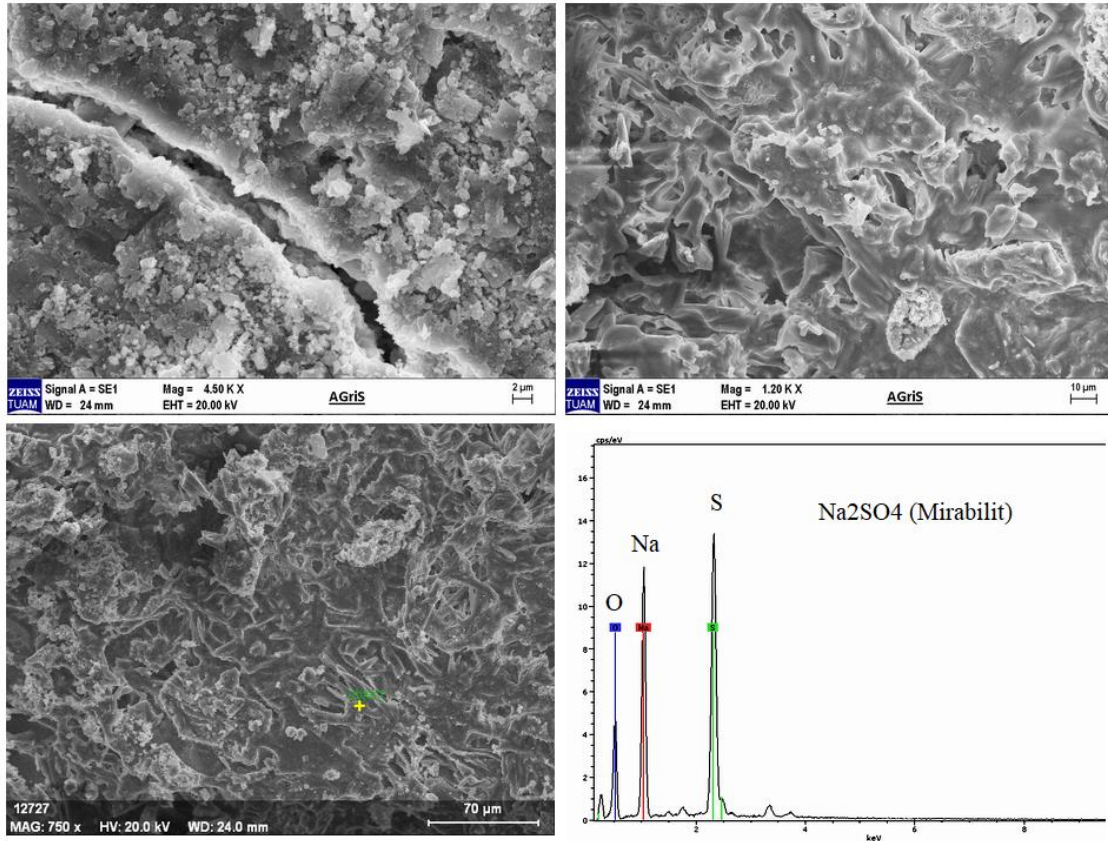
Şuhut kireçtaşı deney örneklerinin sodyum sülfat çözeltisi ile kristalleşme deneyi sonrası elde edilen sem analizi mikrofotograflar Şekil 4.35’de verilmiştir. Ayrıca sarı + şeklinde olan yerden yapılan, SEM-EDX kimyasal analiz sonucunda Kalsiyum (%59,65), Karbon (%25,15), Oksijen (%23,06), Sodyum (%7,47) ve Sülfür (%7,47) elementleri belirlenmiştir.



Element	Series	Net un. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oxid. C [wt.-%]
Carbon	K series	2152	5.54	5.63	9.58
Sodium	K series	3795	4.47	4.54	4.04
Sulfur	K series	5659	2.50	2.54	1.62
Calcium	K series	65823	34.40	34.94	17.83
Oxygen	K series	8279	51.54	52.35	66.93
Total: 98.4 %					

Şekil 4.35 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Şuhut kireçtaşı örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

Tuz kristalleştirme testleri sonrasında Afyon gri mermer gözeneklerinde mirabilit (Na_2SO_4) gibi sodyum sülfat kristalleri SEM ile tanımlanmıştır. Afyon gri mermer deney örneğinin sodyum sülfat tuz çözeltisi ile tuz kristalleştirme deneyi sonrasındaki SEM görüntüleri Şekil 4.36'da verilmiştir. Ayrıca SEM- EDX ile yapılan kimyasal analiz sonucu Sodyum (%40,90), Sülfür (%59,10) ve Oksijen (%17,35) elementlerin varlığı görülmüştür.



Element	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	Oxid	Oxid. C
		[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[wt.-%]	
Sodium	K series	40426	28.76	26.03	22.12	Na2O 40.90
Sulfur	K series	62049	22.44	20.31	12.37	SO3 59.10
Oxygen	K series	16115	59.29	53.66	65.51	17.35
Total: 110.5 %						

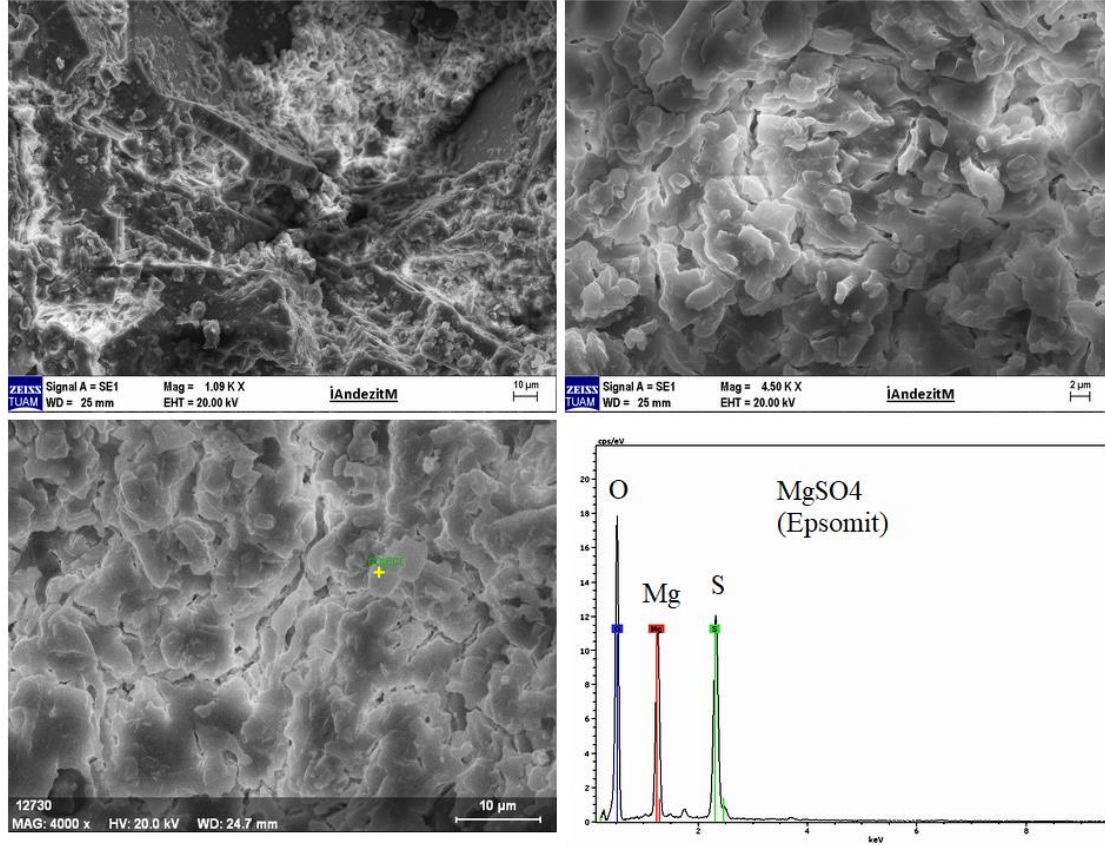
Şekil 4.36 Sodyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Afyon gri mermer örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

4.6.3 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ Çözeltisi ile Tuz Kristalleşmesi

Tuz kristalleşmesi deneyinde kullanılan diğer bir çözelti de bozunmayı önemli derecede etkileyen magnezyum sülfat tuzudur. İscehisar andezit, Döğer tüfü, Emirdağ gümüş traverten, Şuhut kireçtaşı ve Afyon gri mermer 15 döngüde magnezyum sülfat çözeltisi ile deneye tabi tutulduktan sonra, cıvalı porozimetre kullanılarak deney örneklerinin bozunması için gözenek boyut dağılımları hesaplanmıştır.

İscehisar andeziti deney örneklerinin magnezyum sülfat çözeltisi ile yapılan tuz kristalleşmesi deneyi sonucundaki SEM görüntüleri Şekil 4.37’de verilmiştir.

Magnezyum sülfat kristallerinin ağırlıklı olarak Epsomit (MgSO_4) olduğu görülmüştür ve SEM-EDX kimyasal analizi sonucu doğruluğu teyit edilmiştir. Şekildeki sarı + noktaya yapılan kimyasal analiz sonuçlarında %21,53 Magnezyum, %78,47 Sülfür ve %60,72 Oksijen elementleri belirlenmiştir.

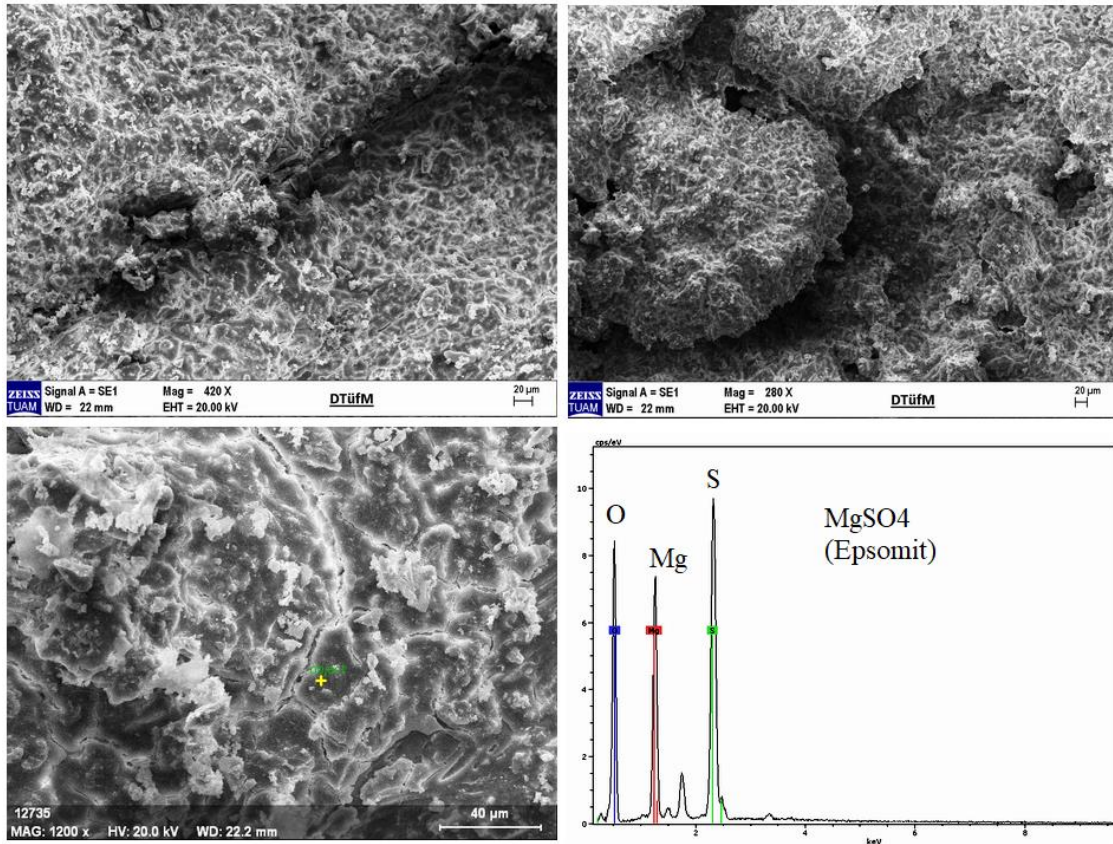


Element	Series	Net un. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oxid. C [wt.-%]
Magnesium	K series	28762	11.14	9.84	7.24 Mg 21.53
Sulfur	K series	39580	16.26	14.36	8.01 SO ₃ 78.47
Oxygen	K series	40169	85.83	75.81	84.75 60.72
Total:		113.2 %			

Şekil 4.37 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra İncehisar andeziti örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

SEM incelemeleri, Döğer tüf örneklerinin magnezyum sülfat kristalizasyonunda ağır hasar gördüğünü göstermiştir. Magnezyum sülfatın kristalleşmesi, Döğer tüf örneklerinde mikro çatlakların oluşumuna ve ilerlemesine neden olmuştur. Döğer tüf örneği,

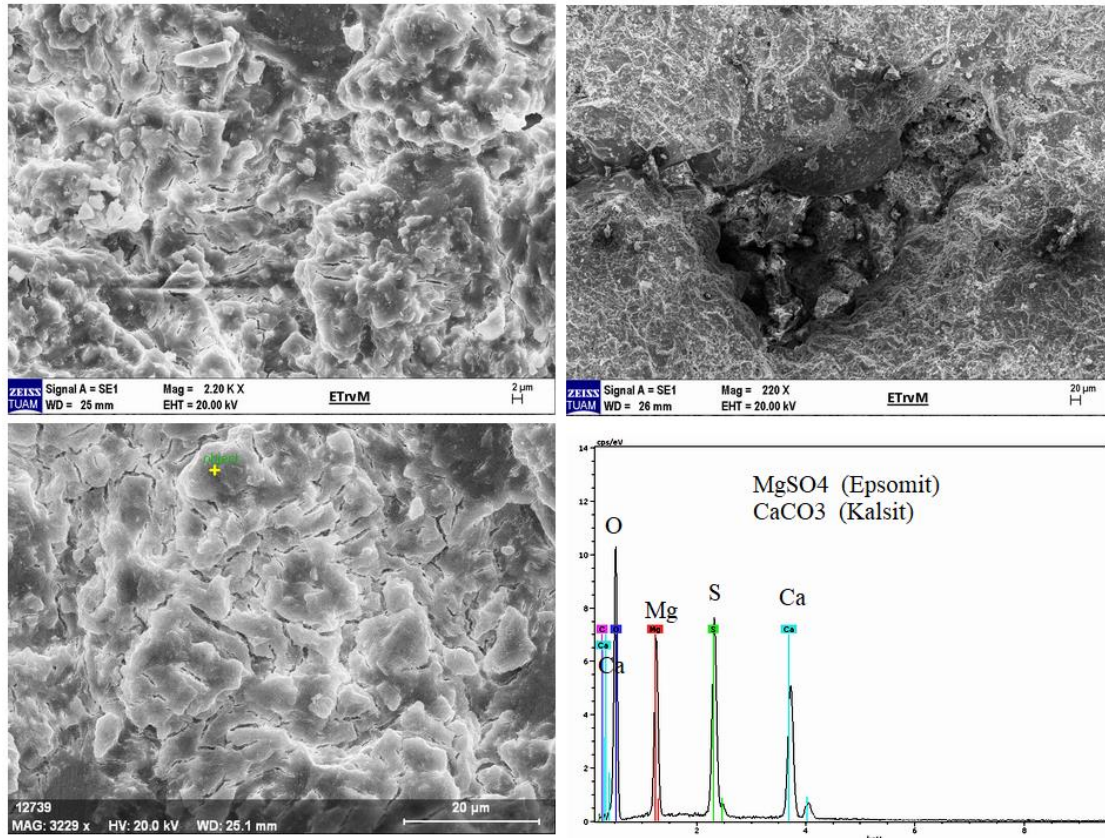
magnezyum sülfat tuz çözeltisinde (%14) yapılan tuz kristalizasyon testi sonrasında yüzeyde kesişen mikro çatlaklar nedeniyle parçalanmaya ve kolayca bozunmaya neden olmuştur. Döğer tüfü örneğinin magnezyum sülfat çözeltisi ile tuz kristalleştirme testi sonrası SEM görüntüleri ve tuz kristalleşmesinin neden olduğu mikro çatlakların detayı Şekil 4.38’de verilmiştir. SEM-EDX analizine göre ağırlıklı olarak $MgSO_4$ kristallenmesi tespit edilmiştir. Sarı + şeklindeki nokta incelendiğinde kimyasal analiz sonuçlarında bunu doğrulamıştır.



Element	Series	Net un. C	norm. C	Atom. C	Oxid. C	
		[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[wt.-%]	
Magnesium	K series	20605	14.08	13.42	10.24	Mg 22.83
Sulfur	K series	36103	19.06	18.17	10.51	SO3 77.17
Oxygen	K series	21799	71.74	68.40	79.26	47.74
Total:		104.9 %				

Şekil 4.38 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Döğer tüfü örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

Emirdağ gümüş traverteninin magnezyum sülfat testi sonrası elde edilen mikrofotografılar Şekil 4.39'da verilmiştir. Tuz kristalleşmesi sonucu oluşan mikro çatlaklar içinde ve etrafındaki tuz kristalleri SEM incelemelerinde gözlenmiştir. Ayrıca + işaretli noktadan alınan SEM-EDX sonuçlarına göre %51,26 oksijen, %47,82 sülfür, %31,18 kalsiyum, %16,81 magnezyum ve %4,19 elementleri belirlenmiştir. Bu da kalsit ve epsomit minerali oluşumunu göstermektedir.

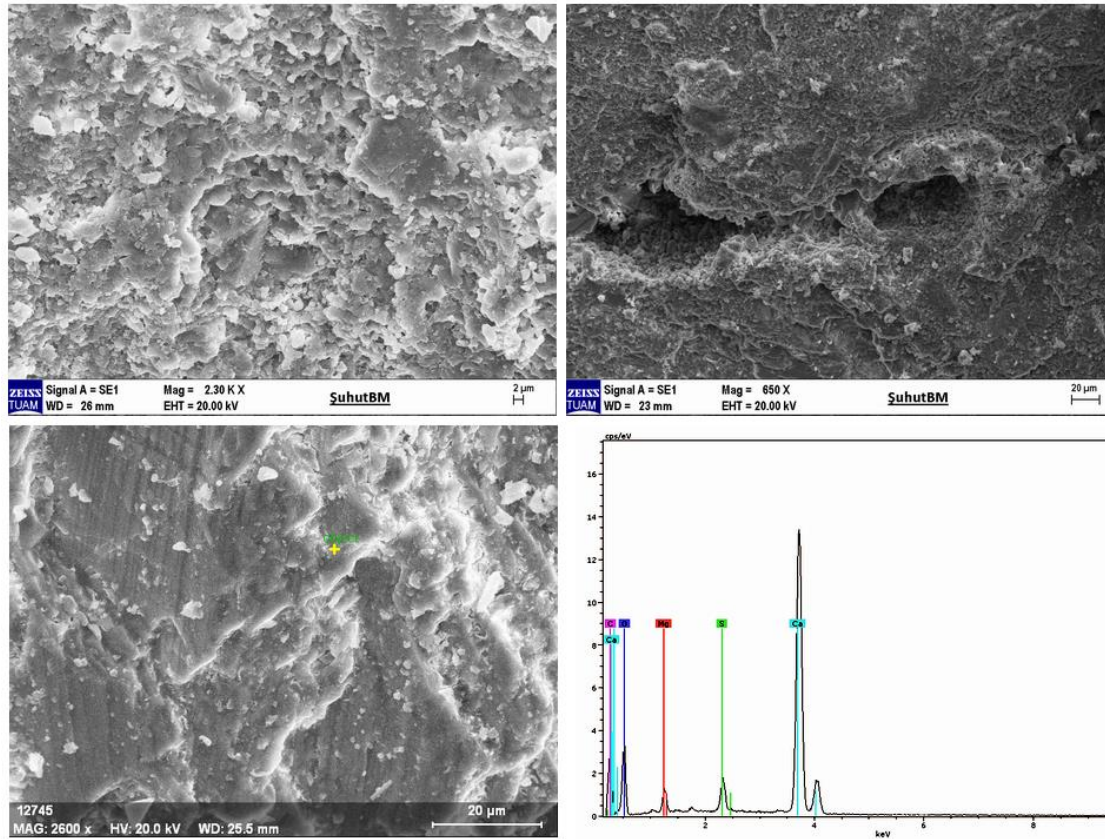


Element	Series	Net un. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oxid. C [wt.-%]
Carbon	K series	312	0.77	0.65	1.04
Magnesium	K series	17933	11.25	9.59	7.53
Sulfur	K series	25823	12.82	10.92	6.50
Calcium	K series	22406	14.91	12.71	6.05
Oxygen	K series	24588	77.60	66.13	78.89
Total: 117.3 %					

Şekil 4.39 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Emirdağ gümüş traverten örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikrofotografıları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d)

Tuz kristalleştirme testleri sonrasında Şuhut kireçtaşı gözeneklerinde MgSO₄ gibi

magnezyum sülfat kristalleri SEM ile tanımlanmıştır. Şuhut kireçtaşı deney örneğinin %14'lük magnezyum sülfat tuz çözeltisi ile tuz kristalleştirme testi sonrasındaki SEM görüntüleri ve tuz kristalleşmesinin neden olduğu mikro kristallerin detayı Şekil 4.40'da verilmiştir. SEM gözlemleri dışında SEM-EDX ile kimyasal analiz sonuçları bünyesinde magnezyum sülfat olduğunu doğrulamıştır.

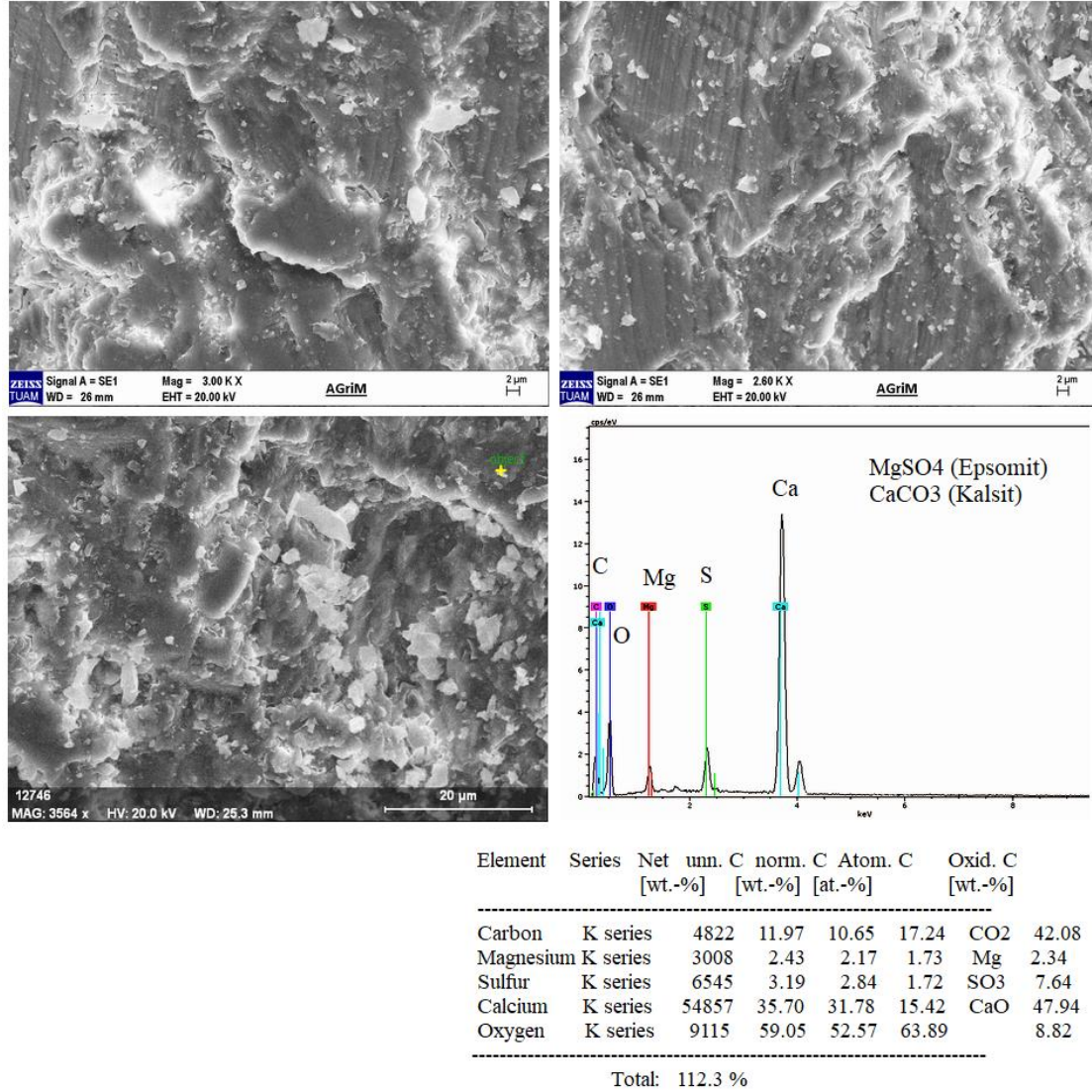


Element	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	Oxid. C	
		[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[wt.-%]	
Carbon	K series	10676	17.07	15.73	24.47	CO ₂ 53.75
Magnesium	K series	4270	2.64	2.43	1.87	Mg 2.27
Sulfur	K series	7881	2.89	2.66	1.55	SO ₃ 6.20
Calcium	K series	79499	31.43	28.97	13.50	CaO 37.79
Oxygen	K series	11978	54.47	50.20	58.61	-8.48
Total: 108.5 %						

Şekil 4.40 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Şuhut kireçtaşı örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

Afyon gri mermer SEM analizi örneklerdeki magnezyum sülfat kristallerinin ağırlıklı olarak epsomit oluştuğunu ve ayrıca kalsit minerallerinin varlığı görülmüştür. SEM çalışmalarında epsomit minerallerinin kristal şekilleri de belirlenmiştir. Deneye tabi

tutulan doğal taşlarda bulunan diğer mineral de kalsit mineralidir ve Şekil 4.47’de gösterilmiştir. SEM-EDX tarafından tespit edilen magnezyum sülfat tuzların kimyasal analizleri ve mikrografları Şekil 4.41’de gösterilmektedir. EDX ile yapılan kimyasal analizlerde $MgSO_4$ ve $CaCO_3$ varlığı teyit edilmiştir.



Şekil 4.41 Magnezyum sülfat çözeltisi ile yaşlandırma testinden sonra Afyon gri mermer örneklerinde gözeneklerde ve yüzeyde tuz birikimlerini gösteren SEM mikro fotoğrafları (a, b). Sarı renkli + işaretli yerin SEM-EDX ile yapılan kimyasal analizi (b, c, d).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma, Afyonkarahisar'da üretilen doğal yapı taşlarının tuz kristalleşmesi ve ayrışma özellikleri üzerinde gözenek boyut dağılımının etkisini incelemek için yapılmıştır. Deneylerde, İscehisar andezit (İA), Döğer tüfü (DT), Emirdağ gümüş traverten (EGT), Şuhut kireçtaşı (ŞK) ve Afyon gri mermer (AGM) gibi farklı kökenlere sahip doğal taş örnekleri kullanılmıştır. Tuz kristalleşmesine karşı dirençlerini belirlemek için bu taşlar üzerinde deneyler yapılmış ve farklı tuzlu çözeltilerle dayanım özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, taşların gözenek boyut dağılımının tuz kristalleşmesine karşı etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Döğer tüfü, %47,5 gözenekliliğe sahip olup saf suda %0,29, NaCl çözeltisinde %3,74, sodyum sülfat çözeltisinde tamamen dağılmış ve magnezyum sülfat çözeltisinde ise %83,30 oranında hasara uğramıştır. Tuz kristalleşmesi deneyi sonucunda kuru ağırlık kaybı değişimlerine göre hasar etkisinin en fazla olduğu çözelti sodyum sülfat olarak belirlenmiştir. Bu durum, Döğer tüfünün tuz kristalleşmesi deneyleri sırasında en çok hasara maruz kalan doğal taş olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, doğal taşların tuz kristalleşmesine karşı dayanıklılıklarının gözeneklilik özellikleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.
- Tuz kristalleşme deneyinden sonra genel ultra ses geçiş hızlarında düşüş meydana gelmiş olup bunun nedeni, tuz kristallenmesi sırasında mikro çatlaklar ve boşluklar meydana gelmiş ve gözeneklerin artmasıyla ultra ses geçiş hızı değerlerinin azalması olarak ifade edilebilir. Tuz kristalleşme sırasında gözeneklerde biriken tuz kristalleri döngüler ilerledikçe gözenekleri doldurmaya başlar. NaCl kristalleşme basıncı diğer tuzlara göre daha düşük olduğu için sadece gözeneklerde birikerek ultrases geçiş hızının artmasına yol açabilir. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ çözeltilerinde ise gözenek duvarlarına yapılan basıncın artması mikro çatlak oluşumlarına bağlı olarak gözenek genişlemeleriyle sonuçlanabilir. Bu durumda da ultrases geçiş hızlarında azalmalar meydana gelebilir.
- NaCl çözeltisi ile yapılan deneyde, İscehisar andezitlerinde gözenekler tuzla

dolduğu için dayanımında bir miktar artış olmuştur. Diğer bütün doğal taşların dayanımlarının düştüğü görülmüştür. Deney sırasında özellikle $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinde Döğer tüfleri tamamen dağılmıştır. Tuz kristalleşme deneyinden sonra tüflerin dağılmasının nedeni tuz kristallenmesi sırasında mikro çatlaklar ve boşluklar meydana gelmiş ve gözeneklerin artması ile ilgilidir.

- NaCl ile yapılan tuz kristalleştirme deneyleri, gözenek boyutu dağılımında çeşitli değişikliklere neden olmuştur. Döğer tüfü, gözeneklerde artış ve daha büyük gözeneklerde azalma göstererek en önemli değişimleri sergilemiştir. İscehisar andeziti, Emirdağ gümüş travertenini ve Afyon gri mermeri ise gözenek boyutu dağılımlarında küçük değişiklikler göstermiştir. Şuhut kireçtaşı ise gözenek yapısı üzerinde sınırlı bir etkiye işaret edecek şekilde minimal değişiklikler göstermiştir.
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan deneyler, İscehisar andeziti, Döğer tüfü ve Emirdağ gümüş travertenini için gözenek çaplarında önemli artışlara neden olmuştur. Şuhut kireçtaşı en önemli artışı yaşarken, Afyon gri mermer ise gözenek çapında önemli bir azalma göstermiştir.
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan tuz kristalleştirme deneyi, doğal yapı taşı örneklerinin hem gözenek çapında hem de boyut dağılımında belirgin değişikliklere neden olmuştur. İscehisar andeziti ve Döğer tüfünde gözenek genişlemesi gözlenirken, Emirdağ gümüş traverteninde sınırlı bir etki olduğu ve Şuhut kireçtaşında ise gözenek çapının azaldığı gözlenmiştir. Afyon gri mermerinde ise gözenek çapı önemli ölçüde azalmıştır.
- Tuz kristalleştirme deneyleri sonucunda elde edilen bulgular, farklı taş numunelerinin gözenek yapılarının çeşitli özelliklerini ve deneylerin farklı etkilerini vurgulamaktadır. Gözenek boyutu dağılımındaki değişiklikler, yapı taşlarının ayrışma performansını ve davranışını değerlendirmek için önemli bilgiler sunmaktadır.
- Deneysel sonuçlar, tuz kristalleşme hasarı üzerinde çapı 1 μm 'den küçük olan

mikro gözeneklerin kritik bir etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır. Ancak 1 µm ile 4 µm arasındaki gözenek çaplarının tuz kristalleşmesi açısından daha önemli olduğu da gözlemlenmiştir.

- Tuz kristalleşmesi, doğal taşların ayrışmasını etkileyen bir dizi faktöre bağlıdır, bunlar arasında tuzun türü ve konsantrasyonu, taşın gözenekliliği ve geçirgenliği, taşın maruz kaldığı çevresel koşullar vb. yer almaktadır. Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat gibi bazı tuzlar, doğal yapı taşlarına zarar verme eğilimindedir.
- Doğal taş yapıların tuz kristalleşmesinden kaynaklanan ayrışma, ekonomik ve kültürel sonuçları olan önemli bir sorundur. Koruyucu kaplamaların kullanımı, drenaj sistemlerinin iyileştirilmesi ve dayanıklı taş türlerinin seçimi gibi önlemler, bu sorunu hafifletmek için kullanılabilir.
- Tuz kristalleşmesinin doğal taşların ayrışması üzerindeki etkisinin anlaşılması, jeoteknik mühendislik ve malzeme bilimi alanında değerli bilgiler sunmaktadır. Daha fazla araştırma yapılması ve stratejiler geliştirilmesi önerilmektedir.
- Tarihi yapılarda kullanılan doğal yapı taşlarının su emilimi azaltılarak korunması için restorasyon ve konservasyon çalışmaları önemlidir. Su itici ve koruyucu kimyasal maddeler kullanılarak tuz kristalleşmesine bağlı tahribatların azaltılması mümkündür.
- Çalışmada incelenen gözenek boyutu dağılımı, tuz kristalleşmesinin doğal taş yapılarının ayrışması üzerindeki etkisini değerlendirmek için önemli bir parametredir. Ancak diğer faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir, çünkü tuz hasarı taneler arasındaki kohezyon, mineral bileşimi ve fiziksel özellikler gibi diğer özelliklerden de etkilenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Alonso F J, Vazquez P, Esbert R M, Ordaz J, 2008, Ornamental Granite Durability: Evaluation of Damage Caused By Salt Crystallization Test. *Mater Constr* 58,191–202.
- Alves G, Vasconcelos R F, 2014, Salts in Stone and Masonry. *Advanced Masters in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions, SA6: Restoration and Conservation Materials*, 2-50.
- Amorosso G G, Fassina, V, 1983, Stone Decay and Conservation. *Materials Science Monographs*, 11, 101-107, Elsevier Amsterdam.
- Angeli M, Hebert R, Menendez B, David C, Bigas J P, 2010, Influence of Temperature and Salt Concentration On The Salt Weathering of A Sedimentary Stone With Sodium Sulphate, *Eng. Geol*, 115, 193–199.
- Atabey E, 2003, Tufa ve Traverten, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 106, Ankara.
- Barbera G, Barone G, Mazzoleni P, Scandurra A, 2012, Laboratory measurement of ultrasound velocity during accelerated aging tests, implication for the determination of limestone durability. *Constr Build Mater* 36, 977–983.
- Beavis F C, 1985, *Engineering Geology*, Blackwell Scientific Publications.
- Benavente D, Garcia Del Cura M A, Fort R, Ordonez S, 1999, Thermodynamic Modelling of Changes Induced By Salt Pressure Crystallization In Porous Media of Stone, *J. Cryst. Growth*, 204, 168-178.
- Benavente D, Martinez-Martinez J, Cueto N, Ordonez S, Garcia-Del-Cura M.A, 2018, Impact of Salt and Frost Weathering On The Physical and Durability Properties of Travertines and Carbonate Tufas Used As Building Material. *Environ. Earth. Sci*, 77, 147.
- Binal A, Kasapoğlu K E, Gökçeoğlu C, 1997, The Surficial Physical Deterioration Behaviour of Neogene Volcano-Sedimentary Rocks of Eskişehir-Yazılıkaya, *Nw*

- Turkey, Proc. Int. Symp. On Engineering Geology and Environment, Athens, Greece, A.A. Balkema, V3, Pp. 3065-3069, Rotterdam.
- Cardenes V, Mateos F J, Fernandez-Lorenzo S, 2014, Analysis of The Correlations Between Freeze–Thaw and Salt Crystallization Tests, Environ. Earth Sci, 71, 1123–1134.
- Carlson D H, Plummer C C, Mcgeary D, 2008, Physical Geology Forth Revealed, 7th Edition. Mcgraw-Hill International Edition, Pp. 360-376, Pp.241-249.
- Ceryan S, Tudes S, Ceryan N, 2008, Infuence of Weathering on The Engineering Properties of Harsit Granitic Rocks (Ne Turkey). Bull Eng Geol Environ 67, 97–104.
- Cox K G, Price N B, Harte B, 1974, The Practical Study of Crystals, Minerals and Rocks, Mcgraw Hill International Editions. Pp. 104-124, 201-207.
- Çelik M Y, Aygün A, 2019, The Efect of Salt Crystallization on Degradation of Volcanic Building Stones by Sodium Sulfates and Sodium Chlorides. Bull Eng Geol Environ 78, 3509–3529.
- Çelik M Y, Tıǧlı R, 2019, Afyonkarahisar Yöresinde Yapı Taşı Olarak Kullanılan Tüflerin Karakterizasyonu ve Tuz Kristallenmesine Dirençlerinin İncelenmesi. Bilimsel Madencilik Dergisi, 58(3), 197-209.
- Çelik M Y, 2003a, Antik Çağda İscehisar (Afyon) Mermer Ocağı, Mermer, Doğal Taş Sektörü Dergisi, Yıl 8, Sayı: 34, S. 70-75, İzmir.
- Çelik M Y, 2003b, Dekoratif Doğal Yapı Taşlarının Kullanım Alanları ve Çeşitleri, Madencilik, 42, 3-15.
- Çelik M Y, 2015, Mermer Jeolojisi Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yayımlanmamış Ders Notları.
- Çelik M Y, İbrahimoglu A, 2021, Characterization of Travertine Stones from Turkey and Assessment of Their Durability to Salt Crystallization. Journal of Building Engineering, 43

- Çelik M Y, Özkan O, 2022, Geotechnical Characterization of Low-Porous Limestones (Beige–Cream Marble, Turkey) and Evaluation of Durability by Salt Crystallization Experiments. *Bull Eng Geol Environ* 81, 56.
- Çelik M Y, Sert M, 2020a, Accelerated Ageing Laboratory Tests for The Evaluation of The Durability of Hydrophobic Treated and Untreated andesite With Respect to Salt Crystallization, Freezing–Thawing, and Thermal Shock. *Bull Eng Geol Environ* 79, 3751–3770.
- Çelik M Y, Sert M, 2020b, An Assessment of Pore Size Distribution Changes of the andesite (İscehisar, Turkey) Used as Building Stone in Relation to The Six Artificial Accelerated Ageing Factors. *Geoheritage* 12, 71.
- Çelik M Y, Sert M, 2020c, The Role of Different Salt Solutions and Their Concentration Ratios in Salt Crystallization Test on The Durability of Döğer Tuff (Afyonkarahisar-Turkey) Used as Building Stones of Cultural Heritages. *Bull Eng Geol Environ*, 79, 5553–5568.
- Çelik MY, Sert M, 2021, An Assessment of Capillary Water Absorption Changes Related to The Different Salt Solutions and Their Concentrations Ratios of The Döğer tuff (Afyonkarahisar-Turkey) Used as Building Stone of Cultural Heritages. *Journal of Building Engineering*, 35, 2021- 102102.
- Çelik M Y, Sert M, 2022, An Investigation of The Pore Size Distribution Variations with Salt Crystallization Tests of Döğer Tuff (Afyonkarahisar-Turkey). *Bull Eng Geol Environ* 81, 48.
- Dal M, Umaroğulları G, 2014, A Petrographic and Chemical Analysis of The Degree of Deformation in Historical Building Stones in Edirne, *International Journal of Scientific Research*, Vol:3, Issue:3, 392-395.
- Dal M, Yalçın M, Öcal A D, 2016, Gazimağusa Kale İçindeki Tarihi Taş Yapılarda Görülen Bozunmalar, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2):355-363, Adana.
- Daloğlu G, Emir E, 2010, Eskişehir-Derbent Bölgesi Beyaz Tüflerinin Doğal Yapı Taşı Olarak Değerlendirilebilirliği, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23: 92-104.

- Derluyn H, Moonen P, Carmeliet J, 2014, Deformation and Damage Due to Drying-Induced Salt Crystallization In Porous Limestone. *J Mech Phys Solids* 63, 242–255.
- Di Benedetto C, Cappelletti P, Favaro M, 2015, Porosity as Key Factor in The Durability of Two Historical Building Stones: Neapolitan Yellow Tuf and Vicenza Stone. *Eng Geol* 193, 310–319.
- Doehne E, 1994, In Situ Dynamics of Sodium Sulfate Hydration and Dehydration in Stone Pores: Observations at High Magnification Using the Environmental Scanning Electron Microscope. Fassina, O.A.Z, Editor, *The Conservation of Monuments in The Mediterranean Basin*. (venice, Italy), 143-150.
- Dragovich, D, 1991, Marble Weathering in an Industrial Environment, Eastern Australia. *Environ. Geol. Water Sci*, 17: Pp. 127-132.
- Ertaş K, 2001, Binalarda Buhar Difüzyonu Olayının İrdelenmesi. Tmmob Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi, 23-25 Mart, Eskişehir.
- Espinosa Marzal R M, Scherer G W, 2008, Crystallization of Sodium Sulfate Salt in Limestone. *Environ Geol* 56, 605–621.
- Flatt R J, 2002, Salt Damage in Porous Materials: How High Supersaturations Are Generated, *J. Cryst. Growth*, 242, 435–454.
- Fookes P G, Dearman W R, Franklin J A, 1971, Some Engineering Aspects of Rock Weathering. *Quar. J. Eng. Geology*, 4, 139-185.
- Jefferson D P, 1993, Building Stone: The Geological Dimension. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 26, 305 – 319.
- Johnson R B, Degraff J V, 1988, *Principles of Engineering Geology* John Willey Sons.
- Karaman M E, Kibici Y, 2008, *Temel Jeoloji Prensipleri*, Belen Yayıncılık ve Matbaacılık, Ankara, 335s.
- Klopfer H, 1985, Feuchte, In: Lutz P Et Al (Eds) *Lehrbuch Der Bauphysik*, Teubner, Stuttgart, 329–472.
- Kulaksız S R, 2007, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşletme Teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 621s.

- Küçükkaya A G, 2004, Taşların Ayırışma Nedenleri Koruma Yöntemleri. Birsen Yayınevi, 163s, İstanbul.
- Le Bas M J, Le Maitre R W, Woolley A R, 1992, The Construction of The Total Alkali-Silica Chemical Classification of Volcanic Rocks, *Miner. Petrol*, 46, 1-22.
- Lubelli B, Nijland T G, 2014, Damage Mechanism in Tournai Limestone—The Case of The Tomb of Admiral Tromp in The Old Church of Delft (The Netherlands) *J Cult Heritage* 15, 313–317.
- Lubelli B, Cnudde V, Diaz-Goncalves T, 2018, Towards A More Effective and Reliable Salt Crystallization Test for Porous Building Materials: State of The Art. *Mater. Struct.* 51, 55.
- Menendez B, 2018, Estimators of the Impact of Climate Change in Salt Weathering of Cultural Heritage. *Geosciences*, 8 (11), 401.
- Metin S, Genç Ş, Bulut V, 1987, Afyon ve Yakın Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Rap. No: 8103, Ankara (Yayınlanmamış).
- Ollier C, 1984, *Weathering, Geomorphology Texts*. Ed. K.M. Clayton, Longman, London and New York, 270p.
- Öztürk A, 2006, Kayaç Dokusal Özelliklerinin Sınıflandırılması ve Kaya Mühendisliği Uygulamaları, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği, İstanbul.
- Pötzl C, Siegesmund S, Dohrmann R, Koning J.M, Wedekind W, 2018, Deterioration of Volcanic Tuff Rocks from Armenia: Constraints on Salt Crystallization and Hydric Expansion. *Environ. Earth. Sci*, 77, 660.
- Prikryl R, Lokajicek T, Svobodova J, Weishauptova Z, 2003, Experimental Weathering of Marlstone from Predni Kopanina (Czech Republic) – Historical Building Stone of Prague. *Build Environ* 38(9–10), 1163–1171.
- Rodriguez-Navarro C, Doehne E (1999) Salt Weathering: Influence of Evaporation Rate, Supersaturation and Crystallisation Pattern. *Earth Surf Process Landf* 24(3):191-209.

- Sarıcı D E, Kızılkaya N, Özdemir E, Polat F, 2018, Evalution of Salt Crystallisation Effects on Artificial Marble. Journal of Physical Chemistry and Functional Materials, 1 (2), 20-24.
- Siegesmund S,Dürrast H, 2011, Physical and Mechanical Properties of Rocks. In: Stone in Architecture, 4th Edition, Siegesmund S, Snethlage R. Eds, Berlin: Springer, 97–225.
- Sözmen B, 2000, Investigation of Deterioration Mechanism of Yazılıkaya Tuffs in Midas Monument, Eskişehir (Turkey). M.Sc. Thesis (Unpublished), Metu, 163 P, Ankara.
- Sun Q, Zhang Y, 2019, Combined Effects of Salt, Cyclic Wetting and Drying Cycles on The Physical and Mechanical Properties of Sandstone. Eng Geol 248, 70–79.
- Takarlı M, Prince W, 2006, Etude Expérimentale De L'endommagement Thermique Du Granite. Comptes-Rendus Des Rencontres De L'association Universitaire Du Génie Civil, La Grande Motte, 157-158.
- Tezcan L, Meriç B T, Doğdu N, Akan J B, Atilla A Ö, Kurttaş T, 2002, Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltı Suyu Akım Modeli, Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (Ukam), Devlet Su İşleri (Dsi) Genel Müdürlüğü, Final Raporu, 339s (Yayımlanmamış).
- Torraca G, 1988, Porous Building Materials. Materials Science for Architectural Conservation, Iccrom, 1-59p.
- TS 699, 2009, Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metotları, TSE, Ankara.
- TS-EN 12370, 2001, Türk Standartları, Doğal Taşlar-Deney Metotları-Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini, TSE, Ankara, 8s.
- TS-EN 12407, 2008, Doğal Taşlar -Deney Metotları- Petrografik İnceleme, S.No.1, TSE, Ankara.
- TS-EN 13755, 2014, Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 14579, 2006, Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini, TSE, Ankara.

- TS-EN 1926, 2013, Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, TSE, Ankara.
- TS-EN 1936, 2010, Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, TSE, Ankara.
- Tsui N, Flatt R J, Scherer G W, 2003, Crystallization Damage by Sodium Sulfate. J Cult Herit 4, 109–115.
- Tuğrul A, Zarif İ H, 1999, Research on Limestone Decay in A Polluting Environment, İstanbul-Turkey. Environmental Geology, Volume 38(2), 149- 158.
- Uman Ö, Yergök F A, 1979, Emirdağ (Afyon) Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Rapor No: 6604, Ankara (Yayınlanmamış).
- Urosevic M, Sebastian E, Cardell C, 2013, An Experimental Study on the Influence of Surface Finishing on The Weathering of a Building Low-Porous Limestone in Coastal Environments. Eng Geol 154, 131–141.
- Ünal M, 2006, Tuz Kristalleşmesi Kaynaklı Bozunumun Yapıtaşları Üzerindeki Çalışma Raporu, Selçuk Üniversitesi, Çalışma Raporu, 22s.
- Ünver B, Ünal M, 1995, Effect of Weathering Properties of Rocks on The Stability of Surface Excavations and Underguround Openings. Mining Journal, Chamber of Mining Ankara.
- Vazquez M A, Galan E, Ortiz P, Ortiz R, 2013, Digital İmage Analysis and Edx Sem As Combined Techniqueto Evaluate Salt Damp on Walls, Constr. Build. Mater, 45, 95–105.
- Vazquez P, Thomachot-Schneider C, Mouhoubi K, Bodnar J.L, Avdelidis N.P, Charles D, 2018, Sodium Sulfate Crystallisation Monitoring Using Ir Thermography. Infrared Physics and Technology, 89, 231-241.
- Wells J D 1973, Salt Activity and Osmotic Pressure in Connective Tissue. I. A Study of Solutions of Dextran Sulphate as a Model System. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 183(1073) 399-419.

- Yu S, Oguchi C T, 2010, Role of Pore Size Distribution in Salt Uptake, Damage, and Predicting Salt Susceptibility of Eight Types of Japanese Building Stones. Eng Geol 115, 226–236.
- Yüzer E, Angı S, 2007, Nerede Hangi Doğal Taş, Hanlar-Kervansaraylar Geleneksel ve Modern Mimaride Taş Sempozyumu, Antalya Expo Center, 29-30 Kasım 2007, Antalya, 155-164.
- Zedef V, Kocak K, Doyen A, Ozsen H, Kekec B, 2007, Effect of Salt Crystallization on Stones of Historical Buildings and Monuments, Konya, Central Turkey, Build. Environ, 42, 1453-1457.

İnternet Kaynakları

- 1- <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, 14.01.2023