



**KİMYASAL KORUYUCULARIN,
RESTORASYONDA KULLANILAN
DÖĞER TÜFÜNÜN
DURAYLILIĞINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özlem GÜVEN
Danışman
Doç. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK
MADEN MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Haziran 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİMYASAL KORUYUCULARIN, RESTORASYONDA
KULLANILAN DÖĞER TÜFÜNÜN DURAYLILIĞINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Özlem GÜVEN

Danışman
Doç. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK

MADEN MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Özlem GÜVEN tarafından hazırlanan “KİMYASAL KORUYUCULARIN, RESTORASYONDA KULLANILAN DÖĞER TÜFÜNÜN DURAYLILIĞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 14/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK

Başkan : Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ
Süleyman Demirel Ün. Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK
Afyon Kocatepe Ün. Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Metin ERSOY
Afyon Kocatepe Ün. Mühendislik Fakültesi

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.

14/Haziran/2019

Özlem GÜVEN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**KİMYASAL KORUYUCULARIN, RESTORASYONDA KULLANILAN DÖĞER
TÜFÜNÜN DURAYLILIĞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Özlem GÜVEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK

Döğer tüfleri Afyonkarahisar yöresinde Osmanlı dönemlerinden beri yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Döğer tüfleri ile inşa edilen ve günümüze kadar gelen tarihi eserler zaman içerisinde atmosfer ve çevresel faktörlerin etkisiyle ayrışmaya başlamış ve zaman zaman restorasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Doğal yapı taşlarında ayrışmanın en önemli nedenlerinden birisi sudur. Su, değişik yollarla doğal yapı taşları içerine girmektedir. Bu yolların en önemlilerinden birisi de kılcal su emme mekanizmasıdır. Kılcal su emme yoluyla doğal yapı taşları içerisine giren su ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve tuz kristallenme olaylarına yol açabilir. Bu çalışmada Afyonkarahisar yöresinde üretilen ve yapı taşı olarak kullanılan Döğer tüflerinde bu ayrışma mekanizmalarını incelemek amacıyla 3 aşamalı çalışma yürütülmüştür. Birinci aşamada Döğer tüflerinin malzeme karakterizasyonunu yapmak amacıyla kimyasal, petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, XRD), fiziko-mekanik özellikleri ve gözenek çapı dağılımı belirlenmiştir. İkinci aşamada, kılcal etkiye bağlı su emme, don tesirlerine dayanıklılık ve tuz kristallenmesine direncin tayini (sodyum klorür (NaCl) ve sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) çözeltisi ile) gibi yaşlandırma deneyleri, ilgili standartlara uygun olarak yapılmıştır. Söz konusu deneyler normal örneklerin yanı sıra yüzey koruyucu kimyasal madde sürülmüş örnekler üzerinde de tekrarlanmıştır. Döğer tüflerinin söz konusu deneylerin yıkıcı hasarlarına karşı kimyasal maddenin koruma etkisi belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise Döğer tüfü numunelerinin ayrışma miktarı ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı değişimi ve tek eksenli basınç dayanımı gibi bazı fiziksel ve mekanik parametrelerde meydana gelen değişimlerle belirlenmiştir. Donma-

2019, xv + 100 sayfa

ii

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**EFFECT OF CHEMICAL PROTECTIVE TREATMENTS ON DURABILITY OF
DÖĞER TUFF FOR USED IN RESTORATION**

Özlem GÜVEN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa Yavuz ÇELİK

The tuffs have been used as building stones since the Ottoman period in the Afyonkarahisar region. The historical buildings that were built with the Döğér tuffs and which have survived to the present day have started to decompose because of atmosphere and environmental factors and have been subjected to restoration process from time to time. Water is one of the most important reasons of deterioration of natural building stones. Water enters natural building stones in different ways. One of the most important of these ways is the capillary water absorption mechanism. Water entering in the natural building stones through capillary water absorption can lead to wetting-drying, freezing-thawing and salt crystallization. In this study, a 3-stage study was carried out in order to examine these deterioration mechanisms in the Döğér tuffs. In the first stage, chemical, petrographic-mineralogical (polarizing microscope, XRD), physico-mechanical properties and pore diameter distribution of material were determined. In the second step, aging tests such as water absorption due to capillary action, resistance to frost effects and determination of resistance to salt crystallization (with sodium chloride (NaCl) and sodium sulfate decahydrate ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) solution) were carried out in accordance with the relevant standards. The experiments were repeated on the treated samples with surface protection chemicals as well as untreated samples. The protective effect of surface protection chemicals was determined against the destructive damages of these tuffs. In the third stage, the amount of deterioration of the Döğér tuff samples was determined with the help of changes in some physical and mechanical parameters such as weight loss, ultrasound speed change and uniaxial

compressive strength. In the freeze-thaw experiments, the mass loss value was 17.18% for the untreated samples and 5.73% for the treated samples. The compressive strength values were decreased by 11.44% in the untreated samples, whereas the compressive strength decreased by 9.55% in the untreated samples. In the NaCl solution, after the salt crystallization experiments, the compressive strength decreased by an average of 36.75% in the samples not applied the surface protection, whereas the compressive strength in the untreated samples decreased by 5.61%. In the experiments conducted with $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ solution, the compressive strength decreased by 72.58% on the samples without surface protection, while the compressive strength increased by 1.79% in the samples with surface protection. According to the experimental studies, it can be said that if these tuffs are coated with a surface protective chemical, they will be more resistant to the aging effects.

2019, xv + 100 pages

Keywords: Döğer tuff, Durability, Surface protect chemical, Restoration, Freeze-thaw, Salt crystallization, Water capillarity

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa Yavuz ÇELİK, deneysel çalışmalar süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Grv. Murat SERT ve Öğr. Grv.Zeyni ARSOY'a ve her konuda öneri, eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı Babam Hüseyin GÜVEN' e, Annem Yüksel GÜVEN' e ve Kardeşim Ahmet GÜVEN' e teşekkür ederim.

Özlem GÜVEN

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışma Alanının Konumu	1
1.2 Çalışmanın Amacı	1
1.3 Örneklerin Alınması	3
1.4 Önceki Çalışmalar	4
2. LİTERATÜR BİLGİLER	8
2.1 Tüflerinin Genel Özellikleri	8
2.1.1. Tüflerin Oluşumu ve Özellikleri	8
2.1.2 Tüflerin Kullanım Alanları.....	10
2.1.3 Türkiye’de Tüflerin Dağılımı.....	11
2.2 Döğer Tüfünün Jeolojisi.....	12
2.3 Yapımında Döğer Tüfünün Kullanıldığı Tarihi Yapılar.....	14
2.3.1. Döğer Kervansarayı	14
2.3.2. İmaret Camii.....	14
2.3.3. Mevlevi (Türbe) Camii	16
2.4 Döğer Tüfünün Restorasyonda Kullanılması: Mevlevi Cami Örneği.....	17
2.5. Tarihi Yapılarda Kullanılan Doğal Taşlarda Oluşan Ayrışmalar	18
2.5.1 Fiziksel Ayrışmalar.....	18
2.5.2. Kimyasal Ayrışmalar	19
2.5.3. Biyolojik Ayrışmalar	19
2.5.4 Ayrışmanın Hızına ve Derecesine Etki Eden Faktörler	20
2.6. Kayaçların Ayrışma Özellikleri	20
2.6.1. Kayaçların Ayrışmasının Belirlenmesi	21
2.7 Tarihi Yapılarda Kullanılan Doğal Taşlardaki Ayrışmalara Suyun Etkisi	22

2.7.1 Kılcal Su Emmenin Etkisi.....	22
2.7.2 Donma-çözülme Olaylarının Etkisi.....	23
2.7.3 Tuz Kristallenmesinin Etkisi	24
3. MATERYAL ve METOT	25
3.1 Materyal	25
3.1.1 Kullanılan Malzemeler.....	26
3.1.2 Kullanılan Araç ve Gereçler.....	27
3.2 Metot	29
3.2.1 Örneklerin Hazırlanması	30
3.2.2 Kimyasal Analiz	31
3.2.3 Mineralojik ve Petrografik Analizler	32
3.2.3.1 Polarizan Mikroskop ile Mineralojik ve Petrografik Özelliklerin İncelenmesi	32
3.2.3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Mineralojik Özelliklerin İncelenmesi	33
3.2.3.3 XRD ile Mineralojik Analiz	34
3.2.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler	34
3.2.4.1 Gözenek Boyut Dağılımı	35
3.2.4.2 Birim Hacim Ağırlık Deneyi (Görünür Yoğunluk).....	35
3.2.4.3 Özgül Ağırlık Deneyi (Gerçek Yoğunluk)	36
3.2.4.4 Ağırlıkça Su Emme Deneyi	37
3.2.4.5 Ultra Ses Geçiş Hızı Deneyi	38
3.2.4.6 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	39
3.2.5 Yaşlandırma Deneyleri	41
3.2.5.1 Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının (Kapilarite) Tayini	42
3.2.5.2 Don Tesirlerine Dayanıklılık Deneyi.....	43
3.2.5.3 Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Deneyi.....	45
4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	47
4.1 Kimyasal Analiz	47
4.2 Mineralojik ve Petrografik Analizler.....	48
4.2.1 Polarizan Mikroskop ile Mineralojik ve Petrografik Özelliklerin İncelenmesi	48
4.2.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Mineralojik Özelliklerin İncelenmesi	49
4.2.3 XRD ile Mineralojik Analiz	50

4.3 Fiziksel ve Mekanik Özellikler	51
4.3.1 Gözenek Boyut dağılımı	51
4.3.2 Açık ve Toplam Gözeneklilik Deneyi	53
4.3.3 Birim Hacim Ağırlık Deneyi (Görünür Yoğunluk)	53
4.3.4 Özgül Ağırlık Deneyi (Gerçek Yoğunluk)	54
4.3.5 Ağırlıkça Su Emme Deneyi.....	54
4.3.6 Ultra Ses Geçiş Hızı Deneyi	55
4.3.7 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi.....	56
4.4 Yaşlandırma Deneyleri	56
4.4.1 Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının (Kapilarite) Tayini	57
4.4.2 Don Tesirlerine Dayanıklılık Deneyi	59
4.4.3 Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Deneyi	62
4.4.3.1. Sodyum Klorür (NaCl) Deneyi.....	63
4.4.3.2. Sodyum Sülfat (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) Deneyi.....	65
4.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Ayrışma Etkisinin İncelenmesi.....	67
4.5.1. Yüzey Koruyucusu Uygulanmamış Örneklerde SEM ile Ayrışma Etkisinin İncelenmesi.....	68
4.5.1.1. Sodyum Klorür (NaCl) Deneyi.....	68
4.5.1.2. Sodyum Sülfat Dekahidrat (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) Deneyi.....	69
4.5.2. Yüzey Koruyucusu Uygulanmış Örneklerde SEM ile Ayrışma Etkisinin İncelenmesi	70
4.5.2.1. Sodyum Klorür (NaCl) Deneyi.....	71
4.5.2.2. Sodyum Sülfat Dekahidrat (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) Deneyi.....	71
4.6 Yaşlandırma Deneyleri Sonrası Örneklerde Fiziksel ve Mekanik Değişimler.....	72
4.6.1 Donma Çözülme Deneyleri.....	72
4.6.1.1 Donma Çözülme Deneyleri Süresince Ağırlıkça Su Emme Değişimi.....	73
4.6.1.2 Donma-Çözülme Deneyleri Sonrasında Kütle Değişimi.....	73
4.6.1.3 Donma Çözülme Deneyleri Sonrasında Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişimi	74
4.6.1.4 Donma Çözülme Deneyleri Sonrasında Ultrases Geçiş Hızı Değişimi.....	75
4.6.2 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (NaCl ve Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O).....	76
4.6.2.1 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (NaCl) Sonrasında Kütle Değişimi .	76
4.6.2.2 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (NaCl) Sonrasında Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişimi	77

4.6.2.3 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (NaCl) Sonrasında Ultrases Geçiş Hızı Değişimi	78
4.6.2.4 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) Sonrasında Kütle Değişimi	79
4.6.2.5 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) Sonrasında Tek Eksenli Basıncı Dayanımı Değişimi	80
4.6.2.6 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) Sonrasında Ultrases Geçiş Hızı Değişimi	81
4.6.3 Kılcal Su Emme Deneyleri	82
4.6.3.1 Kılcal Su Emme Deneyleri Sonrasında Kütle Değişimi	82
4.6.3.2 Kılcal Su Emme Deneyleri Sonrasında Ultrases Değişimi	83
4.6.3.3 Kılcal Su Emme Deneyleri Sonrasında Tek Eksenli Basıncı Dayanımı Değişimi	84
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86
6. KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİş	100

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
μm	Mikrometre
Al_2O_3	Alüminyum dioksit
CaO	Kalsiyum oksit
cm	Santimetre
Fe_2O_3	Demir oksit
K_2O	Potasyum dioksit
kg	Kilogram
m	Metre
MgO	Magnezyum oksit
mm	Milimetre
MPa	Mega paskal
Na_2O	Sodyum dioksit
NaCl	Sodyum Klorür
$^{\circ}\text{C}$	Santigrad
s	Saniye
SiO_2	Silisyum dioksit

Kısaltmalar

A.Z.	Ateş zaiyatı
C	Kılcal su emme katsayısı
KCl	Potasyum klorür
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Sodyum Sülfat Dekahidrat
NaCl	Sodyum Klorür
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu ile mineralojik özelliklerin incelenmesi
TS	Türk Standartları
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 1.1 Çalışmada kullanılan tüf örneklerinin alındığı ocağın lokasyon haritası.....	1
Şekil 2.1 Tüflerin oluşumu.....	9
Şekil 2.2 Türkiye volkanik kökenli doğal taşlar dağılım haritası	12
Şekil 2.3 Döğer bölgesi jeoloji haritası 1 şist, 2 mermer (Afyon metamorfikleri), 3 tüf ve aglomera, 4 marn, kireçtaşı, kumtaşı ve konglomera (Gebeceler formasyonu), 5 bazalt, trakit ve 6 alüvyon.	13
Şekil 2.4 Döğer bölgesi stratigrafik kesiti.	14
Şekil 2.5 Türkiye için hazırlanmış eş donma-çözülme döngü sayısı kontur haritası.	24
Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan Döğer tüfünün toplam alkali içeriğine karşı silis diyagramında sınıflandırılması.....	47
Şekil 4.2 Döğer tüfünün ince kesit görünümleri (a, c,): Çift nikol, (b, d): Tek nikol. (S: sanidin, Pj: plajiolklas, P: piroksen, Q: kuvars ve Vc: volkanik cam).....	49
Şekil 4.3 Döğer tüfünde gözlenen kuvars mineralinin görünümü	50
Şekil 4.4 Döğer tüfünde gözlenen zonlu feldspat (plajiolklas) mineralinin görünümü ..	50
Şekil 4.5 Döğer tüflerinin XRD analiz ile elde edilen mineral piklerinin görünümü	51
Şekil 4.6 Döğer tüflerinin gözenek boyut dağılımı	52
Şekil 4.7 Döğer tüfü açık gözeneklilik değerleri.....	53
Şekil 4.8 Yüzey koruyucu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tüfünün zamana bağlı kılcal su emme miktarının karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.9 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, kübik şekilli tuz (NaCl) minerallerinin görünümü ve tuz mineralinin elementel kimyasal analizi	69
Şekil 4.10 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, minerallerin yüzeyini kaplayan tuzların ve kübik şekilli tuz (NaCl) minerallerinin görünümü ve elementel (EDX) kimyasal analizi	69
Şekil 4.11 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, kısa prizmatik sülfat minerallerinin görünümü ve sülfat mineralinin elementel kimyasal analizi	70
Şekil 4.12 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, uzun çubuk, mızrak şekilli sülfat minerallerinin görünümü ve sülfat mineralinin elementel kimyasal analizi.....	70

Şekil 4.13 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tuf örneklerinde, kübik şekilli tuz (NaCl) minerallerinin görünümü ve tuz mineralinin elementel (EDX) kimyasal analizi	71
Şekil 4.14 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tuf örneklerinde, uzun çubuk şekilli sülfat minerallerinin görünümü ve sülfat mineralinin elementel (EDX) kimyasal analizi	72
Şekil 4.15 Donma-çözülme sürecinde su emme miktarında değişim	73
Şekil 4.16 Donma-çözülme sürecinde kütle kaybı değişim	74
Şekil 4.17 Donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrasında tek eksenli basınç dayanımı değişimi	75
Şekil 4.18 Donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrasında ultrases geçiş hızı değişim ...	76
Şekil 4.19 Döğer tufünün tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deneyi kütle değişimi grafiği.....	77
Şekil 4.20 Döğer tufünün tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deneyi tek eksenli basınç dayanımı grafiği	78
Şekil 4.21 Döğer tufünün tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deneyi ultrases geçiş hızı grafiği	79
Şekil 4.22 Döğer tufünün tuz kristallenmesine (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) direncin tayini deneyi kütle değişimi grafiği.....	80
Şekil 4.23 Döğer tufünün tuz kristallenmesine (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) direncin tayini deneyi tek eksenli basınç dayanımı grafiği	81
Şekil 4.24 Döğer tufünün tuz kristallenmesine (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) direncin tayini deneyi ultrases geçiş hızı grafiği	82
Şekil 4.25 Döğer tufünün kılcal su emme deneyi sonrasında kütle değişimi.....	83
Şekil 4.26 Döğer tufünün kılcal su emme deneyi ultrases geçiş hızı grafiği	84
Şekil 4.27 Döğer tufünün kılcal su emme deneyi tek eksenli basınç dayanımı değişimi grafiği.....	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Fiziko mekanik testlerde kullanılan örnekler ve ilgili standartlar.....	35
Çizelge 4.1 Döğer tufunun kimyasal bileşimi	47
Çizelge 4.2 Döğer tufunun açık ve toplam gözeneklilik değerleri.....	53
Çizelge 4.3 Döğer tufunun görünür yoğunluk değerleri	54
Çizelge 4.4 Döğer tufunun özgül kütle değerleri	54
Çizelge 4.5 Döğer tufunun ağırlıkça su emme değerleri.....	55
Çizelge 4.6 Döğer tufunun ultra ses geçiş hızı değerleri.....	55
Çizelge 4.7 Döğer tufunun tek eksenli basınç dayanımı değerleri.....	56
Çizelge 4.8 Döğer tufu kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının deney sonuçları ($\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$)	58
Çizelge 4.9 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tufunun kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının deney sonuçları ($\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$)	58
Çizelge 4.10 Döğer tufunun don tesirlerine dayanıklılık deneyi sonuçları	60
Çizelge 4.11 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tufunun don tesirlerine dayanıklılık deney sonuçları.....	61
Çizelge 4.12 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tufunun tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deney sonuçları	64
Çizelge 4.13 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tufunun tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deney sonuçları	64
Çizelge 4.14 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tufunun tuz kristallenmesine ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) direncin tayini deney sonuçları	66
Çizelge 4.15 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tufunun tuz kristallenmesine ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) direncin tayini deney sonuçları	66

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Döğer civarında tüflere oyulmuş bazı tarihi anıtların görünümü.....	2
Resim 1.2 Deney örneklerinin alındığı tüf ocağı genel görünüşü.....	3
Resim 1.3 Örneklerinin deneylere uygun hale getirilmesi.....	4
Resim 2.1 Döğer tüfleri kullanılarak yapılan Döğer Kervansarayı.....	15
Resim 2.2 Döğer tüfleri kullanılarak yapılan İmaret Camii.....	15
Resim 2.3 Döğer tüfleri kullanılarak yapılan Mevlevi (Türbe) Camii.....	16
Resim 2.4 Döğer tüfleri kullanılarak yapılan Mevlevi (Türbe) Camii.....	17
Resim 3.1 Deney örneklerinin alındığı tüf ocağı genel görünümü	25
Resim 3.2 Afyonkarahisar Mevlevi Camii restorasyon sonrası görünümü.....	25
Resim 3.3 Deneylerde kullanılan sodyum sülfat dekahidrat ve sodyum klorür	26
Resim 3.4 Deneylerde kullanılan yüzey koruyucu kimyasal madde	26
Resim 3.5 Nüve Ove KD200 marka etüv.....	27
Resim 3.6 Leğende kapiler su emme deneyi.....	27
Resim 3.7 Densi Ufo Arşimet terazisi.....	28
Resim 3.8 Deneylerde kullanılan derin dondurucunun görünümü	28
Resim 3.9 Testcenter marka tek eksenli basınç dayanım cihazı	29
Resim 3.10 Proceq Pundit Lab ultrasonik test cihazı.....	29
Resim 3.11 Deneylere uygun ebatlanmış kübik örnekler.....	30
Resim 3.12 Deneylerde kullanılan örneklerin görünümü	31
Resim 3.13 Döğer tüfünün kimyasal bileşiminin belirlenmesinde kullanılan XRF cihazının görünümü	31
Resim 3.14 Döğer tüfünün mineralojik ve petrografik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan Polarizan mikroskop cihazının görünümü	32

Resim 3.15 Döğer tufunun mikro özelliklerin belirlenmesinde kullanılan SEM cihazının görünümü	33
Resim 3.16 Döğer tufunun mineral bileşiminin belirlenmesinde kullanılan XRD cihazının görünümü	34
Resim 3.17 Döğer tufunun gözenek boyut dağılımı özelliklerin belirlenmesinde kullanılan cıvalı porozimetre cihazı.....	35
Resim 3.18 Helyum piknometresi.....	37
Resim 3.19 Proceq Pundit Lab ultrasonik test cihazı.....	39
Resim 3.20 Tek eksenli basınç dayanımı cihazı.....	40
Resim 3.21 Örneğin tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırıldığı andaki görüntüsü	41
Resim 3.22 Örnekler su itici kimyasal uygulanması işlemi	42
Resim 3.23 Kapiler su emme deneyi	43
Resim 3.24 Örneklerin dona dayanım deneyi için dondurucuya yerleştirilmesi	44
Resim 4.1 Yüzey koruyucu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tufunun zamana bağlı kılcal su emme seviyeleri ve grafiği	59
Resim 4.2 Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tufunun don tesirlerine dayanıklılık deneyi görüntüleri.....	62
Resim 4.3 Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tufunun tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde 1-5-10-15. döngülerin görüntüleri	65
Resim 4.4 Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tufunun tuz kristallenmesi (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) deneyinde 1-5-10-15. döngülerin görüntüleri.....	67
Resim 4.5 SEM incelemeleri sonucunda Sodyum klorür (NaCl) ve sodyum sülfat (Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O) örneklerinin görünümü.	68

1. GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanının Konumu

Bu çalışmada Döğer (İhsaniye) yöresi tüfleri kullanılmıştır. Döğer (İhsaniye), Ege Bölgesi'nde Afyonkarahisar ilinin 51 km KB'sında yer almaktadır (Şekil 1.1). Çalışma sahasında en yakın yerleşim birimleri; güneyde İhsaniye ilçesi, kuzeyde Kırka kasabasıdır. İhsaniye ilçesine 12 km. uzaklıktaki Döğer kasabası, tarihi ve kültürel özelliği olan Frig vadisi olarak bilinen alanda yer almaktadır. Kasabada Friglerden kalma tüflere oyulmuş kaya mezarları, tapınaklar, mabetler ve sunaklar bulunmaktadır. Günümüze kadar ayakta kalan tüflerden yapılmış kaya anıtlarının en önemlileri Kapıkaya ve Aslankaya'dır (Resim 1.1). Roma ve Bizans döneminden kalma tüf kaya yerleşimleri ve mezar odaları ile oyma kiliseler de oldukça çok görülmektedir.



Şekil 1.1 Çalışmada kullanılan tüf örneklerinin alındığı ocağın lokasyon haritası.

1.2 Çalışmanın Amacı

Tarihi eserler, tarih süreci içerisinde yaşamış olan toplumların çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yapılmış, geçmiş kültürlerin uygarlık düzeyini yansıtan yapıtlardır. Bu yapıtlar genel olarak askeri, dini, sosyal amaçlı yapılardır. Eski eserler tarihi, kültürel ve mimari değer olarak kabul edilmiş ve gelecek kuşaklara miras olarak bırakılmıştır. Afyonkarahisar yöresinde, volkanik kayalar kullanılarak yapılmış çok sayıda tarihi eser bulunmaktadır. Tarihi eserlerin büyük bir kısmında, yörede bol

miktarda bulunan tüfler ve volkanik kayalar kullanılmıştır. Bu volkanik kayalar Afyonkarahisar civarındaki taş ocaklarından elde edilmiştir. Ancak günümüze kadar gelen süreçte atmosfer etkileri ve doğal afetler nedeniyle bu tarihi eserler çeşitli derecelerde tahribata uğramıştır. Bu tahribatın derecesine göre bu tarihi eserler zaman zaman restorasyon işlemine tabi tutulmaktadır.



Resim 1.1 Döğler civarında tüflere oyulmuş bazı tarihi anıtların görünümü.

Ülkemizde sahip olduğumuz tarihsel mimari eserlerin önemli bir kısmını taş yapılar oluşturmaktadır. Bu nedenle taş yapıların restorasyon ve konservasyonu ülkemiz açısından önemli bir yer tutmaktadır. Taş eserlerimiz gerek kullanılan taşların özelliklerinden gerekse çevresel koşullar nedeniyle tahrip olmaktadır. Taş eserlerimizde meydana gelen ayrışmaların doğal ilerleyişini durdurmak gerekmektedir. Fakat doğanın ve çevresel faktörlerin ayrışmaya sebebiyet veren gücü ancak yavaşlatılabilir. Bu sebeple doğal taşlarda kimyasal koruyucu maddeler kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında hem tarihi yapılarda kullanılmış hem de günümüzde kullanımı devam eden Döğler tüflerinin çeşitli atmosfer ve dış etkilere karşı dayanımı ve durabilitesi incelenecektir.

Doğada uzun yıllarda gerçekleşen ayrışma olaylarını laboratuvar ortamında daha kısa sürelerde simule edilerek yaşlandırma deneyleri yapılmaktadır. Laboratuvar ortamında hem normal hem de koruyucu kimyasal madde sürülmüş tüf örneklerine; kılcal su

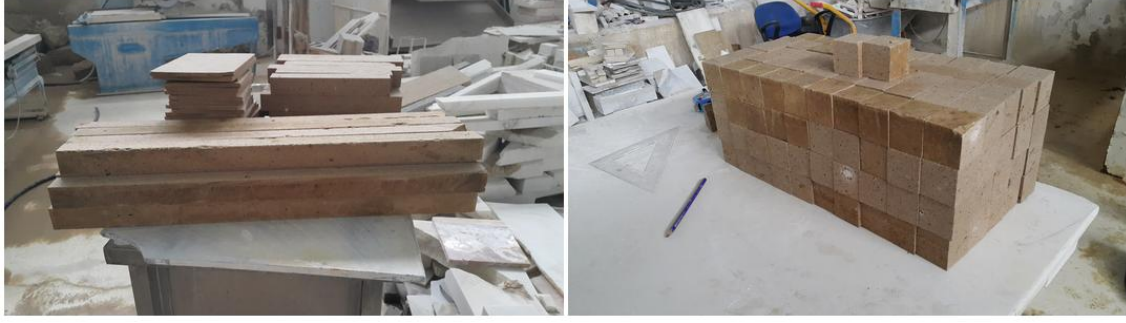
emme, donma-çözülme, tuz kristallenmesine direncin tayini deneyleri uygulanacak ve tüflerin ayrıştırıcı etkenlere karşı durabilitesi incelenecektir. Normal ve koruyucu kimyasal maddelerle kaplanmış olan tüflerin yaşlandırma deneyleri sonrasında bazı fiziksel (kütle kaybı, ultrases geçiş hızı) ve mekanik (tek eksenli basınç dayanımları) verileri incelenecektir. Sonuç olarak Afyonkarahisar yöresinde antik dönemlerden beri tarihi yapılarda kullanılan Döğer tüflerinin atmosfer etkilerine karşı dayanımı incelenecek ve restorasyon çalışmalarına ışık tutarak daha uzun süreler ayrışmadan bulunduğu yerde kalması sağlanmış olacaktır.

1.3 Örneklerin Alınması

Çalışmada kullanılan tüf örnekleri, Döğer – İhsaniye’de bulunan Alimoğlu Mad. San. ve Tic. Ltd. Şti.’nin taş ocağından alınmıştır. Örneklerin alındığı ocağın görünümü Resim 1.2’de verilmiştir. Alınan bloklar Afyon Meslek Yüksekokulu mermer atölyesinde deneylerin yapılacağı standartlara uygun boyutlara getirilmiştir (Resim 1.3).



Resim 1.2 Deney örneklerinin alındığı tüf ocağı genel görünüşü.



Resim 1.3 Örneklerinin deneylere uygun hale getirilmesi.

1.4 Önceki Çalışmalar

Tarihi yapılarda kullanılan volkanik kayalardan olan tüfler, eski uygarlıklardan beri yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Bu nedenle literatürde tüflerle ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı tüflerin yapı taşı olarak kullanımı, mühendislik özellikleri ve restorasyon çalışmaları ile ilgilidir. Afyonkarahisar yöresinde de Ayazini, Seydiler ve Döğer yörelerinde tüf ocakları işletilmekte ve üretilen bu tüfler yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Literatürde Ayazini ve Seydiler tüfleri hakkında çok sayıda çalışma bulunmakta olup Döğer tüfleri ile ilgili çok fazla çalışmaya rastlanılmamıştır. Afyonkarahisar yöresinde üretilen Ayazini, Seydiler ve Döğer tüflerine ait bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Kuşçu ve Yıldız (2001), Ayazini (Afyon) tüflerinin yapı taşı olarak kullanılabilirliğini, Kavas ve Çelik (2001), çimento sanayiinde tras olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Demir vd. (2006), Ayazini tüflerinin mekanik özellikleri ve yapı taşı olarak kullanılabilirliğini, Çelik ve Ergül (2015), Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak sıklıkla kullanılan Ayazini ve Seydiler tüflerinin gözenekliliğine bağlı olarak su içeriklerinin fiziko-mekanik özelliklerine etkisi incelemişlerdir. Çelik ve Öztürk (2012), Afyonkarahisar'da tarihi çeşmelerde yapıtaşı olarak kullanılan volkanik kayalardaki ayrışmalarını incelemişlerdir. Çelik ve Tan (2016), Döğer (İhsaniye-Afyon) tüflerinin doğal yapı taşı olarak teknolojik özelliklerini ve Mevlevi (Türbe) Cami restorasyonunda kullanılmasını incelemişlerdir. Çelik (2017), Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan dört farklı volkanik tüfün fiziko-mekanik özelliklerini incelemiştir.

Doğal yapı taşların bünyesine su almasını değerlendirme yöntemlerinden birisi, kılcal su emme potansiyelidir (Peruzzi *et al.* 2003). Doğal taşların en önemli fiziksel özelliklerinden birisi kılcal su emme miktarıdır. Yüksek gözenek ve kılcal su emmeye bağlı olarak emilen sular, birçok doğal taş için fiziksel ve mekanik özelliklerde olumsuz etki yapmaktadır. Kılcal su emme etkisiyle emilen sular, soğuk iklimlerde donarak buza dönüşür. Buz kristallerinin büyümesi ve artan hacmi nedeniyle boşluklarda basınç oluşturarak taşın dayanımını önemli ölçüde azaltır. Bu durum, suyla beraber doğal taşların içine giren tuzların kristallenmesi için de geçerlidir (Tomašić *et al.* 2011).

Yapılarda kullanılan doğal taşların, su emmeden kaynaklanan ayrışmaların ve zararların azaltılması amacıyla kılcal su emme kapasitelerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Literatürde, kılcal su emmeyi konu alan birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Suyun gözenekli ortamda kılcal akış kinetiği, ilk olarak Washburn (1921) tarafından teorik olarak incelenmiştir. Burada gözenekli ortam birbirine paralel ve çapı aynı olan iki tüp ile temsil edilmiştir. Çok sayıda araştırmacı, doğal taşların petrografik, yapısal ve gözenek özelliklerini inceleyerek suyun doğal taş içindeki hareketini belirlemeye çalışmışlardır (Vazquez *et al.* 2010, Peruzzi *et al.*, 2003, Hoffmann and Niesel 1992, Mosquera *et al.* 2000, Nicholson 2001, Karoglou *et al.* 2005, Juhász *et al.* 2014, Moreno *et al.* 2006, Çobanoğlu 2015, Çelik ve Kaçmaz 2016, Karagiannis *et al.* 2016).

Çelik ve Kaçmaz (2016), andezit ve tüflerde dinamik ve normal kapiler su emme kapasitelerini araştırmışlardır. Çelik ve Yılmaz (2018), statik, tuzlu ve asidik sulu ortamların Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan gözenekli yapıtaşlarının kılcal su emme potansiyeline etkisini incelemişlerdir.

Tüf ve andezit gibi volkanik kayaçların donma-çözülme dirençlerini konu alan çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, literatürde Döğer tüfünün donma-çözülme dirençlerini konu alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Topal ve Doyuran (1998), Kapadokya bölgesindeki peribacalarını oluşturan tüflerin fiziko-kimyasal ve mühendislik özelliklerini; ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve tuz kristallenmesi deneyleri yardımıyla incelemişlerdir. Chen vd (2004), donma-çözülme döngülerine bağlı olarak tüflerin suya doygunluğun ayrışmaya etkisini incelemişlerdir. Altındağ vd.

(2004), ignimbritlerin donma-çözölme döngülerinin mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Ruedrich *et al.* (2011), granit ve kireçtaşlarının yanı sıra tüflerin de donma-çözölme döngülerine bağlı olarak ayrışma özelliklerini, Çelik vd. (2014), donma-çözölme döngülerinin Ayazini (Afyonkarahisar) tufünün mukavemetine etkisini, Özbek (2014), ıslatma-kurutma ve donma-çözölme döngülerinin ignimbritlerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini, Ghobadi vd (2016), donma-çözölme deneylerinde tüflerde meydana gelen fiziksel ve mekanik değişikliklerini açıklamışlardır. Yavuz (2012), Alaçatı (İzmir) tufünün ayrışma ve dayanımını hızlandırılmış ayrışma testleriyle (tuz kristallenmesi, donma-çözölme ve ıslanma-kuruma) incelemişlerdir. Liu vd. (2015), donma-çözölme deneyi sonrasında kayaçların tek eksenli basınç dayanımı kestirimi amacıyla bir model geliştirmişlerdir.

Literatürde volkanik kökenli kayaçların tuz kristallenmesine dirençlerini inceleyen araştırmalar bulunmaktadır. Ünal vd. (2006), değişik doğal yapı taşlarındaki tuz kristallenmesine bağlı ayrışmaları ağırlık kaybı ve ultrasonik hız geçişleri ile incelemişlerdir. Zedef vd. (2007), Konya yöresinde tarihi yapılarda kullanılan volkaniklerin (dasit, andezit ve tuf) tuz kristallenmesine dirençlerini çalışmışlardır. Ünal ve Gündoğdu (2008), yapı malzemesi olarak kullanılan 6 farklı tufün tuz kristallenmesine karşı dirençlerini bazı fiziksel parametrelerdeki (kuru ağırlık kaybı ve ultrasonik hız ölçümleri) değişiklikleri inceleyerek bulmaya çalışmışlardır. López-Doncel vd. (2016), on yedi farklı tuf örneğinde tuz kristallenmesi ile ayrışma ve gözenek miktarı arasındaki ilişkiyi incelenmişlerdir. Çelik ve Aygün (2018), yüksek gözenekli volkanik yapı taşlarının sodyum sülfat ve sodyum klorürlü sularda tuz kristallenmesine dirençlerini incelemişlerdir.

Tarihi yapılarda kullanılan doğal taşların ayrışmasını önlemek amacıyla kullanılan, koruyucu kimyasal maddeler konusunda da çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; Ioannou and Hoff (2008), deney örneklerini sodyum metilsilikon ile kaplayarak tuz kristallenmesine direnci incelemişlerdir. Ziyaettin ve Tanaçan (2011), kimyasal maddeler ile kaplandıkları kumtaşlarının tuz kristallenmesi deneyi sonra yoğunluk, ultrases hızı ve dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Licchelli vd. (2013), su itici kimyasal madde (flor bileşimli) ile kapladıkları çok gözenekli kireçtaşında su

buharı geçirgenliği ve kılcal su emme özelliklerini incelemişlerdir. Karapanagiotis vd (2014), modifiye edilmiş silika ile kaplanmış farklı yapı taşlarının kılcal su emme özelliği ile su buharı geçirgenliği özelliklerini incelemişlerdir. Salazar-Hernández vd (2015), yüzeyi değişik kimyasallarla maddelerle (tetraetil ortosilikat (TEOS), koloidal silika ve hidroksil-polidimetilsiloksan (PDMS-OH)) kaplanmış ve kaplanmamış tüflerin tuz kristallenmesine dirençlerini incelemişlerdir.



2. LİTERATÜR BİLGİLER

2.1 Tüflerinin Genel Özellikleri

2.1.1. Tüflerin Oluşumu ve Özellikleri

Türkiye'nin birçok bölgesinde tüflere rastlanır ve bu tüfler andezit, dasit ve trakitler arasında veya genelde birlikte bulunurlar. Tüfler, tane boyutu 2 mm'nin altındaki başlıca volkan camı, kristal ve kayaç parçaları içeren malzemelerdir (Karaman ve Kibici 2008, Daloğlu ve Emir 2010). Tüfler, volkanik taneli malzeme ile volkan külünün belirli alanlara taşınması, depolanması (kuru ve sulu ortam) ve pekişmesi ile oluşurlar. Sulu ortamlarda oluşana denizsel, gölsel tüf adı verilir (Kulaksız 2007). Volkanik taneli malzeme ya akıntı şeklinde (bir yamaç boyunca) ya da volkanik taneli ve külünün tane boyutuna göre istiflenmesi ve kaynaklanması ile kayaç oluştururlar. Akıntı şeklinde oluşan tüflere ignimbirit adı verilmektedir (Çelik 2013).

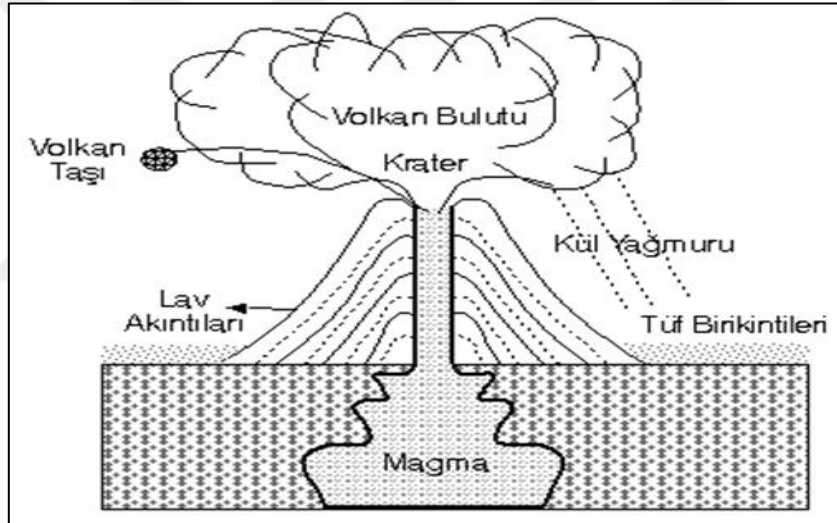
Görünüşleri mat, genellikle tabakalı riyoit tüflerine tonsteyn, çok değişmiş tabakalı veya tabakasız diyabaz tüflerine salsteyn adı verilir. Tüflerin sular içinde birikip çökmesiyle tüfit oluşur. Bazen volkanik malzemelerle, sedimanter malzemeler ardışıklı olarak bir seri meydana getirebilirler. Böyle oluşan serilere volkano-sedimanter seri veya volkanik ara katkılı sedimanter seri adı verilir (Çelik 2015).

Silisyum ve alüminyum bileşikleri içeren tüfler çok gevşek ve kırılğan bir yapıya sahiptir. İyi pekişmemiş olanlar kolayca aşınıp toz haline gelirler ve birim ağırlıklarını küçük olması sebebiyle bazen su yüzeyinde dahi yüzebilirler. Atmosfer etkisine bağlı olarak boşluklardaki suyun uzaklaşması sebebiyle, tüf ocağındaki malzemenin sertliği yüzeye doğru artmaktadır (Çelik 2015).

Tüfler, katılaşmış piroklastik bir kayaçtır. Tane boyutu çok küçük olan tüfler tabiatla çok yaygın olarak bulunurlar. Başka bir ifade ile tüfler katılaşmış volkan külleridir. Kum, kil büyüklüğündeki volkanik tanelerin karalarda veya sular içerisinde birikmeleri ile oluşurlar. Tüfler çok miktarlarda ve değişik renklerde bulunması, çıkarması ve işlenmesinin kolay olması nedeniyle eskiden beri yapı malzemesi olarak

kullanılmaktadır. Tüfler yerinde iken yani ocaktan henüz çıkarıldığında yumuşaktır ve işlenmesi çok kolaydır. Ocaktan çıkarıldıktan sonra açık havada bırakılacak olursa bir miktar yüzey suyunun buharlaşıp uçması sonucunda sertleşir ve işlenmesi zorlaşır (Çelik 2015).

Tüfler meydana geldikleri malzeme itibariyle volkanik kökenli olmalarına karşın, oluşum ve oluşum şekli dikkate alındığında, sedimanter ortamlarda sedimantasyon olayları sonucunda meydana gelmiş kayaçlardır. Volkanlardan çıkan malzemeler katı olarak tuf ve piroklastik malzeme, sıvı olarak lav, gaz ve buhardır. Bu malzemelerden volkan içinde katılaşmış olan maddelere piroklastik malzeme adı verilir (Çelik 2015). Tüflerin oluşum özellikleri Şekil 2.1’ de görülmektedir.



Şekil 2.1 Tüflerin oluşumu.

Volkan camı, kayaç ve kristal parçası içeriklerine göre sınıflandırılan tüfler; vitrik, litik ve kristal tuf olarak adlandırılmaktadır. Vitrik tüfler, genellikle volkan camından oluşmaktadır, yer yer kayaç parçaları yanı sıra az miktarda kuvars, biyotit ve hornblend mineralleri de içermektedir. Litik tüflerin bileşimlerinde %30-60 oranında volkan camı bulunmaktadır. Bunun yanı sıra kuvars, plâjiyoklaz, biyotit fenokristalleri ile bir miktar kayaç parçalarından oluşmaktadır. Kristal tüfler ise yaklaşık %25-45 oranında volkan camı içermektedir. Bunlara kuvars, plâjiyoklaz, biyotit ve hornblend fenokristalleri eşlik etmektedir (Kadir ve Karakaş 2000).

Piroklastik parçaların çok çabuk soğuması ile meydana gelen tüflere pomza taşı veya sünger taşı adı verilmektedir. Pomza taşları, erimiş kütlenin emdiği gazları ani soğuma ile kütleyi terk etmesi sonucunda süngerimsi bol boşluklu bir yapıda oluşurlar (Ertek 2008).

2.1.2 Tüflerin Kullanım Alanları

Tüfler gözenekli yapısı, yüksek izolasyon etkileri, kolay işlenilebilirliğı ve yüksek puzolanik aktivitesi sebebiyle insanoğlu tarafından kullanılmaktadır. Tüflerin başlıca kullanım alanları;

- Hafif beton agregası olarak
- Aşındırıcı olarak
- Çimento sanayinde tras olarak
- Briket  retiminde
- Yapı taşı

Doğal yapı taşları günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmakla birlikte başlıca tüketim alanı inşaat sektörüdür. Binalarda dış kaplama malzemesi yanında iç mimari tasarımlarda da kullanılmaktadır. Binaların dışında park ve bahçe düzenlemeleri, anıtsal yapılar gibi büyük öneme sahip projelerde kullanımına yer verilmektedir. Büyük şehirlerimizin plansız ve programsız gelişmeleri ve beton ağırlıklı seçenekler son yıllarda evre bilincinin de gelişmesiyle yerini doğal yapı taşlarına bırakmaya başlamıştır. Özellikle büyük şehirlerde toplum yararına kullanılan alanlarda hem doğallık kazandırmak hem de çok dayanıklı olmalarından dolayı tercih edilmektedir. Bunların dışında yine minare ve cami gibi yapılarda da yapı taşları eskiden beri kullanılmış ve yenilerinde de kullanılmaya devam edilmektedir ( nt. Kyn. 1).

Ülkemizdeki üretilen volkanik tüfler 3-4 kata kadar yığma binaların taşıyıcı olarak duvarlarının oluşturulmasında, cami, minare gibi yapılarda tüketilmektedir. Bahçe duvarları, peyzaj mimari çalışmalarda, yaya yolu, park bahçe düzenlemelerinde kullanılmaktadır. Kaplama amaçlı olarak, tuğla, perde beton ve briket duvarların kaplanmasında da kullanılmaktadır. Yapılarda ve bahçelerde değışik amaçlı olarak

şömine, barbekü, çiçeklik ve heykel yapımında da tüketilmektedir. Yine çan taşı ya da desenli yapı taşı olarak bilinen Riyolitik tüf türü olan yapı taşlarının üretimi yöredeki ocaklarda basit tekniklerle yapılarak inşaat sektörüne verilmektedir. Çoğunlukla turizm yörelerinde ve sahil kenarlarında, çan taşları, yapılara dekoratif amaçla kaplama olarak, şömine, barbekü gibi yerlerde tüketilmektedir. Yöredeki ocaklar iç talebe cevap vermekte zorlanmaktadır. Artık üretim küçük atölyelerde işlenerek vazo, küllük, kalemlik gibi süs eşyası yapımında değerlendirilmektedir ve özellikle de Almanya çok iyi bir pazar olarak yerini almaktadır (İnt. Kyn. 1).

Ülkemizin değişik yörelerinde üretilen tüflerin ise daha farklı teknolojik yöntemlerle üretimi söz konusudur. Tüflerdeki üretim doğrudan ana kayaktan kesilerek elde edilmektedir. Ocakta kesim işi iki uzun ray üzerinde dairesel iki elmas disk kesici (biri yatay diğeri düşey) bulunan bir makine ile yapılmaktadır. Elde edilen kesilmiş bloklar ytong ve tuğlaya benzemektedir. Üretilen standart (15x20x40cm) ürünler duvar örme amaçlı olmaktadır. Tüfler cephe kaplama malzemesi için genellikle 5x10x40 cm ebatlarında da üretilmektedir. Değişik amaçlı ve istenilen boyutlarda da üretim söz konusudur (İnt. Kyn. 1).

2.1.3 Türkiye’de Tüflerin Dağılımı

Türkiye Neojen ve Kuvaternerde başlayıp tarihsel çağlara kadar uzanan dönemde oldukça şiddetli ve yaygın bir volkanik faaliyete sahne olmuştur. Özellikle Batı-Kuzeybatı Anadolu, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde bu faaliyet sürekli ve etkili geçmiştir. Bu olaylar sonucunda volkanizma ürünü olan lav, tüf, aglomeralar Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %10’unu kaplamaktadır. Batı ve Orta Anadolu’da çok geniş alanlar kaplayan tüf oluşumları vardır. Erzurum, Sivas, Kayseri, Ürgüp, Nevşehir, Konya dolaylarının tüfleri Selçuklu mimarisinin esas yapı taşları olarak tüm eserlerinde kullanılmıştır. Günümüzde ise Foça, Çeşme, Çanakkale, Afyon, Nevşehir tüfleri ekonomik olarak kullanılmakta ve değerlendirilmektedir (Erkanol ve Aydınadağ 2013). Türkiye tüf oluşumlarının bulunduğu iller Şekil 2.2’de verilmiştir.



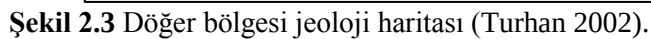
Şekil 2.2 Türkiye volkanik kökenli doğal taşlar dağılım haritası (Erkanol ve Aydınadağ 2013).

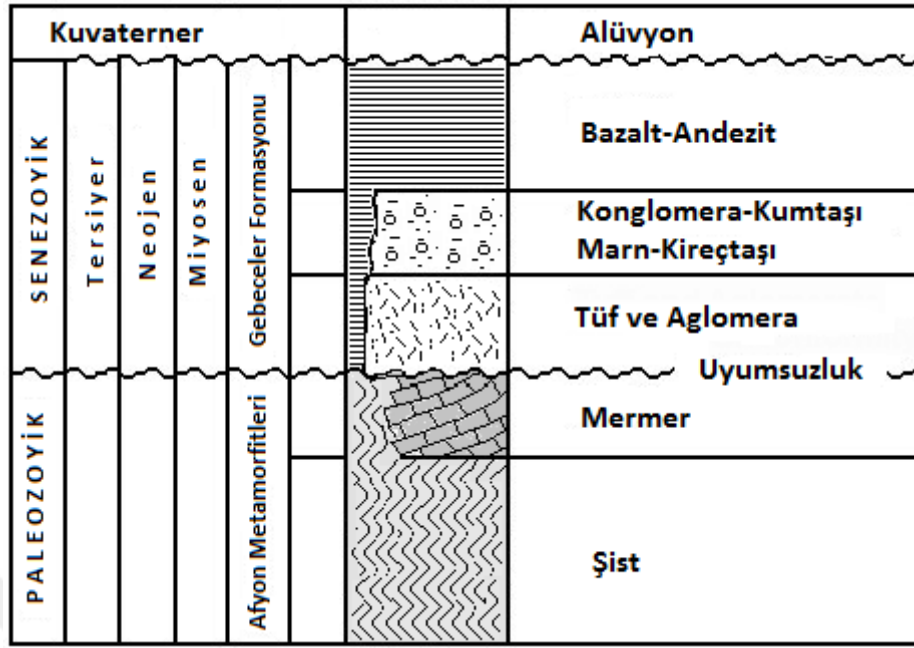
Toroslardan, Anadolu'nun tabanında kalan eski masif sahalara doğru olan geçiş bölgelerinde volkanik kayalar bulunur. Erciyes, Melendiz, Hasandağı ve Karacadağ ile bunların etrafına meydana gelmiş bulunan küçük volkanik koniler burada yer alır. Bu küçük konilerin pek çoğu tuf ve cüruftan oluşmuşlardır. Göreme, Kayseri, Ihlara, Afyon ve Isparta tuf alanları bu yörededir (Duran 2009).

2.2 Döğer Tüfünün Jeolojisi

Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfikleri Afyon civarında temeli oluşturmaktadır. Afyon metamorfikleri, mermer ve şist ardalanması şeklinde bulunmaktadır. Bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak Gebeceler Formasyonu gelmektedir. Gebeceler Formasyonu konglomera, kumtaşı, aglomera, tuf, tüfit, marn, killi kireçtaşı, silisifiye kireçtaşından meydana gelmiştir. Aglomera, tuf ve tüfitten meydana gelen Afyon volkaniklerini, Orta Miyosen-Geç Miyosen sonlarına kadar etkin olan şiddetli bir karasal volkanizma meydana getirmiştir. İç Batı Anadolu'da önemli bir yeri olan Afyon volkanitleri, Bayat–İscehisar–Kırka–Sandıklı–Şuhut arasında kalan bölgede çok geniş alanları kaplamaktadır. Bunlardan Ayazini ve civarında yüzeylenen tüflerin alanı yaklaşık olarak 20 km² civarındadır. Tüfler, genellikle süt beyazı, krem renkli olup, çok kalın katmanlanma sunmaktadır. Çok geniş alanlarda yayılımları olan tüfler kolay aşınabilen topoğrafyası ile ayrışma ve erozyon şekilleri ile dikkati çekerler. Bu çalışma kapsamında incelenen Döğer tüfleri de Gebeceler formasyonu içerisinde yer almaktadır.

Şekil 2.3 Döğer bölgesi jeoloji haritası (Turhan 2002).





Şekil 2.4 Döğler bölgesi stratigrafik kesiti (MTA 2009'dan düzenlenmiştir).

2.3 Yapımında Döğler Tüfünün Kullanıldığı Tarihi Yapılar

2.3.1. Döğler Kervansarayı

Döğler kervansarayı, Afyonkarahisar İhsaniye ilçesine bağlı Döğler kasabasında bulunmaktadır (Resim 2.1). Eski İstanbul-Şam-Halep karayolu üzerinde bulunmaktadır. Osmanlı imparatoru Sultan II. Murat tarafından 1434 yılında Karamanoğulları üzerine sefere çıktığı zaman konakladığı yere kervansaray yapılması emri verdiği Öztuna (1983) tarafından belirtilmiştir. İki bölümden oluşan kervansarayın yapımında moloz taş ve kesme taş kullanılmıştır. Alt katında ahır, üst katında ise yolcu konaklama odaları bulunmaktadır. İç kısımlarda beden duvarları kaba yonu taş, ayaklar kesme taş, tonoz sıralı moloz taş kemerler ise tuğla ile inşa edilmiştir. Dam üzeri kesme taş kaplıdır (Karazeybek vd. 2005).

2.3.2. İmaret Camii

Afyonkarahisar şehir merkezinde Kurtuluş caddesinde bulunan İmaret camii, 1472 yıllarında Fatih Sultan Mehmet'in vezirlerinden Gedik Ahmet Paşa tarafından Mimar Ayaz Ağa'ya yaptırılmıştır. Üzeri altı sütun üzerine sivri kemerli sekizgen kasnaklı bir kubbeye örtülüdür. Minare, kuzeydoğu köşede olup tek şerefeli, burmalı yivli, yivler

çini kaplı, setler, şerefe, gövde ve pabuç, kesme taştan yapılmıştır (Resim 2.2). 1795'te onarımı yapılmıştır. Afyon Arkeolojisi müzesi kayıtlarına göre; 1079 ve 1211 hicri yıllarında tamir gördüğü anlaşılmaktadır. Kapı üstündeki kitabe 1211 de Mütevellî Kaymakamı Ahmet Efendi'nin yaptırdığı tamirde konulmuştur. 1939-1947 yılları arasında Vakıflar Genel Müdürlüğü caminin ve minarenin tüm taş kaplamalarını sökerek yeniden yaptırmıştır. Son cemaat mahalli yıkılmak üzere iken tamir edilmiştir. 1966-1969 yılları arasında kubbe kurşunları yenilenmiştir (Karazeybek vd. 2005).



Resim 2.1 Döğer tüfleri kullanılarak yapılan Döğer Kervansarayı (Yapım tarihi: 1434).



Resim 2.2 Döğer tüfleri kullanılarak yapılan İmarek Camii (Yapım tarihi: 1472).

2.3.3. Mevlevi (Türbe) Camii

Anadolu’da ilk tesis edilen Mevlevihaneler içerisinde bulunan Afyonkarahisar Mevlevihanesi’nin ne zaman kurulduğu hususunda kesin bir tarih olmamakla birlikte, çeşitli çalışmalarda muhtelif görüşler beyan edilmiştir. XIII. yüzyıl sonlarında 1294-95/H.694 asitane olarak mevcut olan Mevlevihane’nin Germiyan Alişir oğlu Yakup Han’ın Mehmet Celaeddin oğullarından Mehmet Bahaeddin Veled oğlu Mehmet ve evlatlarına düzenlediği vakfı vardır. Vakfiyesi Yıldırım Bayezid döneminde 1392 yılında yenilenmiştir (Karazeybek vd. 2005).

Afyon Arkeolojisi müzesi kayıtlarına göre; M.S. 1683 yıllarında Kara Mustafa Paşa zamanında yanan dergâh yenilenmiştir. M.S. 1842 yılında Abdülmecid tarafından onarım yaptırılır. M.S. 1905 yılında Abdülhamit II. yapıyı bugünkü biçiminde yaptırır. Daha sonra Yüksek Mimar Arif Turunç, kubbe kurşunlarını değiştirmiş, kubbeyi onarmış, son cemaat yeri duvarlarını kesme taş kaplatmıştır. 1962 yılında minare yıkılarak yeniden yapılmıştır (Karazeybek vd. 2005).



Resim 2.3 Döğer tüfleri kullanılarak yapılan Mevlevi (Türbe) Camii (Yapım tarihi: 1294 öncesi).

Caminin minaresi kuzey- batı köşesinde yer almaktadır. Cami ile birlikte ortak temele oturan minare, kubbe hizasına kadar duvarı içinden çıkmakta olup kesme taştan çokgen dilimli ve yüzeyi oluklu olarak yapılmıştır. Şerefe altında iki ayrı silme bulunmaktadır.

Taş çıkmalar üzerinde şerefe yer almıştır. Korkulukları taştandır. Kûlah boğumlu olarak daralmaktadır (Karazeybek vd. 2005).

2.4 Döğ r Tüfünün Restorasyonda Kullanılması: Mevlevi Cami  rneği

Mevlevi (Türbe) Cami Restorasyonu 2008 yılında yapılmıştır (Resim 2.4). Cami yapısında kullanılan doğal taşlarda yenileme, onarılan kısımlardaki ve bozuşmuş yapı elemanlarına da bütünleme işlemi uygulanmıştır. Mevlevi (Türbe) Cami restorasyonu sırasında öncelikle bozuşarak ayrışan ve dökülen veya ileri düzey ayrışmaya müsait olan taşlar belirlenmiş, ölçüleri alınarak, kalıpları çıkartılmış ve yeni kesme taşlar işlenerek yerlerine yerleştirilmiştir ( elik ve Tan 2016).



Resim 2.4 D ğ r t f leri kullanılarak yapılan Mevlevi (Türbe) Camii (Yapım tarihi: 1294 öncesi).

Özellikle güneş, yağmur, don gibi atmosfer etkilerinin en fazla görüldüğü y r yapıların üst kısımlarıdır. Mevlevi (Türbe) Camisinin de duvar harpuştaları yenilenerek restorasyonu yapılmıştır. Taş yüzeylerde taş değiştirmesini gerektirmeyen parça kopması, yüzeylerde aşınma ve oyuklanma gibi şu anda yapıya fazla zararı olmayan ancak ileriki dönemlerde potansiyel ayrışma gösterebilecek taşlar, bu kısımları kazınarak uygun harçlarla bütünleme işlemi yapılmıştır. Taşlar arasındaki derzlerinde

boşalmış olan kısımları kazınmış ve uygun harçlarla yeniden doldurulmuştur. Bu yapının restorasyon işlemlerinde Afyonkarahisar Döğër bölgesinde yer alan Döğër tüfleri kullanılmıştır (Çelik ve Tan 2016).

2.5. Tarihi Yapılarda Kullanılan Doğal Taşlarda Oluşan Ayırışmalar

Yapı malzemeleri, zaman, çevre ve iklim koşulları gibi çeşitli etkiler nedeniyle birtakım ayrışmalara maruz kalırlar. Yapı malzemeleri bu ayrışmaların etkisiyle zayıflar, sahip oldukları fiziksel ve mekanik özellikleri kaybetmeye başlarlar. Ayrışmalara karşı önlem alabilmek için, öncelikle bunların neden kaynaklandığını belirlemek gerekir. Tarihi eserin ayrışmasına neden olan etkenleri ve yapının sorunlarını doğru ve erken anlamak, eserin ömrünü uzatmak için gerekli koruma yöntemlerini belirlemede ilk ve en önemli basamaktır (Dal ve Öcal 2013).

Taşın ayrışma nedenleri incelendiğinde, yapı taşlarının bulunduğu çevrenin iklimsel özellikleri taşların ayrışmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanında, ayrışma türünün, kayacın fiziksel ve kimyasal yapısı ile dış ve iç etkilerin özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir. Taş yapıların yıpranması ve ayrışmasındaki süreci hazırlayan etmenler, genellikle birçoğu birlikte etkili olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik nedenlerdir (Dal vd. 2016).

2.5.1 Fiziksel Ayırışmalar

Taş yapılarda mekanik etkiler neticesinde taşın morfolojik yapısında çeşitli değişiklikler meydana gelmektedir. Örneğin; donma olayı sonucunda katı hale geçerek hacimce genişlemeye uğrayan su, malzeme iç yapısında iç gerilmelere neden olur. Bu iç gerilme sonucunda malzeme genleşmeye uğrayarak çatlar ve dağılır. Bu nedenden ötürü kireçtaşı, kumtaşı, küfeki (deniz kabuklarının, çoğunlukla da küçük istiridye kabuklarının oluşturduğu bir istiridye kalkeridir) ve traverten gibi gözenekli tortul taşlarda yüksek oranda su emme ve buna bağlı olarak gelişen donma olayı nedeni ile meydana gelen hasarlar genellikle yüksek boyutlardadır (Gökaltun 2010, Dal ve Öcal, 2013).

Fiziksel parçalanma, kaya kütlelerinin ve malzemesinin parçalanması ile oluşur. Kayaların bloklar halinde parçalanması kaya kütlesi içindeki süreksizliklere, taneler halinde parçalanması ise tane sınırlarına ve mineral çatlakları gibi mikro süreksizliklere bağlıdır. Bazı araştırmacılara göre çok az kimyasal değişikliğe yol açarak oluşan mekanik parçalanmalar da fiziksel parçalanma olarak adlandırılabilir. (Johnson and Degraff 1988).

2.5.2. Kimyasal Ayrışmalar

Çoğunlukla atmosferik etkiler sonucunda taşın kimyasal yapısında meydana gelen değişimlerdir. Çevresel ve atmosfer etkileriyle doğal taşların ayrışmasına neden olan en önemli etken su ve suyun bileşiminde taşıdığı tuz gibi maddelerdir. Özellikle atmosfere karışan baca ve egzoz gazlarındaki kimyasal maddeler, yağmur suyu içinde çözünerek, yağmur suyu ile doğal taşın yüzeyine ulaşarak taşı etkilemektedir. Taşın bünyesinde herhangi bir nem bulunması halinde bu etki hızlanmaktadır (Özgünler ve Gürdal 2008, Dal ve Umaroğulları 2014).

Kimyasal ayrışma, kayaçlarda minerallerin uzaklaşması, değişime uğrayarak yeni minerallerin oluşması sonucu minerallerin iç yapısının değişimine neden olan karmaşık süreçler topluluğudur. Minerallerin kimyasal ayrışma özellikleri her mineral için değişik oranlardadır. Kimyasal ayrışma, hava ve su gibi yeryüzü faktörlerinin neden olduğu ayrışma ve suların ve plütonik gazların sebep olduğu alterasyonlar olmak üzere iki değişik şekilde görülebilmektedir. Bu farklılık, her ayrışma veya alterasyon işleminin sonucunda malzemelerin farklı dağılım, boyutluluk ve özellikler göstermelerinden kaynaklanmaktadır. Kayaların ayrışma etkisi en fazla yeryüzünden 100 metre derinliğe kadar gözlenebiliyorsa da alterasyon etkisine herhangi bir derinlikte rastlanabilir (Richards 1972).

2.5.3. Biyolojik Ayrışmalar

Yapı taşlarının ayrışmasında özellikle fiziksel ve kimyasal ayrışmadan ziyade biyolojik ayrışmanın önemi çok azdır. Likenler sıklıkla taşa kabuk ve çukurlar oluştururken bakteriler- mantarlar pul pul dökülmelere, hayvanlar-böcekler-kuşlar tipik şekilli

delikler, paslanmaya ve çatlaklara neden olurlar (Dolar ve Yılmaz 2014). Taşın biyolojik ayrışması, organizmanın büyümesi ve iç yüzeylere ilerlemesi ile meydana gelen basınca bağlı olarak gelişebilir. Özellikle gelişmiş bitkilerin taşta nüfus ederek köklerinin, çatlaklarda büyümesi taş yüzeyde fiziksel zarara yol açabilir. Nemli ve kuru mevsimin birbirini takip etmesi süresinde de parça kopmaları ve ufalanmalar meydana gelebilir. Böylece taş yüzeyi, daha ileriki kolonizasyon ve biyolojik büyümeye yatkın hale gelir. Bazı durumlarda organizma taş yüzeyini beslenme alanı olarak seçerek taşta zarar verebilir ve kimyasal reaksiyon oluşur (Dal ve Öcal 2013).

2.5.4 Ayrışmanın Hızına ve Derecesine Etki Eden Faktörler

Ayrışma oranı çevresel koşullara göre değişiklik göstermektedir. Kurak iklim hem ayrışma oranı hem de ayrışma niceliği bakımından yağışlı, tropik bölgelere göre çok daha az etkili olmaktadır. Örneğin, nemli ve sıcak iklimin hakim olduğu bölgelerde veya mevsimlerde ayrışmaya neden olan kimyasal tepkimelerin hızları artar. Kimyasal ayrışma oranı çevresel koşulların yanı sıra mineral bileşimi ile de yakından ilgilidir. Bunun aksine soğuk bölgelerde daha az kimyasal ayrışma oluşmasına rağmen donma kuvveti ve buz hareketleri mekanik parçalanmayı artırır. Çok sıcak ve kuru bölgelerde kimyasal ayrışma pek görülmez; bu bölgelerde fiziksel parçalanma başlıca ayrışma nedenidir (Ünver ve Ünal 1995, Dal ve Öcal 2013).

Ayrışmanın hızı ve niteliği; genellikle iklim, taş cinsi, özelliklerine ve zamana bağlıdır. Bu etkenler az veya çok oranda ayrışmaya katkı sağlamaktadır ancak ayrışmanın niteliğini doğrudan etkileyen en önemli unsur iklim süreçleridir. Kimyasal ayrışmada en önemli etken su ve içerdiği kimyasal bileşiklerdir. Taş cinsi ise mineralojik (mineral bileşim), kimyasal, fiziksel (gözeneklilik, yoğunluk, çatlak sistemi) ve mekanik özellikleri ile ayrışma hızı ve derecesinde etkili olmaktadır.

2.6. Kayaçların Ayrışma Özellikleri

Değişik minerallerin bir araya gelmesi sonuca oluşan kayaçların ayrışmadan etkilenme oranları mineral bileşimlerinin toplamı ayrışma özelliklerinden çok daha karmaşıktır. Kayaçlarda oluşan ayrışma, içerdikleri mineral çeşitleri ve özellikleri ile birlikte,

kayacın gözeneklilik ve geçirgenliğine de önemli ölçüde bağlıdır. Örneğin, bazı sedimanter kayaçlarda gözenekler çok fazla olduğu için bütün taneler ayrışmadan etkilenirler. Diğer taraftan, bazı masif magmatik ve volkanik kayaçlarda taneler arası boşluk az olduğundan ayrışma sadece kayaç yüzeyi ve çatlak ve eklem düzlemleri boyunca meydana gelir (Ünver ve Ünal 1995).

2.6.1. Kayaçların Ayrışmasının Belirlenmesi

Ayrışma, belirli bir süre içerisinde oluşan bozulma miktarının ölçümü olarak tanımlanabilir. Örneğin bir yeraltı açıklığını çevreleyen kaya kütlesi zamanla kaya kütlesi dayanımının azalması sonucu ayrışmaya uğrar. Söz konusu ayrışma derecesi ve oranının doğru olarak belirlenmesi, yapılan kazı ve tahkimat tasarımının geçerliliği açısından son derece önemlidir (Ünver ve Ünal 1995).

Ayrışma veya ayrışmaya karşı direnç oranlarının belirlenmesi amacıyla çalışmalar ve deneyler yapılmış olmasına rağmen pek tatmin edici sonuçlar elde edilememiştir. Çünkü doğada ayrışma üzerine etki eden bütün faktörlerin modellenemediği bir deney yöntemi henüz bulunamamıştır (Beavis 1985).

Ayrışma derecesinin belirlenebilmesi amacıyla ilk olarak donma-çözülme deneyi kullanılmıştır (Bell 1983). Daha sonra kayaların nemlilik ve kurumaya karşı direncini ölçmeye yarayan bir deney olan suda dağılmaya karşı dayanıklılık (slake durability) deneyi önerilmiştir (Franklin and Chandra 1972). Ancak, bu deney de ayrışmayı tek başına karakterize edecek özellikte bulunmamış sadece kaya bozunabilirlik sınıflandırmasında yararlı olabileceği belirtilmiştir. Suda dağılmaya karşı dayanıklılık testi sadece mekanik parçalanma (izciliklerinin belirlenmesine yönelik olup) diğer ayrışma özellikleri konusunda bir belirleyiciliği bulunmamaktadır (Bell 1983, Beavis 1985).

Franklin and Chandra (1972) suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi, ayrışma oranı ve şev açısı arasında bir bağlantı kurulması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Olivier (1979) tek eksenli basma dayanımı ve şişme katsayısı parametrelerine dayanarak kayaçların duraylılığına yönelik çalışmalar yapmıştır. Taşların bünyelerinde, ana

mineral haricinde bulunan bazı kil ve/veya yumuşak kum katmanlar, taşların genel sağlamlığını bozabilmektedir. Bu katmanlar veya yataklar, yukarıda belirtilen doğal olaylar sonucu taş yüzeyinde dökülmeler veya çukurlaşmalar oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle kireç taşlarında bu etki çok daha fazla hissedilebilmektedir. Asitli yağmur suları ile yumuşayan bu farklı katmanlar, çukurlaşmalara veya dökülmelere neden olmaktadır. Atmosferdeki ve çevredeki toz partiküllerin yağmur suyu ile taş yüzeyine yapışması ve kılcal su emme ile içlere nüfuz etmesi, özellikle kum taşlarının ve kireç taşlarının yüzeylerinin siyah bir tabaka ile kaplanmasına neden olmaktadır.

2.7 Tarihi Yapılarda Kullanılan Doğal Taşlardaki Ayrışmalara Suyun Etkisi

2.7.1 Kılcal Su Emmenin Etkisi

Kılcal su emme miktarı; malzemenin suya değen yüzünden zamanla emilen su miktarı ile belirlenir. Bir yapıda veya yüzey kaplamada kullanılan gözenekli doğal bir yapı taşı, yağmur veya yüzey suları ile temas ettiğinde, kılcal su emme etkisiyle suyu bünyesine alma eğilimini gösterir. Kılcal su emme etkisi, gözenekli bir yapı elemanının sıvı suya doymasıyla birlikte, suyun kılcallık etkisi ile dikey olarak yapı elemanı içinde yükselmesi ve yapı elemanının yüzeyinden buharlaşması olayıdır (Ertaş 2001). Kayaçların bu özelliği, yapı taşlarında meydana gelen fiziksel ayrışmanın en önemli nedenlerinden biridir. Bunu önlemek için taş yüzeylerine koruyucu (su itici) maddeler sürülür.

Yapıların duvarında veya kaplamasında kullanılan gözenekli bir yapı taşı, yağmur veya yeraltı suları ile temas edince suyu absorbe eder. Bu emme işlemi kılcal su emme yoluyla gerçekteşir. Kılcal su emme, genellikle 1 mm ye kadar çapa sahip olan gözeneklerde oluşan kılcal emme kuvveti ile ilgili kendiliğinden oluşan bir işlemdir. Gözenek yüzeylerindeki su, karakteristik bir ıslatma açısı sergiler ve sonuçta suyun gözenek sistemine girme eğilimi, kılcal damar veya kılcal emilim olarak adlandırılır. Kılcal su emiliminin mekanizması esas olarak gözenek boyutuna ve gözenek sisteminin geometrisine bağlıdır (Siegesmund and Dürrast 2011).

Kapiler su emme, doğal taşların en önemli fiziksel özelliklerinden birisidir. Yüksek gözeneklilik ve kapiler su emmeye bağlı olarak emilen sular, birçok doğal taş için fiziksel ve mekanik özelliklerde olumsuz etki yapmaktadır. Kapilarite etkisiyle emilen sular, soğuk iklimlerde donarak buza dönüşür. Buz kristallerinin büyümesi ve artan hacmi nedeniyle boşluklarda basınç oluşturarak taşın dayanımını önemli ölçüde azaltır. Bu durum, suyla beraber doğal taşların içine giren tuzların kristallenmesi için de geçerlidir (Tomašić *et al.* 2011).

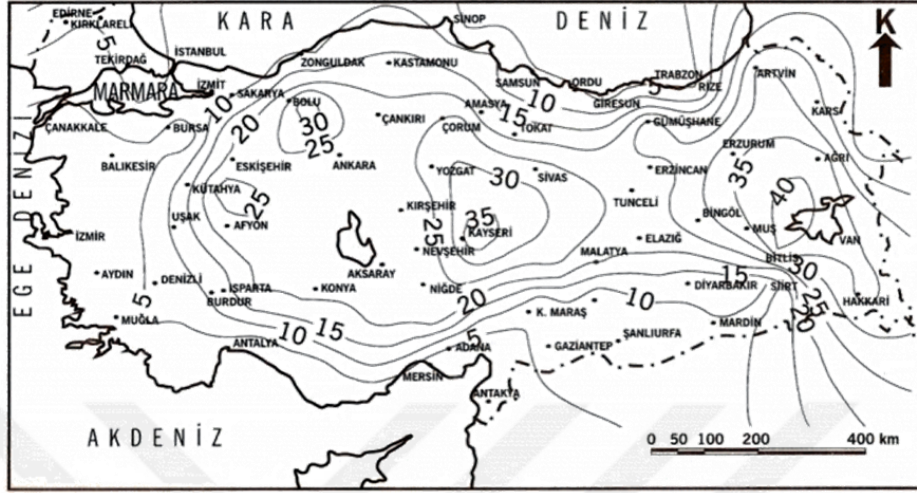
Kılcal su emme katsayısı, bir taşın kılcal gözenek ve çatlaklar yoluyla su emme kinetiği hakkında fikir verir. Diğer bir deyişle taşın, suyla temas ettiğinde ne kadar hızlı bir şekilde su Emilimi gösterebileceğini ifade etmektedir. Kılcal su emme katsayısı, Washburn denklemine göre, suyla temas eden belirli bir yüzey için su alımı zamanın kareköküyle doğru orantılıdır (Mertz 1991).

2.7.2 Donma-çözülme Olaylarının Etkisi

Farklı iklimsel koşullar altında kayaların mühendislik davranışları da farklılıklar gösterebilir. Özellikle yaz ve kış mevsimleri arasındaki sıcaklık farkı yüksek olan bölgelerde kullanılan malzemelerde, malzemenin boşluk ve çatlaklarında donan ve çözülen sular malzemelerin boyutlarında kayıplara neden olmaktadır. Taş dolgu olarak kullanılacak malzemelerde de malzemenin su içerisindeki kısmı ile dışında kalan kısımları arasında sıcaklıklardan doğacak farklılıklar kayaçta bir malzeme kaybına neden olabilir. Mevsimsel değişimlerin kayaçlar üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla farklı yöntemlerle donma ve çözülme kaybı deneyleri yapılmaktadır. Türkiye için hazırlanmış donma-çözülme döngü sayısı haritası Şekil 2.5’de verilmiştir. İç ve Doğu Anadolu bölgelerinde yılda ortalama 20 ile 40 arasında donma-çözülme döngüsü meydana gelmektedir (Binal vd. 1997).

Donma özelliği, kayaçları çok fazla yıpratıcı bir dış faktördür. Donan su, hacmi yaklaşık olarak %9 arttırır. Kayacın gözeneklerine önceden giren su, donma ısısına ulaştığında hacmini arttırarak donar. Böylece kayaçta içten bir basınç oluşur ve parçalanma başlar (Chen *et al.* 2004). Özellikle -20 °C ile +20 °C arasındaki ısı değişimleri kayaçların fiziksel özelliklerine bağlı olarak ayrışmalara neden olabilir. Soğuk bölgelerde özellikle

dış mekânlarda kullanılacak doğal yapı taşlarının don etkisine dayanıklı olmaları istenmektedir.



Şekil 2.5 Türkiye için hazırlanmış eş donma-çözülme döngü sayısı kontur haritası (Binal vd. 1997).

2.7.3 Tuz Kristallenmesinin Etkisi

Suda çözünebilen tuzlar, su ile taşınarak taşın gözenek ve çatlaklarına ulaşmakta, suyun buharlaşması sonucu tuz kristalleri, taşın yüzeyi ve kılcal çatlaklarda birikmektedir. Tuzların oluşumu esnasında bünyesine su alarak kristal suyunu bağlaması ve molekül hacminin artması sonucu, taşın yüzeyinde oluşan bu kristalizasyona çiçeklenme adı verilmektedir. Tuz birikimleri nedeniyle tarihi yapı taşları olumsuz yönde etkilenmektedir (Küçükkaya 2004). Taş duvarın gözenekleri içinde oluşan kristalizasyon ise “alt çiçeklenme” olarak adlandırılmaktadır (Gürdal 2000). Tarihi yapı taşlarının ayrışmasında etkili olan tuzların kristalizasyonuna engel olmak veya taşın bünyesinde biriken tuzları uygun yöntemler kullanılarak uzaklaştırmak önem arz etmektedir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

Bu tez çalışmasında kullanılan tuf örnekleri Afyonkarahisar- Döğer bölgesinden alınmıştır (Resim 3.1). Döğer tufu Afyonkarahisar ve çevresinde inşaat sektöründe yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Şehir merkezinde yer alan birçok tarihi bina ve yapılarda da kullanılmış olduğu görülmektedir (Resim 3.2).



Resim 3.1 Deney örneklerinin alındığı tuf ocağı genel görünümü.



Resim 3.2. Afyonkarahisar Mevlevi Camii restorasyon sonrası görünümü.

3.1.1 Kullanılan Malzemeler

Tuz kristallenme deneylerinde sodyum sülfat çözeltisi için Merck marka sodyum sülfat dekahidrat tuzu ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve sodyum klorür (NaCl) (kaya tuzu) kullanılmıştır (Resim 3.3). Su itici kimyasal madde olarak Teknosil marka şeffaf, siloksan esaslı, solvent bazlı ticari kimyasal madde kullanılmıştır (Resim 3.4). Kimyasal madde, örneklerin tüm yüzeyine fırça ile sürülmüştür. Örnekler, polimerizasyon işlemini tamamlaması için 72 saat beklendikten sonra kullanılmıştır.



Resim 3.3 Deneylerde kullanılan sodyum sülfat dekahidrat ve sodyum klorür.



Resim 3.4. Deneylerde kullanılan yüzey koruyucu kimyasal madde.

3.1.2 Kullanılan Araç ve Gereçler

Deney örneklerinin kurutulması için Nüve Ove KD200 marka etüv kullanılmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.5 Nüve Ove KD200 marka etüv.

Su emdirme ve kapiler su emme deneyleri için plastik leğenler kullanılmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.6 Leğende kapiler su emme deneyi.

Örneklerin tartım işlemleri için Densi Ufo Arşimet terazisi kullanılmıştır (Resim 3.7).



Resim 3.7 Densi Ufo Arşimet terazisi.

Donma- çözünme deneyi için Arçelik 2510D marka derin dondurucu kullanılmıştır (Resim 3.8).



Resim 3.8 Deneylerde kullanılan derin dondurucunun görünümü.

Tek eksenli basınç dayanımı ölçümleri için Testcenter marka cihaz kullanılmıştır (Resim 3.9).



Resim 3.9 Testcenter marka tek eksenli basınç dayanım cihazı.

Örneklerin ses yayılma hızı ölçümleri Proceq Pundit Lab ultrasonik test cihazı kullanılarak yapılmıştır (Resim 3.10).



Resim 3.10 Proceq Pundit Lab ultrasonik test cihazı.

3.2 Metot

Araziden alınan Döğer tüfü fiziko- mekanik, kimyasal, mineralojik- petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler için gerekli örnek boyutlarına göre

hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerin tez çalışması kapsamında laboratuvar çalışmaları 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan Döğer tüflerinin malzeme karakterizasyonu için ilk aşamada örneklere kimyasal, mineralojik-petrografik (polarizan mikroskop, XRD ve SEM) test ve analizlerin yanı sıra ikinci aşamada fiziko-mekanik testler uygulanmıştır. Üçüncü aşamada ise normal ve koruyucu kimyasal madde sürülmüş tuf örneklerinde yaşlandırma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Örneklerin Hazırlanması

Döğer tüfü araziden molozlar halinde getirilmiştir. Getirilen örnekler Ali Çetinkaya Kampüsü Afyon Meslek Yüksek Okulu mermer atölyesinde küp şeklinde örnekler olarak hazırlanmıştır. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan deney standartlarına uygun ebatlarda hazırlanan küp örneklerin boyutları 50x50x50 mm'dir. Kimyasal özelliklerin belirlenmesi için ise örnekler kırma-öğütme devrelerinde 0.063 mm altına indirilmiştir. Deneylerde kullanılan örneklerin genel görünüşü Resim 3.11 ve 3.12' de verilmiştir.



Resim 3.11 Deneylere uygun ebatlanmış kübik örnekler.



Resim 3.12 Deneylerde kullanılan örneklerin görünümü.

3.2.2 Kimyasal Analiz

Tüflerin kimyasal içeriklerinin belirlenmesinde XRF yöntemi kullanılmıştır. Bunun için, $-75\ \mu\text{m}$ 'ye öğütülen tüf örneklerinden 100 gr temsili örnekler alınmış ve Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus II marka XRF (Resim 3.13) cihazında yapılmıştır.



Resim 3.13 Doğer tüfünün kimyasal bileşiminin belirlenmesinde kullanılan XRF cihazının görünümü.

3.2.3 Mineralojik ve Petrografik Analizler

3.2.3.1 Polarizan Mikroskop ile Mineralojik ve Petrografik Özelliklerin İncelenmesi

Döğer tufünün dokusunu ayrıntılı olarak incelemek için ince kesitler hazırlanmıştır. Tuf örneklerinden alınan parça, ince kesit makinesinin dönen diski üzerinde zımpara tozu ile düzeltilir. Örneğin düzlenen yüzü, üzerinde zımpara tozu bulunan bir cam üzerinde sürtülüp cilalandıktan sonra, lama yapıştırılır. Yapıştırma işlemi sırasında hava kabarcıklarının kalmamasına dikkat edilmelidir. Örneğin diğer yüzü aynı şekilde kesitin kalınlığı 0.02-0.03 mm oluncaya kadar inceltir. İncelmenin yeterli olup olmadığı mikroskopla kontrol edilir. Örneğin yeteri kadar incelmediği anlaşıldığında üzeri lamelle örtülür. İncelemeler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Nikon Eclipse 2V100POL polarizan mikroskop yardımıyla yapılmıştır (Resim 3.14). İnce kesit incelemeleri ile tufu teşkil eden minerallerin cinsleri, renkleri, birbirlerine göre durumları, kristal şekli, bağlayıcı cinsi, tane büyüklükleri, doku, gözeneklilik, boşluk, yarık, kılcal çatlak, damar, bozuşma, tercihten ayırma yönü, en zor ayrılma yönü ile dolgu kısımları tespit edilmiştir.



Resim 3.14 Döğer tufünün mineralojik ve petrografik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan Polarizan mikroskop cihazının görünümü.

3.2.3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Mineralojik Özelliklerin İncelenmesi

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, bu elektron demetinin örnek yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve örnek atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir (İnt. Kyn. 2).

Döğer tüfü bileşimindeki minerallerin morfolojik özellikleri, kristal yapıları ve birbirleri ile olan ilişkilerini araştırmak amacıyla Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) analizleri yapılmıştır. Bu SEM analizlerinin yapılabilmesi için yaklaşık 1 cm boyutunda tüf örnekleri kırılarak Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) önce karbonla kaplanmış daha sonra LEO 1430 VP model SEM cihazı ile incelenmiştir (Resim 3.15). Tüf örneklerinin SEM görüntüleri ile gözenek boyutları ve tüfü oluşturan mineraller incelenmiştir.



Resim 3.15 Döğer tüfünün mikro özelliklerin belirlenmesinde kullanılan SEM cihazının görünümü.

3.2.3.3 XRD ile Mineralojik Analiz

XRD analizleri Shimadzu marka XRD-6000 model cihazda gerçekleştirilmiştir (Resim 3.16). Bu cihaz bakır X ışını tüpüne sahip olup analizlerde 1.544 Å dalga boyuna sahip Cu-K X-ışınları kullanılmaktadır. Maksimum 60 KV ve 50 mA'de çalıştırılmaktadır. Toz ve düzgün yüzeyli katı örneklerin kalitatif mineralojik veya faz analizleri ve kristal yapı tanımlanması yapılmaktadır. Kalitatif analizler ICDD kartları ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilmektedir.



Resim 3.16 Döğer tüfünün mineral bileşiminin belirlenmesinde kullanılan XRD cihazının görünümü.

3.2.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

İkinci aşamada Döğer tüflerinin yoğunluk, su emme, gözenek, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve kılcal etkiye bağlı su emme gibi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla TS EN standartlarına göre laboratuvarında fiziksel ve mekanik test/deneyler yapılmıştır (Çizelge 3.1). Deneylerde 10'ar adet tüf örnekleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Fiziko mekanik testlerde kullanılan örnekler ve ilgili standartlar.

Testler	Boyut (mm)	İlgili standart
Gözenek (%)	50x50x50	TS EN 1936
Birim hacim ağırlık (kg/m^3)	50x50x50	TS EN 1936
Özgül ağırlık deneyi	50x50x50	TS EN 1936
Ağırlıkça su emme (%)	50x50x50	TS EN 13755
Ultrases geçiş hızı (km/s)	30x50x50	TS EN 14579
Kılcal su emme ($\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$)	50x50x50	TS EN 1925
Basınç dayanımı (Mpa)	50x50x50	TS EN 1926
Don tesirlerine dayanıklılık	50x50x50	TS EN 12371
Tuz kristallenmesine direnç	50x50x50	TS EN 12370

3.2.4.1 Gözenek Boyut Dağılımı

Döğer tüfü örneklerinin gözenek boyut dağılımları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) cıvalı porozimetre Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazında belirlenmiştir. Deney şartları 480.00 erg/cm^2 vakum altında 140°C kontak açısı şeklindedir (Resim 3.17). Cıva porozimetre analiz tekniği, sıkı kontrollü basınç altında gözenekli bir yapıya cıva girmesine dayanır. Hız, doğruluk ve geniş bir ölçüm aralığı sunmaktadır.



Resim 3.17 Döğer tüfünün gözenek boyut dağılımı özelliklerin belirlenmesinde kullanılan cıvalı porozimetre cihazı.

3.2.4.2 Birim Hacim Ağırlık Deneyi (Görünür Yoğunluk)

Birim hacim ağırlık, örneğin bir biriminin ağırlığı olarak tanımlanabilir. Tüf ve benzeri gözenekli malzemeler için de gözenekliliğin bir ölçüsüdür. Malzeme ne kadar gözenekli ise birim hacim ağırlığı o kadar düşüktür. Yapı malzemesi olarak kullanılacak doğal

taşların fazla gözenekli olması istenmez. Çünkü gözeneklilik arttıkça dayanım düşmektedir. Doğal taşların birim hacim ağırlık değerleri TS EN 1936'a göre belirlenmektedir. Örneklerin hazırlanması ve deneyin yapılışı aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

- 50x50x50 mm boyutunda 5 adet örnek, sıcaklığı $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmış etüve yerleştirilerek sabit tartıma gelinceye kadar kurutulur. Bunun için 24 saat ara ile birbirini izleyen iki tartım arasındaki fark son tartımın %0.1'i kadar veya daha az oluncaya kadar tartıma devam edilir (M_k).
- Kuru örnekler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra boyutları kumpas kullanılarak ölçülür. Bu boyutlardan yararlanarak, delik ve boşlukları ile birlikte tüfün hacmi cm^3 cinsinden hesaplanır (V_h).
- Örneğin birim hacim ağırlığı, (D_h) denklem 3.1 ile belirlenir.

$$Dh = \frac{Mk}{Vh} \quad (3.1)$$

3.2.4.3 Özgül Ağırlık Deneyi (Gerçek Yoğunluk)

Döğer tüfünün özgül ağırlığının (gerçek yoğunluklarının) hassas olarak belirlenmesi için örnekler önce $-100\text{ }\mu\text{m}$ tane boyutunda öğütülmüş, sonra kurutma işlemi uygulanarak Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğaltaş Analiz Laboratuvarı'nda bulunan Quantachrome Ultrapycnometer 1000 marka helyum piknometresi ile özgül ağırlıkları belirlenmiştir (Resim 3.18).



Resim 3.18 Helyum piknometresi.

3.2.4.4 Ağırlıkça Su Emme Deneyi

Doğal taşlarda su emme oranı malzemenin gözenekliliği ile ilgili bir parametredir. Bu çalışmada su emme oranları TS EN 13755 standardına göre belirlenmiştir.

Örneklerinin hazırlanması ve deneyin yapılışı aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

- 50x50x50 mm boyutlarda 10 adet tuf örneği 70 ± 5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulur.
- Hazırlanan tuf örnekleri bir tel fırça ile fırçalanıp yıkanarak temizlendikten sonra 0.01 gr hassasiyetle tartılır (G_k).
- Örnekler su kabı içerisinde önceden hazırlanmış destekler üzerine yerleştirilir.
- Sonra, örneklerin yüksekliğinin yarısına kadar 20 ± 10 °C sıcaklıkta su ilave edilir. 1 saat sonra örneklerin yüksekliğinin $\frac{3}{4}$ 'ü su içerisinde kalacak şekilde su ile doldurulur.
- Bu işlem 2 saat sonra örnekler 25 mm derinlikte kalacak şekilde su ilave edilerek 48 saat beklenir.
- Deneyin başlangıcından itibaren 48 saat sonunda sudan çıkarılan deney örnekleri, üzerindeki su damlaları silinerek hemen tartılır. Deney örnekleri tekrar su içine daldırılır.

- Bu tartma işlemi, 24 saat aralıklarla örnekler sabit tartıma gelinceye kadar tekrarlanır (G_d).
- Desikatör içerisinde soğutulduktan sonra 0.1 gr hassasiyet ile tartılarak örneklerin kuru kütleleri bulunur. Deney sonunda denklem 3.2' de verilen formüller kullanılarak ağırlıkça su emme oranları belirlenir.

Tüfün kütlece su emme oranı;

$$Sk = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (3.2)$$

Sk = Tüfün kütlece su emme oranı (%),

G_d = Tüfün doymuş haldeki kütlesi (g),

G_k = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş tüfün kütlesi (g),

3.2.4.5 Ultra Ses Geçiş Hızı Deneyi

Tüflerin ultra ses geçiş hızı ölçümleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Doğaltaş Araştırma Laboratuvarında bulunan Ultrasonik test cihazı (P-dalgası) ile yapılmıştır (Resim 3.19). Bu test için 50x50x50 mm boyutlarında 10 adet örnek kullanılmıştır. Deneyin yapılışı kısaca aşağıdaki şekilde gibidir:

- Örneklerin iki yüzeyi arasındaki mesafe kumpas yardımıyla ölçülür.
- Ölçüm yapılacak yüzeylerin gres yağı ile pürüzsüz olması sağlanır.
- Propların arasına örnek yerleştirilerek aynı hizaya getirilir ve küçük bir baskı kuvveti uygulanır.
- Cihazdaki değer kaydedilir ve ultra ses geçiş hızı değerleri formül 3.3 yardımıyla hesaplanır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.3)$$

Burada;

V: Ultra ses geçiş hızı (m/sn),

L: Yüzeyler arası mesafe (cm),

t: Dalganın örnekten geçiş süresi (sn).



Resim 3.19 Proceq Pundit Lab ultrasonik test cihazı.

3.2.4.6 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı, belli boyutlardaki tüflerin belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dayanıklılıktır. Basınç dayanımı, MPa olarak ifade edilir. Gevrek malzemede yapılan deneyde, örnek kesit alanında ve boyunda değişme olmadan kırılma meydana gelir.

Basınç dayanımı testleri TS EN 1926 standardına göre yapılmıştır. Deneyin uygulanmasında hassas ölçümler yapabilen hidrolik presler kullanılmaktadır (Resim 3.20).



Resim 3.20 Tek eksenli basınç dayanımı cihazı.

Örnek hazırlama ve deney prosedürü aşağıdaki gibidir:

- Testler 50x50x50 mm ebatlarında küp örnekler üzerinde yapılmış ve her test için 10 adet örnek kullanarak ölçüm sonuçlarının ortalaması alınmıştır.
- Test öncesi örnek boyutları kumpasla ölçülmüştür. Örnek hidrolik pres tablaları arasına yerleştirilmiş ve yükün örnek üzerine homojen şekilde yayılmasını sağlamak amacıyla örneğin alt ve üst kısmına örnek ile aynı çapta olan çelik diskler (tercihen boyu çapının yarısı kadar olan) konulmuştur.
- Hidrolik preste örneğin üzerine konulduğu alt tabla hareketlidir ve yukarı doğru hareket eder. Hız kontrolü otomatik olarak gerçekleşmektedir. Yük takibi bilgisayardan yapılmıştır. Hidrolik pres tablaları arasında boşluk kalmayana kadar pres çalıştırılarak alt tabla yükselmiş ve örnek üzerine hız saniyede $1\pm 0,5$ MPa olacak şekilde düşey yük uygulanmıştır.
- Uygulanan yük doğrultusunda örnek sıkıştırıldığından veya yükün basınç olması nedeniyle ve ayrıca sadece düşey yük uygulandığından deney tek eksenli sıkışma (basınç) dayanımı deneyi olarak adlandırılmaktadır.

- Örnek yenildiği anda bilgisayardan yenilme yükü 1kN yaklaşımla kaydedilmiştir (Resim 3.21).
- Örneğin tek eksenli basınç dayanımı değeri (σ) yenilme yükünün (F) yük uygulanan örnek yüzey alanına (A) bölünmesiyle hesaplanır (Denklem 3.4).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.4)$$



Resim 3.21 Örneğin tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırıldığı andaki görüntüsü.

3.2.5 Yaşlandırma Deneyleri

Üçüncü aşamada ise bu çalışmanın esas konusu olan çevresel etkilere bağlı olarak oluşabilecek yaşlandırma (ayrışma) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yapılan deneyler şunlardır;

- Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının (kapilarite) tayini,
- Don tesirlerine dayanıklılık,
- Tuz kristallenmesine direncin tayini,

Aynı zamanda su itici kimyasal madde sürülen örneklerin yaşlandırma deneyleri yapılmış ve çevresel etkilere karşı koruma özellikleri incelenmiştir. (Resim 3.22) Bu

deneyler sonucunda tüflerin çeşitli çevresel etkenlere göre ayr  ma dereceleri belirlenmiştir.



Resim 3.22 örneklere su itici kimyasal uygulanması işlemi.

3.2.5.1 Kılcal Etkiye Ba lı Su Emme Katsayısının (Kapilarite) Tayini

Su emme etkisi, gözenekli bir yapı elemanının suya doymasıyla birlikte, suyun kılcallık etkisi ile dikey olarak yapı elemanı içinde yükselmesi ve yapı elemanının yüzeyinden buharlaşması olayıdır. Su emme etkisi ile oluşan nemin kaynağı genellikle üst tabakalarda birikmiş zemin suyu veya temelde bulunan sabit bir su kaynağıdır (Ert   2001).

Kılcal etkiye bağlı su emme deneyi TS EN 1925 standartlara göre (70 ± 5 mm) 10 örnek ile yapılmıştır. Bu deney için hazırlanan yüzey koruyucu kimyasal madde uygulanmamış ve uygulanmış örneklere tabanı 3.00 ± 1 mm derinliğinde su içine batırılmı tır. Su emmenin ölçülmesi sırasında farklı zaman aralıkları kullanılmıştır. 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 (8 saat), 1440 (24 saat) ve 2880 (48 saat) dakika olarak seçilmiştir. Her bir zaman aralığında örnekler sudan  kartılarak üzerindeki damlacıkların kuru bez kullanılarak yüzeyden uzaklaşması sağlanmıştır. Daha sonra her bir örnek 0.01 gr hassasiyetle tartılarak zaman aralığına bağlı olarak emdikleri su miktarları belirlenmiştir.

Aynı zaman aralıklarında normal suda ve yüzey koruyucu kimyasal madde uygulanmış örneklerde deneyler yapılmıştır. (Resim 3.23)



Resim 3.23 Kapiler su emme deneyi.

3.2.5.2 Don Tesirlerine Dayanıklılık Deneyi

Doğal taşların kullanılacağı bölgenin mevcut iklim koşullarına göre gece-gündüz, yaz-kış arasındaki sıcaklık farkı kayaçların dayanımları üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Yağışlı dönemlerde tüflerin yüksek gözenekliliğinden ötürü doygunluğu artmakta ve gece/gündüz yaşanan don olayları ile bünyesindeki su donarak kayaç yapısında mikro hatta makro büyüklükte çatlaklar oluşturmaktadır. Bu yüzden yapı malzemesi olarak kullanılacak tüflerin dona karşı dayanımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Donma-çözülme deneylerinde TS EN 12371 standardı kullanılmıştır.

Örnek hazırlama ve test prosedürü aşağıdaki gibidir:

- Bunun için hazırlanan 50x50x50 mm boyutundaki 20 adet örnek $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulur ve kuru ağırlıkları belirlenir.
- Örnekler birbirinden en az 15 mm uzaklıkta olacak şekilde boş kaba dik olarak yerleştirilirler. Sonra örnek yüksekliğinin yarısına kadar oda sıcaklığında su ilave edilir ve 1 saat beklenir. Daha sonra $\frac{3}{4}$ 'ü su altında kalıncaya kadar su

ilave edilir ve 2 saat daha beklenir. Son olarak örneğin tamamı su altında kalacak ve su-örnek arası 25 mm olacak şekilde su ilave edilerek 48 saat süreyle su içerisinde bırakılır. Daha sonra periyodik donma çözülme deneylerine geçilir.

- Örnekler -20°C sıcaklıktaki dondurucunun çeperine değmeyecek şekilde yerleştirilir ve birbirlerinden en az 10 mm uzaklıkta olmasına dikkat edilir (Resim 3.24).



Resim 3.24 Örneklerin donma dayanım deneyi için dondurucuya yerleştirilmesi.

Her bir döngü, havada 2 saatlik donma periyodu ve bunu takip eden örneklerin suya daldırılmış durumda bulunduğu 2 saatlik çözülme periyodundan ibarettir.

- Döngüler, 25 defa suda 25 defa dondurucuda bekletilerek tamamlanır.
- Donma-çözülme periyotlarının sonunda deney örnekleri $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde değişmez kütleye kadar kurutulup desikatörde soğutulduktan sonra 0,1 gr hassasiyetle tartılarak don kaybı aşağıdaki denklem 3.5 ile hesaplanır.

$$Dk = \frac{G_o - G_k}{G_o} \times 100 \quad (3.5)$$

D_k = Don kaybı (%)

G_0 = Tüfün deneyden önceki kütlesi (g)

G_k = Tüfün deneyden sonraki kütlesi (g)

Daha önceki deneylerde olduğu gibi don sonrası da tüflerin bulundukları ortamda suya maruz kalacakları düşünülerek örneklerin bir kısmı da don sonrası suya doygun hale getirildikten sonra tek eksenli basınç dayanım deneyleri yapılmıştır.

3.2.5.3 Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Deneyi

Tuz kristallenmesinin yapı taşları üzerindeki etkisini incelemek için deneysel yöntemler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, örnekler TS EN 1926 standartlarına uygun olarak hazırlanmış ve deneyler TS EN 12370 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Doğal taşların tuz kristallenmesine direncinin tayini için yapılan bu deneyler daha çok açık gözenekliliği %5'den daha büyük olan doğal taşlar için önerilmekle birlikte küçük çatlaklarda olan etkisi dikkate alınarak, gözenekliliği önerilenden daha küçük yapı taşları için de çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Ünal 2006).

Bu çalışma, belirlenmiş tuzların kristallenmesi sonucu oluşan hasara karşı bağıl direncin tayinine ilişkin bir deney yöntemini kapsamaktadır. Bunun için örnek, sabit kütleye ulaşıncaya kadar kurutulduktan sonra sodyum sülfat çözeltisine daldırılmış, tekrar kurutulmuş ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Bu işlem 5, 10, 15 kez tekrarlanmıştır. Deney döngüsü, aşamalarıyla birlikte aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir (Ünal 2006).

- Örnekler, ilk olarak $105 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklığındaki bir etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Sonra oda sıcaklığına soğumaya bırakılan örnekler, işaretlenerek 0.01 g hassasiyetle tartılmıştır.
- İşlem, %14'lük sodyum sülfat dekahidrat çözeltisi kullanmayı gerektirmektedir. Çözelti her beş deney periyodu sonrası değiştirilmiştir. Örnek

kabı, örneklerin üzerini 8 ± 2 mm.lik bir yükseklikte örtecek şekilde sodyum sülfat çözeltisiyle doldurulmuştur.

- Örnekler 4 saat süresince sodyum sülfat çözeltisi içerisine bırakılmıştır. Daha sonra örnekler en az 16 saat süreyle 60°C etüvde bırakılmış ve yeniden soğuk sodyum sülfat çözeltisine daldırılmadan önce 4 saat oda sıcaklığında soğutularak tartılmıştır. Dolayısıyla bir döngü tamamlanmıştır.
- Bu döngü işlemi, örneklerin dağılma parçalanma gibi durumları hariç belirlenen döngü sayısı kadar (1. seri için 5 döngü, 2. seri için 10 döngü, 3 seri için 15 döngü) tekrar edilmiştir. Bu döngüler tamamlandıktan sonra örnekler etüvden alınarak tartılmış ve $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki saf suda 24 ± 1 saat tutularak yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Örnekler tekrar kurutulup son olarak tartılmıştır. Bu yıkama işlemi tuf örneklerindeki bulunan tuzun atılmasına kadar devam etmiştir. Bu çalışmada yıkama işlemi üç aşamada tamamlanmıştır.
- Elde edilen bu veriler sonrası tuf örneklerinin yüzde bağıl ağırlık kayıpları (YBAK) değerleri hesaplanmıştır.

Tuf örneklerin yüzde bağıl ağırlık kaybını (YBAK) bulabilmek için aşağıdaki denklem (3.6) kullanılmıştır.

$$YBAK = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.6)$$

M_1 = Bozunma öncesi ağırlık

M_2 = Bozunma sonrası ağırlık

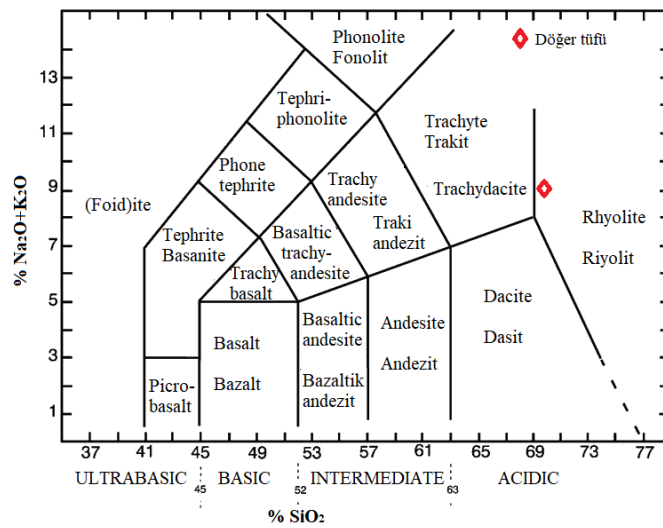
4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Kimyasal Analiz

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi Döğer tüflerinin en büyük bileşen %70.7 ile SiO_2 ’dir. Bu bileşeni %13.6 ile Al_2O_3 izler. %6.7 K_2O ve %2.2 Na_2O dışında diğer oksitlerin oranı ise oldukça düşük değerlidir. Volkanik kayaçların kökenini bulmak amacıyla kimyasal oksit bileşenleri kullanılmaktadır. Döğer kimyasal analiz sonuçları, Le Bas vd. (1992) tarafından önerilen toplam alkali ve silis diyagramına göre riyolitik bileşimli olduklarını göstermektedir (Şekil 4.1). Riyolitik magma SiO_2 oranı %66’dan fazla olan ve mafik minerallerce fakir olan bileşime sahiptir.

Çizelge 4.1 Döğer tüfünün kimyasal bileşimi.

Oksitler	(%)	Oksitler	(%)
F	0.137	Cr_2O_3	0.041
Na_2O	2.200	MnO	0.103
MgO	0.283	Fe_2O_3	1.530
Al_2O_3	13.600	ZnO	0.005
SiO_2	70.700	Rb_2O	0.063
P_2O_5	0.013	SrO	0.005
SO_3	0.046	ZrO_2	0.012
K_2O	6.700	Nb_2O_5	0.007
CaO	1.510	PbO	0.011
TiO_2	0.063	ThO_2	0.003
		A.Z.(LOI)	2.920



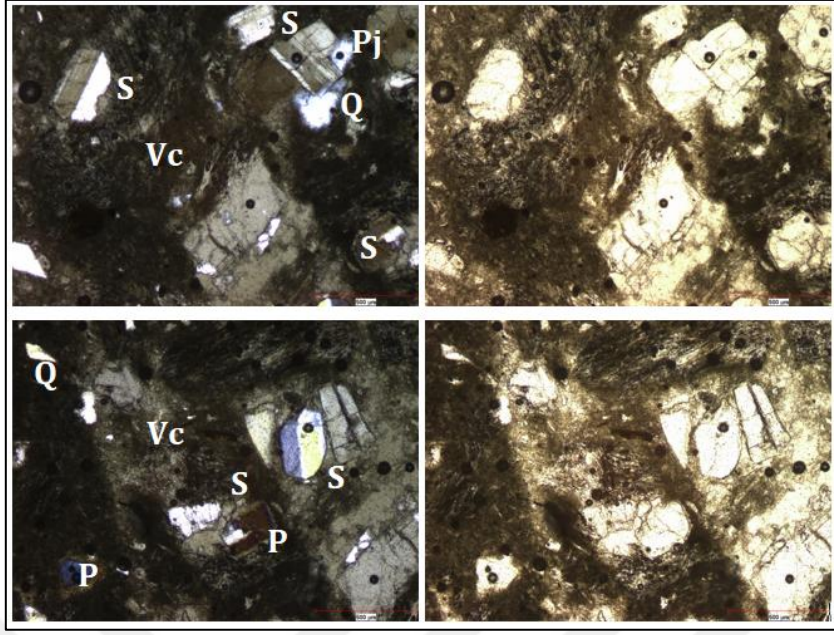
Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan Döğer tüfünün toplam alkali içeriğine karşı silis Le Bas vd. (1992) diyagramında sınıflandırılması.

4.2 Mineralojik ve Petrografik Analizler

4.2.1 Polarizan Mikroskop ile Mineralojik ve Petrografik Özelliklerin İncelenmesi

İncelenen tüflerin dokusunun belirlenmesi için hazırlanan ince kesitlerle polarizan mikroskopta incelemeler yapılmıştır. Tüflerden alınan ve özelliklerini temsil edilen parçalar, ince kesit makinesinde istenilen boyutlarda kesilir. Kesilen örneğin incelenecek olan yüzeyi, üzerinde zımpara tozu bulunan bir cam üzerinde sürtülüp testere izlerinin giderilmesi sağlanır. Bu işlemden sonra yapıştırıcı ile lama kaynatılmak suretiyle yapıştırılır. Yapıştırma esnasında hava kabarcıklarının kalmamasına dikkat edilir. Örneğin diğer yüzeyi de kesit kalınlığı 0.02-0.03 mm oluncaya kadar inceltir. İncelmenin yeterli olup olmadığı mikroskopla kontrol edilir. Daha sonra lam etüvde kurutulur ve muayene polarizan mikroskopla yapılır. Taşı teşkil eden minerallerin cinsleri, birbirine göre durumları, kristal şekli, varsa bağlayıcı cinsi, cam varlığı, tane büyüklükleri, gözeneklilik, kılcal çatlak, boşluk, doku, bozuşmalar tespit edilir.

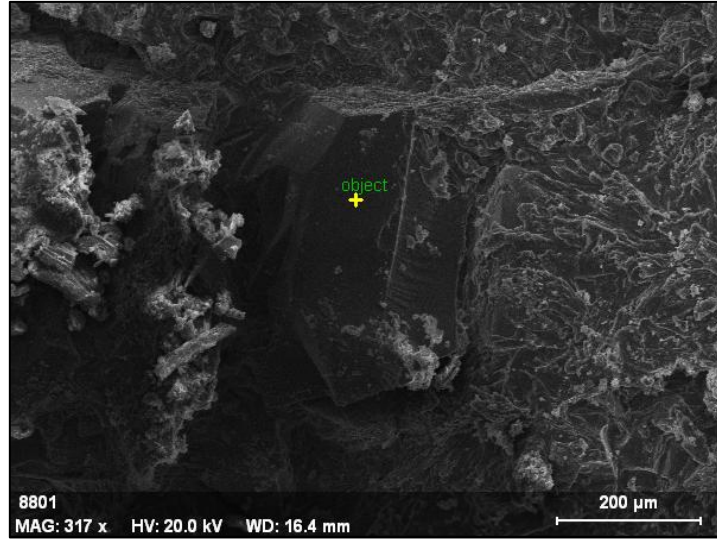
İnceleme alanından alınan tüf örnekleri üzerinde mikroskobik incelemeler yapılarak ince kesitlerden fotoğraflar çekilmiştir. Polarizan mikroskop ile Döğer tüflerinin ince kesitlerinden çekilen resimler Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu incelemeye göre, tüflerde matriksi sanidin, kuvars, plajiolklas ve bu minerallere ait mikro kristaller, volkanik kökenli olmayan kayaç parçaları ve camsı yapı oluşturmaktadır. Döğer tüflerinden gözlenen mineraller XRD analizleri ile de örtüşmektedir. Tüflerde fenokristal olarak bulunan sanidin ve plajiolklaslarda yer yer zonlanmalar görülmektedir.



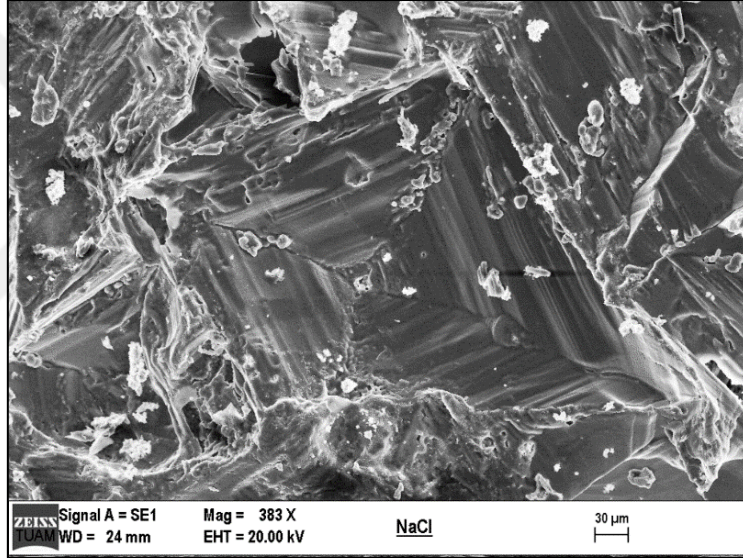
Şekil 4.2 Döğer tufünün ince kesit görünüşleri (a, c): Çift nikol, (b, d): Tek nikol. (S: sanidin, Pj: plagioklas, P: piroksen, Q: kuvars ve Vc: volkanik cam).

4.2.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Mineralojik Özelliklerin İncelenmesi

İnce kesit incelemelerinde mikro yapı ve kil mineralleri gözlenmediği için daha detaylı bilgi almak amacıyla SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizi yapılmaktadır. Döğer tüflerinin mineralojik özellikleri SEM ile de incelenmiştir. Yapılan mikro incelemelerde kuvars (Şekil 4.3), feldispat (Şekil 4.4) ve kil mineralleri gözlenmiştir. Bu da hem polarizan mikroskop hem de XRD analizleri ile uyumlu olduğunu göstermiştir.



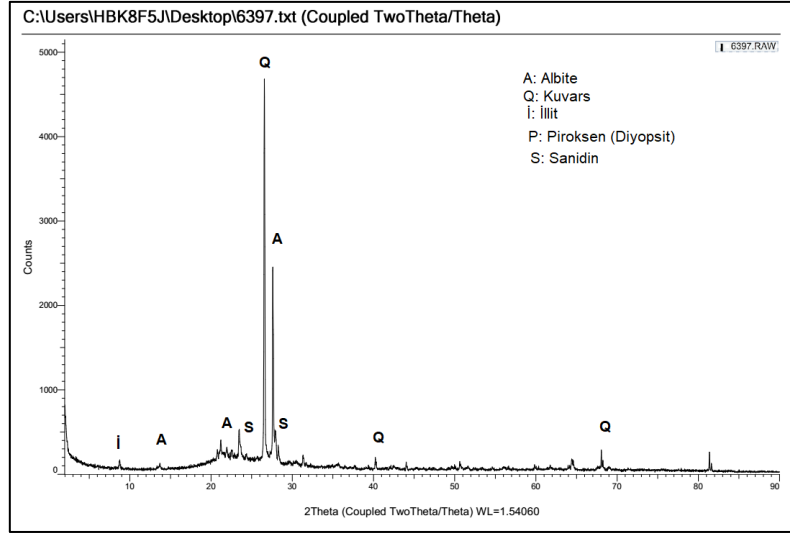
Şekil 4.3 Döğler tufünde gözlenen kuvars mineralinin görünümü.



Şekil 4.4 Döğler tufünde gözlenen zonlu feldspat (plajioklas) mineralinin görünümü.

4.2.3 XRD ile Mineralojik Analiz

Döğler tüflerinin XRD analiz sonuçları Şekil 4.5’de verilmiştir. XRD analizi sonucunda Döğler tufünün kuvars, feldspat (albit, sanidin), piroksen ve illit minerallerinden meydana geldiği tespit edilmiştir. İllit mineralinin varlığı bozuşmalar sonucunda feldspatların kile dönüştüğünü göstermektedir. XRD grafiğinde $2\theta=0^\circ$ itibaren zeminin yükselmesi amorf malzeme (volkanik cam) varlığını desteklemektedir.



Şekil 4.5 Döğer tüflerinin XRD analiz ile elde edilen mineral piklerinin görünümü.

4.3 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Yapı taşı olarak kullanılacak doğal taşların kullanım yerlerine göre belirli özellikleri taşıması gerekir. Gözenek, su emme ve yoğunluk gibi özellikleri mekanik dayanımları ile ilişkilidir. Düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekli kayalar genellikle daha dayanıksızdır. Çalışma kapsamında incelenen tüf örneklerinin, bazı fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4.3.1 Gözenek Boyut dağılımı

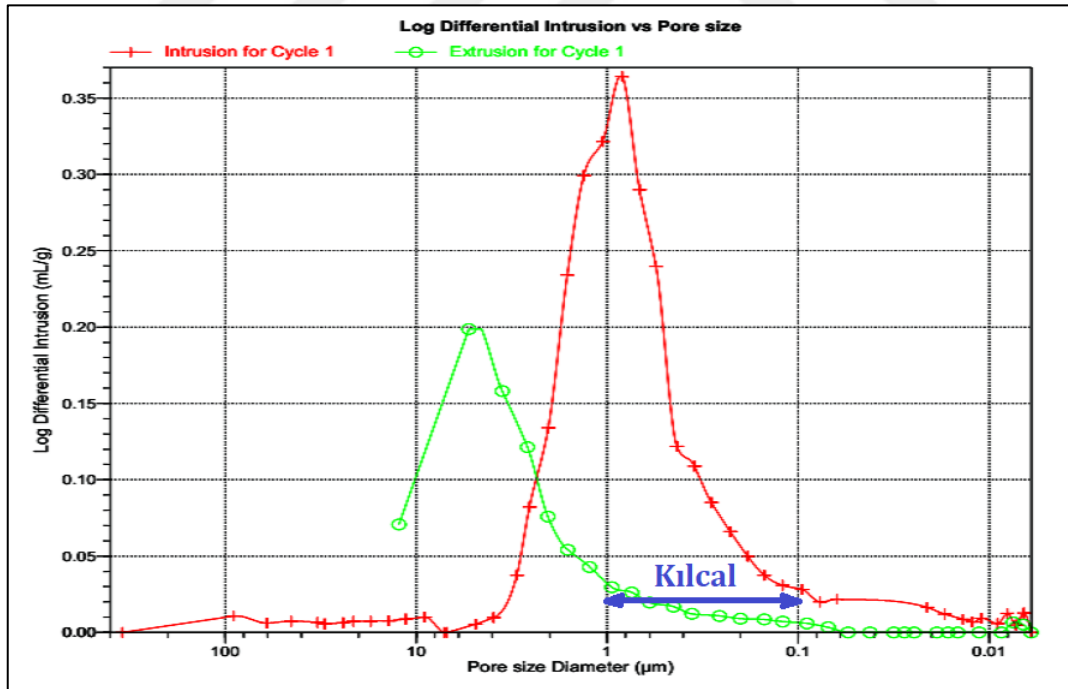
Kayaçlarda gözenek boyutlarına göre sınıflandırılması Klopfer (1985) tarafından yapılmıştır. Buna göre;

- 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.

Kılcal su emme, pratikte çapları 0.1 μm - 1 mm arasındaki gözeneklerle ilişkilidir. Diğer bir deyişle kayaların 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 ayrışmasında önemli bir özellik olan su emme miktarı gözeneklilik oranına bağlıdır. Gözenek oranları değişiklik gösterebildiği için gözenekliliğe bağlı boyut dağılımının da bilinmesi gerekmektedir. Döğer tüf örneklerinin gözenek çapı dağılımları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) civalı porozimetre Micromeritics AutoPore IV 9500 cihazında belirlenmiştir.

Döğer tüflerinin gözenek boyut dağılımını belirlemek amacıyla yapılan civalı porozimetre deneyi sonuçlarına göre; gözenek boyutu dağılımları Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekildeki gözenek boyut dağılım grafiğinde de görüldüğü gibi, Döğer tüflerinin içerdiği gözenek boyutları yaklaşık 0.01 μm boyutundan 100 μm boyutuna kadar tek tepeli (unimodal) bir dağılım sergilemektedir. Genel olarak gözenek boyutlarının 0.1 μm ile 8 μm boyutları arasında yoğunlaştığı gözlenmektedir. 0.1 μm ile 1 μm arasındaki gözenek boyutları özellikle kılcal su emme bakımından çok önemli olup söz konusu boyutlar grafik üzerinde işaretlenmiştir.



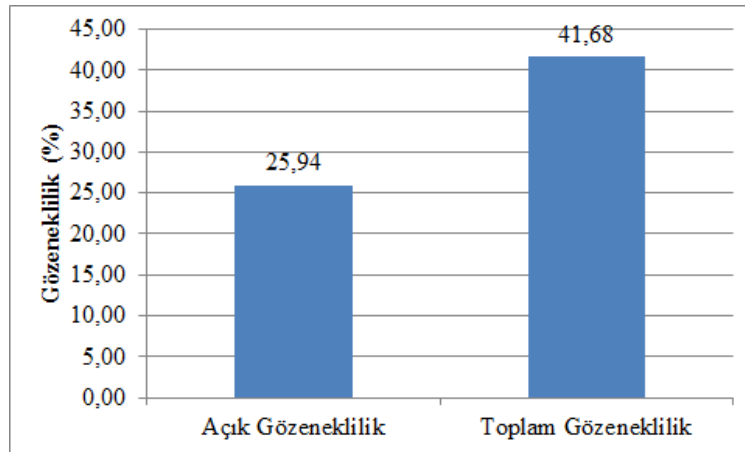
Şekil 4.6 Döğer tüflerinin gözenek boyut dağılımı.

4.3.2 Açık ve Toplam Gözeneklilik Deneyi

TS EN 1936'ya uygun olarak yüzey koruyucu uygulanmış ve yüzey koruyucu uygulanmamış örneklere yapılan açık gözeneklilik ve toplam gözeneklilik deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu verilere göre Döğer tufunun açık gözenekliliği %25.94 ve toplam gözenekliliği %41.68 olarak belirlenmiştir. Döğer tufu ortalama açık gözeneklilik grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Döğer tufunun açık ve toplam gözeneklilik değerleri.

Örnek Kodu	Kuru Ağırlık (m_d) (g)	Suya Doygun Kütle (m_s) (g)	Su İçindeki Kütle (m_h) (g)	Açık Gözeneklilik (P_o) (%)	Toplam Gözeneklilik (P) (%)
GK-1	192.98	225.62	97.12	25.28	41.55
GK-2	191.40	226.95	97.77	27.60	42.34
GK-3	193.05	223.91	95.90	24.08	41.31
GK-4	182.51	213.94	91.08	25.64	42.19
GK-5	190.42	227.50	97.16	28.50	43.14
GK-6	194.42	224.21	97.28	23.50	40.39
GK-7	176.69	208.92	89.03	26.95	42.64
GK-8	192.47	226.25	98.26	26.42	41.48
GK-9	191.33	224.30	97.38	26.01	41.33
GK-10	193.33	225.44	99.03	25.39	40.48
Ortalama	189.86	222.70	96.00	25.94	41.68



Şekil 4.7 Döğer tufu açık gözeneklilik değerleri.

4.3.3 Birim Hacim Ağırlık Deneyi (Görünür Yoğunluk)

TS EN 1936'ya göre yapılan birim hacim ağırlık deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.3'de verilmiştir. Döğer tufunun ortalama birim hacim ağırlığı 1498.41 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Doğal taşların yoğunluğu gözeneklilik oranına göre değişiklik

göstermektedir. Döğer tüflerinin de gözenekliliği yüksek olduğu için görünür yoğunluğu düşük çıkmıştır.

Çizelge 4.3 Döğer tüfünün görünür yoğunluk değerleri.

Örnek Kodu	Kuru Ağırlık (m_a) (g)	Suya Doygun Kütle (m_s) (g)	Su İçindeki Kütle (m_b) (g)	Görünür Yoğunluk (P_b) (kg/m^3)
GK-1	192.98	225.62	97.12	1501.79
GK-2	191.40	226.95	97.77	1481.65
GK-3	193.05	223.91	95.90	1508.09
GK-4	182.51	213.94	91.08	1485.51
GK-5	190.42	227.50	97.16	1460.95
GK-6	194.42	224.21	97.28	1531.71
GK-7	176.69	208.92	89.03	1473.77
GK-8	192.47	226.25	98.26	1503.79
GK-9	191.33	224.30	97.38	1507.49
GK-10	193.33	225.44	99.03	1529.39
Ortalama	189.86	222.70	96.00	1498.41

4.3.4 Özgül Ağırlık Deneyi (Gerçek Yoğunluk)

ASTM D-5550-06'ya uygun olarak yapılan özgül ağırlık deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.4'de verilmiştir. Bu verilere göre Döğer tüfünün ortalama özgül ağırlığı 2.57 g/cm^3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.4 Döğer tüfünün özgül kütle değerleri.

Döğer tüfü	Gerçek yoğunluk (gr/cm^3)
G1	2.59
G2	2.56
G3	2.56
G4	2.57
G5	2.57
Ortalama	2.57

4.3.5 Ağırlıkça Su Emme Deneyi

Döğer tüfünün ağırlıkça su emme değerleri TS EN 13755'e göre belirlenmiştir. Bulunan su emme değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Buna göre Döğer tüflerinin ağırlıkça su emme değeri %17.17 olarak bulunmuştur. Su emme değeri gözeneklilik oranıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Yani yüksek gözenekliliğe sahip doğal taşlar yüksek su emme değerine sahiptir.

Çizelge 4.5 Döğer tufünün ağırlıkça su emme değerleri.

	Kuru Ağırlık md(gr)	ms (gr)(gr) (to+48)	Sonuçlar (%)
S1	192.98	225.62	16.91
S2	191.40	227.07	18.64
S3	193.05	224.00	16.03
S4	182.51	214.03	17.27
S5	190.42	224.26	17.77
S6	194.42	224.33	15.38
S7	176.69	209.00	18.29
S8	192.47	226.35	17.60
S9	191.33	224.35	17.26
S10	193.33	225.51	16.65
Ortalama	189.86	222.45	17.17

4.3.6 Ultra Ses Geçiş Hızı Deneyi

Döğer tufünün ultra ses geçiş hızı ölçüm değerleri TS EN 14579'a göre belirlenmiştir. Bulunan ultra ses geçiş hızı değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Döğer tufünün ultra ses geçiş hızı değerleri ortalaması 2.36 km/s olarak bulunmuştur. Ultra ses geçiş hızı taşın yoğunluğu, çatlaklı yapısı ve porozitesiyle ilişkilidir. Porozite oranı yüksek kayaların ultra ses geçiş hızları düşük, porozite oranı düşük kayaların ultra ses geçiş hızları yüksektir.

Çizelge 4.6 Döğer tufünün ultra ses geçiş hızı değerleri.

Ultra Ses Geçiş Hızı	km/sn
T/1	2.31
T/2	2.45
T/3	2.38
T/4	2.28
T/5	2.25
T/6	2.43
T/7	2.21
T/8	2.58
T/9	2.29
T/10	2.40
Ortalama	2.36

4.3.7 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

TS EN 1926'ya göre yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Döğer tüfünün tek eksenli basınç dayanımı değerleri ortalama olarak 20.80 MPa olarak bulunmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı, birim alana etki eden kuvvet olarak bulunur. Bu veriler kayaçların mineralojik ve petrografik yapısı yanında fiziksel özellikleri ile de değişir. Bu fiziksel özelliklerinden birisi de porozitedir. Porozitesi yüksek olan kayaçların tek eksenli basınç dayanımları düşüktür.

Çizelge 4.7 Döğer tüfünün tek eksenli basınç dayanımı değerleri.

	Ebatlar (a) (mm)	Ebatlar (b) (mm)	Uygulanan kuvvet (KN)	Basınç Dayanımı (MPa)
T/1	50.39	49.68	63.77	25.50
T/2	50.70	49.56	58.75	23.50
T/3	50.59	50.60	49.96	19.98
T/4	50.29	49.94	55.52	22.21
T/5	50.67	50.71	59.29	23.71
T/6	49.30	50.35	47.99	19.19
T/7	50.35	50.52	45.30	18.12
T/8	50.52	50.12	42.43	16.97
T/9	50.94	50.72	55.34	22.13
T/10	50.52	50.84	41.72	16.68
Ortalama				20.80

4.4 Yaşlandırma Deneyleri

Arazide bulunan doğal taşların su ile etkileşimini incelemek amacıyla laboratuvarda hızlandırılmış yaşlandırma deneyleri yapılmaktadır. Söz konusu testler, arazide bulunan atmosfer ve çevre koşullarından daha kısa bir sürede aynı etkileri laboratuvar ortamında elde etmek için kullanılmaktadır (Alves *et al.* 2017).

Döğer tüflerinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemek ve duraylılığını belirlemek amacıyla laboratuvarda hızlandırılmış yaşlandırma deneyleri yapılmıştır. Döğer tüflerinin ayrışma ve duraylılığını incelemek ve değerlendirmek amacıyla gerekli bilgileri sağlamak için, kılcal su emme, tuz kristallenmesi ve donma-çözülme testleri yürütülmüştür. Bu deneyler, yüzey koruyucu uygulanmamış ve yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde gerçekleştirilmiştir.

4.4.1 Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının (Kapilarite) Tayini

Doğal yapı taşları, bünyelerinde bulunan kılcal boşluk ve çatlaklar yoluyla zeminde bulunan ve temas halindeki suyu emme eğilimi gösterirler. Kılcal su emme işlemi doğada kendiliğinden gerçekleşen bir olaydır. Kılcal su emme olayı doğal taşların gözenek boyut geometrisine bağlı olup kılcal su emme katsayısı su ile temas eden yüzey için zamanın karekökü ile doğru orantılı olarak hesaplanmaktadır (Mertz 1991, Siegesmund and Dürrast 2011).

Graue vd. (2011) tarafından kılcal su emme katsayısına göre,

$<0.5 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olan taşlar düşük kılcal su emme,

$0.5\text{--}3.0 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olan taşlar orta kılcal su emme,

$>3.0 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olan taşlar güçlü kılcal su emme gösteren taşlar şeklinde sınıflandırılmıştır.

Döğer tüfünün kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının ölçüm değerleri TS EN 1925'e göre belirlenmiştir. Döğer tüfünün kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı değerleri Çizelge 4.8'de, yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tüfünün kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının deney sonuçları ise Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüfünün bünyesinde bulunan kılcal boşluklara zaman içerisinde su dolarak su emme değerleri artmıştır. Başlangıçta su emmeye artarak devam etmiştir. 60. dk'da kılcal boşlukları suya doymaya başlamış ve su emme özelliği azalmaya başlamıştır. Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüfünün 2880 dk sonunda kılcal su emme kapasitesi $14.59 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olarak bulunmuştur. Graue vd. (2011) tarafından verilen kılcal su emme katsayısı değerine göre; Döğer tüfleri güçlü kılcal su emme ($>3.0 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$) gösteren taşlar sınıfına girmektedir.

Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tüfünde ise kimyasal madde yüzeydeki kılcal boşlukların kapanmasına sebep olarak su emme özelliğini en aza indirmiş olup 2880 dk sonunda kılcal su emme kapasitesi $0.37 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olarak bulunmuştur. Bu durumda Graue vd. (2011) tarafından verilen kılcal su emme katsayısı değerine göre; yüzey

koruyucusu uygulanmış olan Döğer tüfleri düşük kılcal su emme ($<0.5 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{0.5}$) gösteren taşlar sınıfındadır.

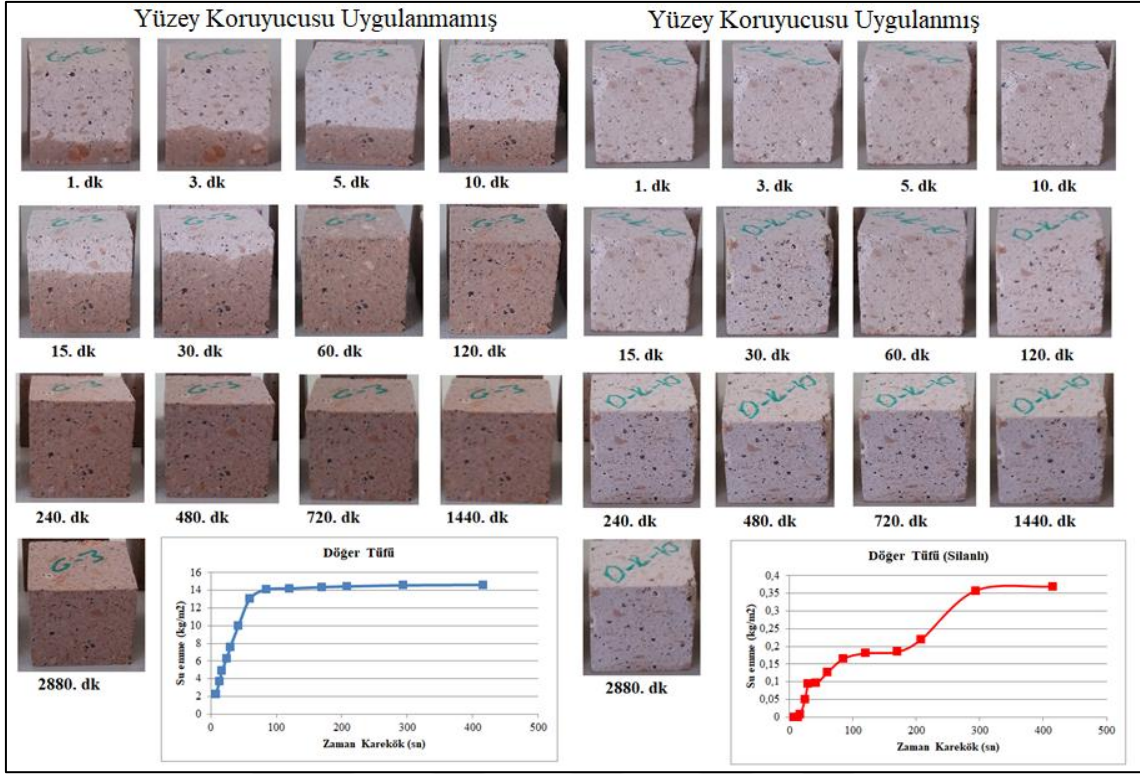
Yüzey koruyucu uygulanmamış ve yüzey koruyucu uygulanmış olarak Döğer tüfünün zamana bağlı kılcal su emme seviyeleri ve grafikleri Resim 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.7’de de yüzey koruyucu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tüfünün zamana bağlı kılcal su emme miktarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4.8 Döğer tüfü kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının deney sonuçları ($\text{kg/m}^2 \text{ s}^{0.5}$).

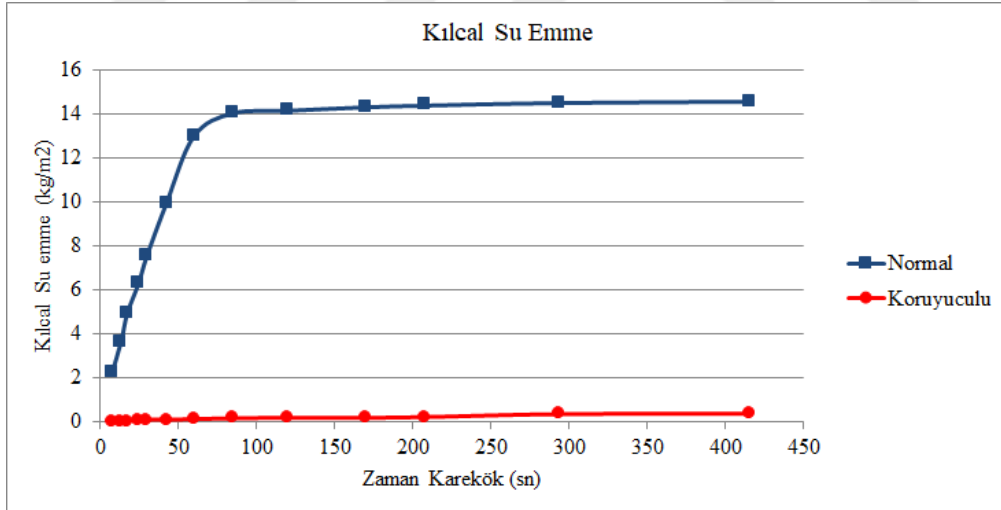
Süre (dk)	1	3	5	10	15	30	60	120	240	480	720	1440	2880
G1	2.55	3.82	5.13	6.55	7.82	10.42	14.55	14.33	14.39	14.56	14.58	14.67	14.77
G2	2.60	4.34	5.85	7.58	9.13	12.16	14.50	14.66	14.72	14.89	14.92	15.04	15.13
G3	2.08	3.38	4.59	5.92	7.13	9.50	12.91	14.06	14.10	14.22	14.26	14.46	14.52
G4	2.19	3.37	4.63	5.98	7.23	9.59	12.87	14.29	14.40	14.49	14.55	14.74	14.78
G5	1.97	3.20	4.33	5.52	6.61	8.65	11.62	13.82	14.00	14.04	14.42	14.33	14.38
G6	2.46	3.73	4.92	6.20	7.49	9.82	13.14	14.17	14.21	14.30	14.27	14.55	14.59
G7	2.14	3.92	5.37	6.85	8.23	10.84	13.78	14.54	14.54	14.50	14.19	14.53	14.58
G8	2.05	3.97	5.51	7.02	8.46	11.02	14.00	14.37	14.44	14.46	15.02	14.73	14.77
G9	2.59	4.20	5.50	6.88	8.35	10.79	13.61	14.04	14.10	14.52	14.32	14.39	14.43
G10	1.67	2.65	3.53	4.41	5.29	6.91	9.28	12.37	12.93	13.37	13.64	13.92	13.98
Ort	2.23	3.66	4.94	6.29	7.58	9.97	13.03	14.07	14.18	14.34	14.42	14.54	14.59

Çizelge 4.9 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tüfünün kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının deney sonuçları ($\text{kg/m}^2 \text{ s}^{0.5}$).

Süre (dk)	1	3	5	10	15	30	60	120	240	480	720	1440	2880
G1	0.00	0.00	0.01	0.04	0.08	0.07	0.12	0.15	0.18	0.19	0.22	0.34	0.35
G2	0.00	0.00	0.01	0.06	0.13	0.14	0.13	0.18	0.20	0.18	0.31	0.42	0.41
G3	0.00	0.00	0.01	0.09	0.09	0.09	0.10	0.13	0.15	0.13	0.18	0.31	0.31
G4	0.00	0.00	0.01	0.08	0.19	0.21	0.26	0.34	0.35	0.35	0.33	0.66	0.50
G5	0.00	0.00	0.01	0.04	0.09	0.07	0.11	0.16	0.17	0.18	0.21	0.38	0.36
G6	0.00	0.00	0.01	0.04	0.08	0.06	0.10	0.12	0.13	0.14	0.15	0.24	0.25
G7	0.00	0.00	0.01	0.04	0.06	0.07	0.11	0.12	0.13	0.14	0.18	0.34	0.40
G8	0.00	0.00	0.01	0.04	0.08	0.11	0.12	0.16	0.18	0.19	0.26	0.37	0.42
G9	0.00	0.00	0.01	0.03	0.08	0.07	0.13	0.18	0.19	0.20	0.22	0.36	0.37
G10	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07	0.06	0.08	0.12	0.13	0.14	0.14	0.14	0.32
Ort	0.00	0.00	0.01	0.05	0.09	0.10	0.13	0.17	0.18	0.18	0.22	0.36	0.37



Resim 4.1 Yüzey koruyucu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tüfünün zamana bağlı kılcal su emme seviyeleri ve grafiği.



Şekil 4.8. Yüzey koruyucu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tüfünün zamana bağlı kılcal su emme miktarının karşılaştırılması.

4.4.2 Don Tesirlerine Dayanıklılık Deneyi

Döğer tüfünün don tesirlerine dayanıklılık değerleri TS EN 12371'e göre belirlenmiştir. Döğer tüfünün don tesirlerine dayanıklılık deneyi sonuç değerleri Çizelge 4.10'da,

yüzey koruyucusu uygulanmış don tesirlerine dayanıklılık deney sonuçları ise Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Don tesirlerine dayanıklılık deneyi, yüzey koruyucu kimyasal madde uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tüfleri örneklerinde 25 döngü olarak yapılmıştır. Yapılan döngü işlemleri sonrasında örneklerin yüzeylerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde; döngüler arttıkça örneklerin su emme miktarları da artmıştır. Bunun sebebi; donma sırasında oluşan suyun buza dönüşmesi sonucunda hacim %9 oranında genişlemiştir. Böylece mikro çatlaklar meydana gelerek su emme işlemi gerçekleşmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise yüzeylerinde değişime rastlanılmamıştır. 25. döngü sonunda yapılan görsel inceleme sonucunda Döğer tüfü örneklerinin fiziksel bütünlüğünün bozulmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.10 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüfünün (D) don tesirlerine dayanıklılık deneyi sonuçları.

	D/1	D/2	D/3	D/4	D/5	D/6	D/7	D/8	D/9	D/10	ort
Kuru Ağırlık	191.15	184.41	195.5	182.11	180.07	184.42	183.24	176.91	194.97	189.93	186.27
Döngü-1	225.2	216.2	227.2	216.6	213.2	219.1	218.5	210	227.3	225.5	219.88
Döngü-2	225.5	216.2	227.3	216.7	213.4	219.5	218.6	210.2	227.7	225.7	220.08
Döngü-3	226	216.7	228	217.3	214	219.9	219	210.6	228.2	226.2	220.59
Döngü-4	225.5	216.6	227.8	217	213.9	219.9	218.9	210.4	227.9	226	220.39
Döngü-5	226.2	217	228	217.4	214.2	220.3	219.4	210.9	228.4	226.4	220.82
Döngü-6	227.1	217.9	229.1	218.4	215.3	221.4	220.6	211.8	229.4	227.6	221.86
Döngü-7	227.4	218	229.3	218.8	215.6	221.4	220.5	212	229.7	227.8	222.05
Döngü-8	227.7	218.2	229.4	218.9	215.7	221.4	220.8	212.3	230	227.9	222.23
Döngü-9	228	219	230.4	219.7	216.4	222.1	221.5	212.9	230.5	228.2	222.87
Döngü-10	228.3	218.9	230.3	219.7	216.5	222.2	221.6	213.1	230.7	228.6	222.99
Döngü-11	228.6	219.1	230.4	220	217	222.7	221.7	213.1	230.9	228.9	223.24
Döngü-12	228.1	218.6	230	219.6	216.5	222.2	221.4	212.9	230.6	228.5	222.84
Döngü-13	228.3	218.8	230.2	219.8	216.4	222.2	221.5	213	230.6	228.5	222.93
Döngü-14	228.1	218.7	230.1	219.7	216.5	222.3	221.4	212.9	230.6	228.5	222.88
Döngü-15	228.8	219.2	230.7	220	216.9	222.8	221.9	213.3	230.8	229	223.34
Döngü-16	228.9	219.5	230.8	220.1	217.1	223	222	213.2	230.9	229.1	223.46
Döngü-17	228.7	219.3	230.8	220.3	217.1	222.8	222.1	213.5	231.1	229	223.47
Döngü-18	228.7	219.3	230.8	220.3	217.1	222.9	222.2	213.4	231.1	229.2	223.5
Döngü-19	229.1	219.6	231	220.4	217.3	223.1	222.2	213.5	231.1	229.2	223.65
Döngü-20	230.6	221.2	232.6	222.2	219.6	224.9	223.6	214.9	232.6	230.9	225.31
Döngü-21	230.5	221.2	232.7	222.3	219	224.7	224	215.4	232.8	230.8	225.34
Döngü-22	230.3	221.2	232.5	222.1	218.6	224.4	224	215.2	232.4	231.3	225.2
Döngü-23	230.5	221.5	232.6	222.4	218.4	224.8	224.3	216.1	232.4	230.8	225.38
Döngü-24	231.1	221.3	232.6	222.3	218.8	225.3	224	215.3	232.7	231.1	225.45
Döngü-25	230.3	220.9	232.5	221.7	218.9	224.9	223.8	215	232.7	230.6	225.13
Son Kuru Ağırlık	192.9	185.5	194.7	183	180.1	185.3	184	176.6	194	188.4	186.45

Çizelge 4.11 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tütünü (DK) don tesirlerine dayanıklılık deney sonuçları.

	DK/1	DK/2	DK/3	DK/4	DK/5	DK/6	DK/7	DK/8	DK/9	DK/10	ort
Kuru Ağırlık	183.02	192	182.75	190.28	186.4	192.99	192.8	197.5	180.31	190.7	188.875
Döngü-1	186.1	194.5	185.4	193.1	189	196.3	198.6	200.1	183.2	184.8	191.21
Döngü-2	186	194.4	185.3	192.9	188.8	197.3	199	200	183.2	184.8	191.17
Döngü-3	186.4	194.6	185.6	193.2	189	197.8	200	200.4	183.6	185.3	191.59
Döngü-4	186.7	194.7	185.8	193.3	189.2	198.2	200.9	200.5	183.8	185.6	191.87
Döngü-5	186.9	194.9	186	193.5	189.4	198.5	201.6	200.6	184	186	192.14
Döngü-6	188.8	196.4	187.7	195	190.7	201.1	207	201.9	185.7	188.3	194.26
Döngü-7	189.1	196.4	187.8	195.1	190.7	201.4	207.8	202	185.9	188.5	194.47
Döngü-8	189.5	196.7	188.3	195.5	191.1	201.9	208.9	202.4	186.3	189	194.96
Döngü-9	189.9	197	188.7	195.8	191.4	202.4	209.8	202.6	186.7	189.3	195.36
Döngü-10	191.1	197.6	189.9	196.6	191.9	204.2	213.5	203.1	187.5	190.7	196.61
Döngü-11	191.4	197.8	190.2	196.8	192.1	204.6	214.4	203.3	187.7	191	196.93
Döngü-12	191.3	197.6	190.3	196.7	191.9	204.6	214.9	203.1	187.6	191	196.9
Döngü-13	191.6	197.7	190.6	196.8	192	204.9	215.7	203.1	187.8	191.2	197.14
Döngü-14	191.8	197.7	190.9	196.9	192	205.2	216.3	203.2	187.9	191.4	197.33
Döngü-15	193.1	198.6	192.6	197.9	192.8	207.5	219.4	204	189.1	193	198.8
Döngü-16	193.2	198.6	192.9	197.9	192.8	207.8	219.9	204	189.2	193.2	198.95
Döngü-17	193.3	198.6	193.2	197.9	192.8	208.1	220.3	203.9	189.2	193.4	199.07
Döngü-18	193.5	198.6	193.5	198.1	192.8	208.5	220.9	203.9	189.3	193.6	199.27
Döngü-19	193.7	198.6	193.9	198.1	192.8	208.8	221.4	204.1	189.4	193.9	199.47
Döngü-20	194.1	199.1	194.4	198.6	193.2	209.3	222	204.5	189.8	194.4	199.94
Döngü-21	194	199	194.6	198.5	193.2	209.3	222	204.5	189.7	194.2	199.9
Döngü-22	193.9	198.9	194.6	198.6	193.3	209.5	222.1	204.4	189.8	194.3	199.94
Döngü-23	194	198.8	194.7	198.5	193.3	209.5	222.3	204.5	189.9	194.4	199.99
Döngü-24	194	198.9	195	198.6	193.3	209.7	222.5	204.6	189.8	194.4	200.08
Döngü-25	194	198.9	194.9	198.4	193.3	209.6	222.7	204.9	190	194.4	200.11
Son Kuru Ağırlık	183.3	191.5	183.2	190.2	186.1	194.3	197.6	197.4	180.7	182.2	188.65



Resim 4.2 Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve uygulanmış Döğertufün don tesirlerine dayanıklılık deneyi görünüşleri.

4.4.3 Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Deneyi

Kullanıldığı yerde uzun yıllar kalan doğal taşlar, çevresel ve atmosferik faktörlerden etkilenerek zaman içerisinde ayrışmaya başlar. Ayrışmayı sağlayan faktörlerin en önemlilerinden birisi de doğal taşlar içerisine giren suda çözünebilen tuzlardır. Çözünebilen tuzların doğal yapı taşlarına verdiği zararları belirlemek amacıyla laboratuvar ortamında hızlandırılmış tuz kristallenmesi deneyleri yapılmaktadır. Bu

amaçla Döğer tüflerinin tuz kristallenmesine direncini belirlemek amacıyla sodyum klorür ve sodyum sülfat tuzları kullanılmıştır.

4.4.3.1. Sodyum Klorür (NaCl) Deneyi

Döğer tüfünün tuz kristallenmesine karşı direncinin belirlenmesi amacıyla sodyum klorür çözeltisi deneyleri TS EN 12370'e göre yapılmıştır. Döğer tüfünün sodyum klorür çözeltisi ile yapılan deney sonuç değerleri Çizelge 4.12'de, yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerin deney sonuçları ise Çizelge 4.13'de verilmiştir. Deney boyunca örneklerdeki değişim gözlemlenmiştir. Deney döngüleri sırasında yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde; 2. döngü sonrasında örneklerin bazılarında yüzeylerden partikül kopmaları meydana gelmiştir. 8. döngü sonrasında ise tüm örneklerin yüzeylerinde bozuşmalar meydana gelmiştir ve bunun sonucunda da parçalanmalar gözlenmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise ilk 6. döngüye kadar sadece renkte solmalar meydana gelmiştir herhangi bir ayrışma olayı gözlenmemiştir. 6. döngü sonrasında ise örneklerin yüzeylerinde çatlaklar oluşmaya başlamıştır.

Döğer tüfünün porozite değeri yüksek olduğu için deneyde kullanılan örnekler tuzlu çözeltiyi emerek gözeneklerde tuz kristallenmesi nedeniyle ağırlıklarda değişim gözlemlenmiştir. Döğer tüfünün yüzey koruyucu uygulanmış örneklerinde, yüzey koruyucu yüzeyi tuzun ve suyun emilimine karşı koruduğu için ağırlıklarda fazla bir değişim olmamıştır. Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tüfünün tuz kristallenmesi döngülerindeki görünimleri Resim 4.9 verilmiştir.

Çizelge 4.12 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tufunun (N) tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deney sonuçları.

Örnek Kodu	N/1	N/2	N/3	N/4	N/5	N/6	N/7	N/8	N/9	N/10
Kuru Ağırlık (gr)	188.64	179.96	194.66	193.16	190.15	182.46	191.86	184.73	172.87	176.73
Tel + Ağırlık	190.33	181.36	196.91	194.62	191.62	184.06	193.36	186.12	174.25	178.25
Döngü-1	194.35	185.21	200.82	198.57	195.73	188.35	197.45	190.31	178.43	182.63
Döngü-2	211.42	195.69	216.1	215.33	210.26	204.18	212.62	205.96	192.98	197.72
Döngü-3	212.67	200.99	218.6	218.4	214.35	200.66	212.03	204.54	188.71	191.19
Döngü-4	207.81	192.81	188.14	212.64	209.14	195.15	209.84	202.2	214.08	196.96
Döngü-5	213.5	201.81	198.22	217.73	212.72	196.85	209.77	201.91	214.78	194.47
Döngü-6	212.65	200.27	195.26	216.56	210.74	205.89	214.2	207.17	215.37	197.77
Döngü-7	211.11	198.2	191.42	215.15	209.34	195.68	207.54	200.54	211.89	190.93
Döngü-8	209.71	196.75	188.72	213.75	207.38	195.95	206.57	198.01	208.66	189.84
Döngü-9	198.02	187.19	180.11	200.76	194.57	196.3	201.31	196.72	203.16	189.39
Döngü-10	209.49	196.18	187.67	211.33	203.6	200.67	209.86	204.81	212.34	191.51
Döngü-11	208.15	193.98	186.32	209.48	200.71	202.83	211.45	206.39	212.39	196.41
Döngü-12	207.11	190.59	183.17	206.45	197.93	200.69	210.01	204.25	210.44	195.66
Döngü-13	207.51	190.23	184.11	206	197.24	198.56	208.61	202.04	209.43	194.47
Döngü-14	203.69	184.83	179.25	200.86	191.02	197.13	203.25	195.72	203.44	187.96
Döngü-15	207.88	189.42	184.24	204.66	194.96	206.5	208.87	203.4	210.19	197.06

Çizelge 4.13 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tufunun (NK) tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deney sonuçları.

Örnek Kodu	NK/1	NK/2	NK/3	NK/4	NK/5	NK/6	NK/7	NK/8	NK/9	NK/10
Kuru Ağırlık (gr)	178.00	188.90	194.60	186.60	182.90	194.30	189.30	184.60	192.70	180.70
Tel + Ağırlık.	179.50	190.30	196.30	188.20	184.5	195.9	190.9	186.6	194.4	182.3
Döngü-1	178.5	189.3	195.2	187.4	183.4	194.9	190	185.8	193.5	181.4
Döngü-2	178.4	189.3	195.2	187.4	183.5	194.9	189.9	185.7	195.1	181.4
Döngü-3	178.4	189.3	195.1	187.3	183.4	197.7	189.9	185.6	199.6	181.3
Döngü-4	178.8	190	195.7	187.6	183.7	195.1	190.5	186	204.9	181.8
Döngü-5	178.3	189.9	195.4	187.3	183.5	194.8	189.9	185.7	218.8	181.4
Döngü-6	178.4	190.4	195.4	187.3	183.4	194.8	189.9	185.6	221.5	181.4
Döngü-7	178.4	191.3	195.6	187.4	183.5	194.8	189.9	185.7	224.3	181.5
Döngü-8	178.5	192.7	195.7	187.3	183.5	194.8	190	185.7	226.1	181.4
Döngü-9	178.4	195	195.9	187.3	183.5	194.7	189.9	185.7	221.1	181.5
Döngü-10	178.4	201.2	196.1	187.2	183.5	194.8	189.9	185.6	230	181.4
Döngü-11	178.4	209.5	196.5	187.1	183.4	194.6	189.8	185.5	231.3	181.3
Döngü-12	178.3	211.7	197.1	187.2	183.6	194.7	189.9	185.5	232.2	181.4
Döngü-13	178.3	215.3	198.1	187.2	183.5	194.7	190	185.6	233.2	181.4
Döngü-14	178.3	216	199.3	187.2	183.4	194.8	189.9	185.6	232.5	181.4
Döngü-15	178.7	219.5	201.7	187.5	184	195.2	190.5	186	236	181.8



Resim 4.3 Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve uygulanmış Döğ tufünün tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde 1-5-10-15. döngülerin görünümleri.

4.4.3.2. Sodyum Sülfat Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Deneyi

Döğ tufünün sodyum sülfat dekahidrat deneyi değerleri TS EN 12370'e göre belirlenmiştir. Döğ tufünün sodyum sülfat dekahidrat deneyi sonuç değerleri Çizelge 4.14'e, yüzey koruyucusu uygulanmış Döğ tufünün sodyum sülfat dekahidrat deney sonuçları ise Çizelge 4.15'de verilmiştir. Deney boyunca örneklerdeki fiziksel değişimler gözlenmiştir. Deneylerde yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğ tüflerinde 8. döngü sonrasında örneklerin yüzeylerinde bozuşmalar sonucunda ufalanmalar meydana gelmiştir. Yüzey koruyucu uygulanmış olan örneklerde ise döngüler boyunca herhangi bir bozuşmaya rastlanılmamıştır. Döğ tufünün gözeneklilik değeri yüksek olduğu için kılcal emilimden dolayı tuzlu su çözeltisi örneklere infiltre olmuştur. Bu nedenle gözeneklere giren suyun içerisinde çözünmüş halde bulunan tuzların kristallenmesi kütle artışına neden olmuştur. Döğ tufünün yüzey koruyucu uygulanmış örneklerinde ise, kimyasal madde yüzeye hidrofobik özellik kazandırdığı

için tuzlu suyun infiltre olması engellenmiş ve ağırlıklarda fazla bir değişim olmamıştır (Resim 4.10).

Çizelge 4.14 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tufunun (M) tuz kristallenmesine ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) direncin tayini deney sonuçları.

Örnek Kodu	M/1	M/2	M/3	M/4	M/5	M/6	M/7	M/8	M/9	M/10
Kuru Ağırlık (gr)	191.27	179.00	182.39	188.62	188.38	189.56	188.18	193.59	192.20	197.30
Tel + Ağırlık.	192.98	180.45	183.81	190.27	189.79	191.30	189.76	195.05	193.65	199.00
Döngü-1	193.84	181.51	184.95	191.17	190.78	192.19	190.45	196.00	194.14	200.02
Döngü-2	196.04	183.53	186.89	193.16	192.94	194.18	192.46	198.01	196.20	201.97
Döngü-3	197.63	184.95	188.30	194.76	194.43	195.65	194.01	199.60	197.68	203.45
Döngü-4	199.96	186.85	190.26	196.84	196.63	197.58	195.97	201.60	199.84	205.45
Döngü-5	200.53	187.34	190.79	197.62	197.33	198.25	196.6	202.31	200.45	206.13
Döngü-6	201.56	188.11	191.12	198.29	198.12	199.13	197.75	204.73	202.21	210.39
Döngü-7	202.09	188.40	191.46	197.51	197.08	199.44	197.66	203.32	200.68	206.42
Döngü-8	202.75	188.84	191.44	197.49	196.99	199.93	198.03	203.80	200.12	206.18
Döngü-9	203.53	189.37	191.37	197.51	197.10	200.38	198.44	204.20	200.05	206.19
Döngü-10	200.61	184.51	191.43	192.52	197.07	200.99	195.97	202.31	195.53	203.61
Döngü-11	199.46	184.14	190.79	189.98	195.13	200.19	195.36	201.94	193.02	200.44
Döngü-12	198.85	183.77	189.77	188.98	194.31	200.03	195.69	202.08	192.67	198.97
Döngü-13	198.63	184.11	189.03	186.98	192.44	200.41	196.06	202.85	192.32	198.86
Döngü-14	189.11	176.83	172.54	177.82	192.29	197.34	192.31	202.61	188.05	190.53
Döngü-15	186.71	177.72	171.79	171.07	195.92	196.20	192.94	205.19	187.56	182.76

Çizelge 4.15 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tufunun (MK) tuz kristallenmesine ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) direncin tayini deney sonuçları.

Örnek Kodu	MK/1	MK/2	MK/3	MK/4	MK/5	MK/6	MK/7	MK/8	MK/9	MK/10
Kuru Ağırlık (gr)	195.59	189.70	190.54	192.76	193.66	181.76	192.04	181.83	188.34	191.03
Tel + Ağırlık.	196.98	191.14	192.2	194.48	195.06	183.08	193.52	183.23	189.82	192.47
Döngü-1	195.73	190.1	190.85	193.32	193.93	182.09	192.24	182.24	188.66	191.36
Döngü-2	195.79	190.16	190.98	193.44	194.04	182.16	192.29	182.33	188.74	191.46
Döngü-3	195.58	190.08	190.82	193.36	193.86	182.00	192.12	182.18	188.53	191.22
Döngü-4	196.00	190.38	191.37	193.80	194.36	182.42	192.66	182.61	189.21	191.75
Döngü-5	195.69	190.09	190.93	193.46	194.05	182.07	192.26	182.32	188.81	191.41
Döngü-6	195.56	189.99	190.79	193.29	193.96	182.02	192.14	182.20	188.74	191.37
Döngü-7	195.61	190.02	190.90	193.36	194.05	182.05	192.16	182.22	188.93	191.38
Döngü-8	195.53	190.00	190.92	193.37	194.06	181.98	192.08	182.17	189.07	191.34
Döngü-9	195.50	189.90	190.85	193.35	194.02	181.94	192.08	182.11	189.20	191.38
Döngü-10	195.47	189.88	190.77	193.32	193.96	181.92	192.07	182.07	189.36	191.31
Döngü-11	195.38	189.85	190.76	193.24	193.92	181.86	191.95	182.02	189.57	191.30
Döngü-12	195.43	189.87	190.83	193.27	193.94	181.90	192.00	182.03	189.94	191.37
Döngü-13	195.35	189.83	190.87	193.32	193.98	181.90	191.98	182.04	190.39	191.38
Döngü-14	195.32	189.73	190.81	193.22	193.89	181.85	191.89	181.95	190.84	191.32
Döngü-15	195.73	190.14	191.48	193.76	194.4	182.33	192.43	182.41	191.97	191.83



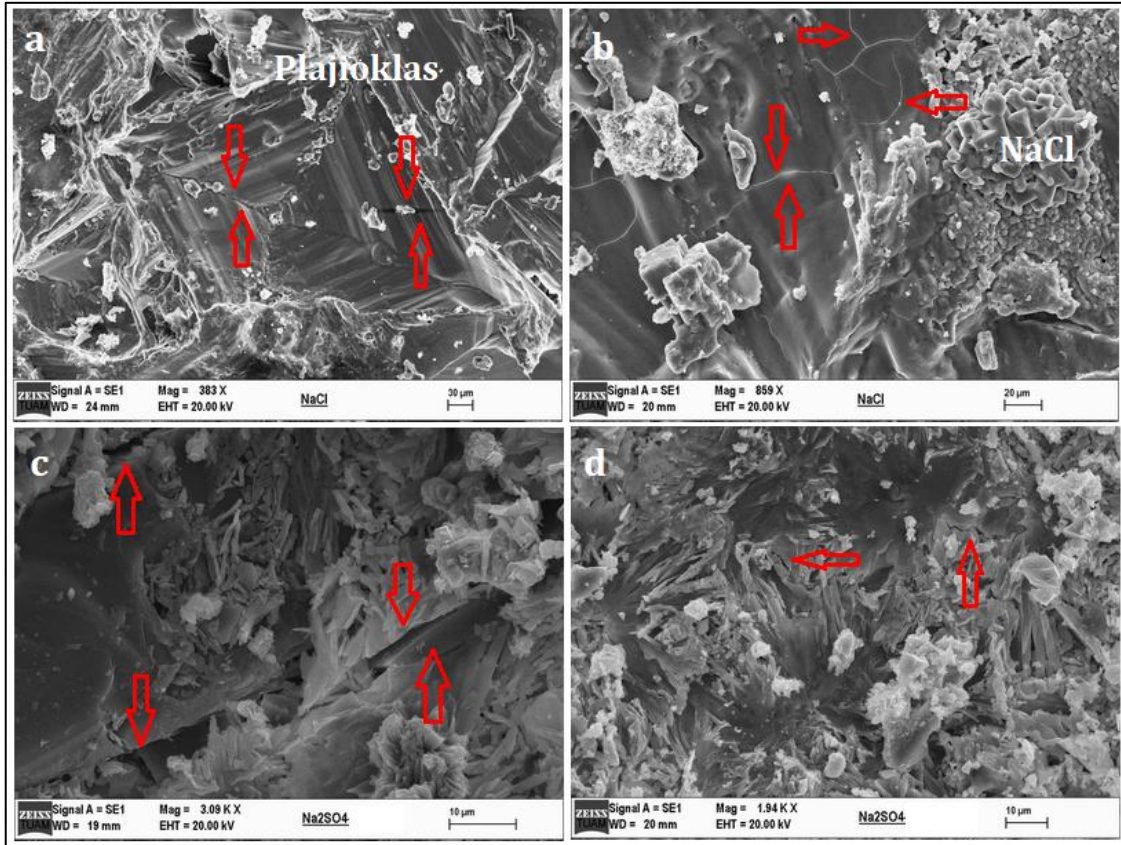
Resim 4.4 Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve uygulanmış Döğer tüfünün tuz kristallenmesi ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) deneyinde 1-5-10-15. döngülerin görünümleri.

4.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Ayrışma Etkisinin İncelenmesi

Yapılarla temas eden bir su kaynağının çeşitli tuz bileşikleri içermesi halinde doğal taşlarda ayrıştırma etkisi daha fazla olmaktadır. Bu ayrışmanın etkisini görebilmek amacıyla tuzlu suda (NaCl ve $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), normal ve koruyucu kimyasal uygulanmış Döğer tüf örneklerine tuz kristallenmesi deneyleri yapılmıştır. Tuz kristallenmesi deneyi 15 periyot sonunda doğal taş yüzeylerinde oluşan birikinti tuz (NaCl) ve sülfat bileşiklerinin varlığı Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile araştırılmıştır.

4.5.1. Yüzey Koruyucusu Uygulanmamış Örneklerde SEM ile Ayırışma Etkisinin İncelenmesi

Tuz kristalleşmesi deneyleri sırasında meydana gelen ayrışmaların incelenmesi amacıyla yapılan SEM incelemeleri sonucunda elde edilen görüntüler Resim 4.11’de verilmiştir. Sodyum klorür (NaCl) ve sodyum sülfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) kristallerinin gözenekleri doldurarak mikro çatlaklar oluşturdukları görülmektedir.

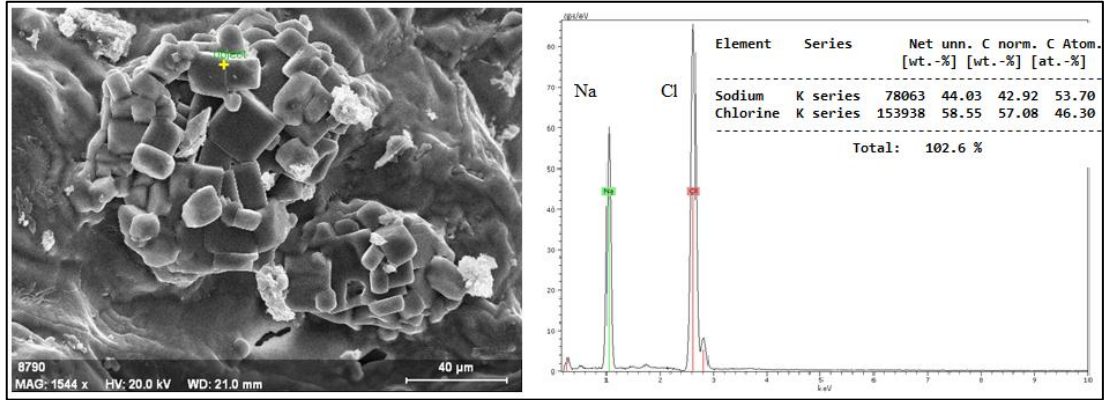


Resim 4.5 SEM incelemeleri sonucunda Sodyum klorür (NaCl) ve sodyum sülfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) örneklerinin görünümü.

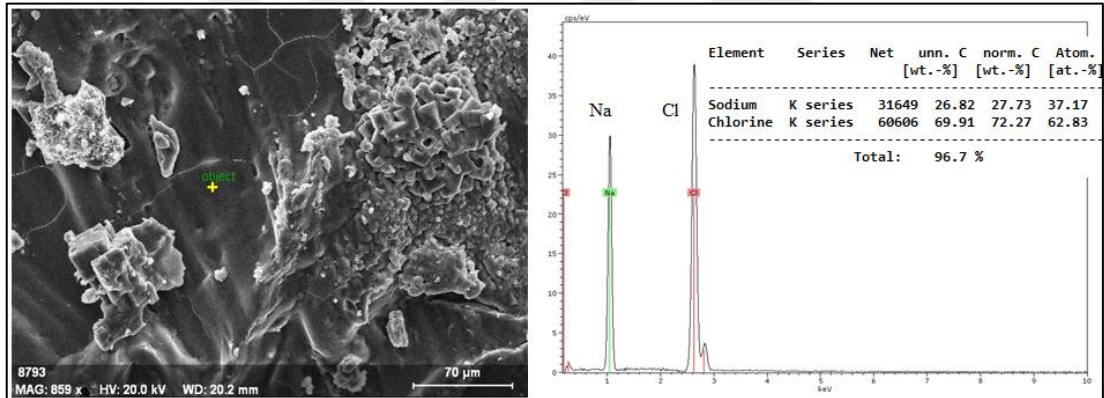
4.5.1.1. Sodyum Klorür (NaCl) Deneyi

Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, tuz kristallenmesini belirlemek üzere tuz (NaCl) olduğu belirlenen tanelerde EDX analizi yapılmıştır. Tüflerde belirlenen tuz (NaCl) kristalleri ve elde edilen EDX grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir. SEM ve EDX incelemelerine göre tuz (NaCl) kristallenmelerinin genellikle örneklerin gözenekliliklerinde ve yüzeylerinde olduğu tespit edilmiştir. EDX analizinde sodyum %44.03, klorür elementi ise %58.55 oranında ölçülmüştür. Tuz

kristallerinde (halit) kübik yapı sıklıkla görülürken, kümelenmiş tuz kristallerinin tekrarlanan periyotlardan dolayı sıklıkla eridiği de gözlenmiştir. NaCl oluşumunun bazı minerallerde ise yüzeylerin tamamen tuz ile kaplandığı belirlenmiştir (Şekil 4.10).



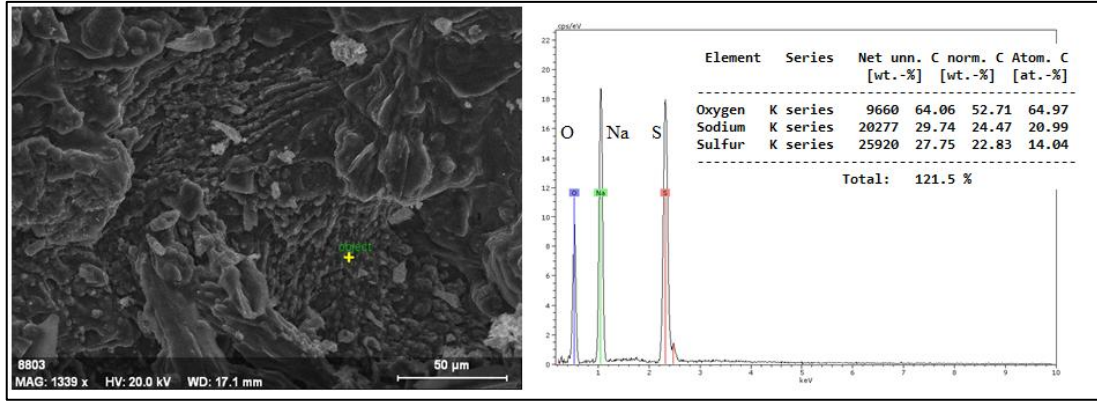
Şekil 4.9 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, kübik şekilli tuz (NaCl) minerallerinin görünümü ve tuz mineralinin elementel kimyasal analizi.



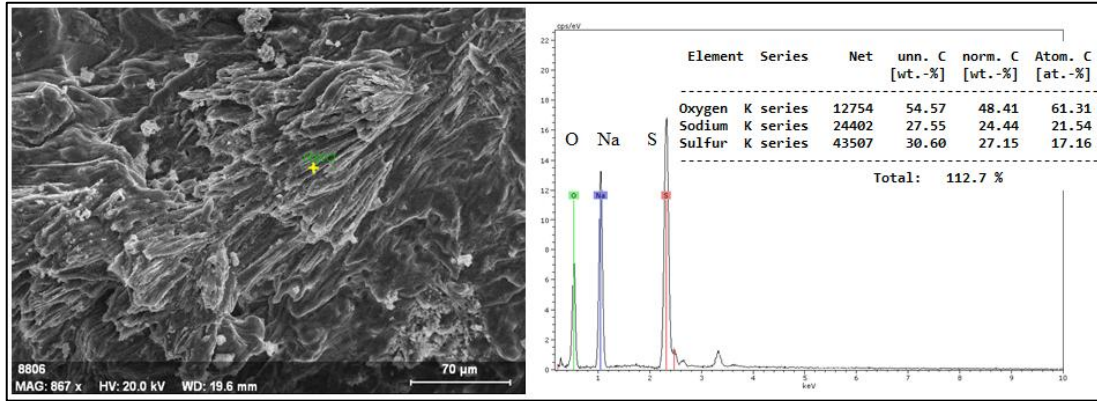
Şekil 4.10 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, minerallerin yüzeyini kaplayan tuzların ve kübik şekilli tuz (NaCl) minerallerinin görünümü ve elementel (EDX) kimyasal analizi.

4.5.1.2. Sodyum Sülfat Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Deneyi

Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, sülfat kristallenmesini belirlemek üzere sülfat olduğu belirlenen tanelerde EDX analizi yapılmıştır. EDX analizinde oksijen %64.06, sodyum %29.74 ve sülfür elementi %27.75 oranında belirlenmiştir. Tüflerde belirlenen sülfat kristalleri ve elde edilen EDX grafiği Şekil 4.11’de verilmiştir. Sülfat kristalleri kısa prizmatik ve uzun çubuk, mızrak şekilli kristaller halinde gözlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, kısa prizmatik sülfat minerallerinin görünümü ve sülfat mineralinin elementel kimyasal analizi.



Şekil 4.12 Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde, uzun çubuk, mızrak şekilli sülfat minerallerinin görünümü ve sülfat mineralinin elementel kimyasal analizi.

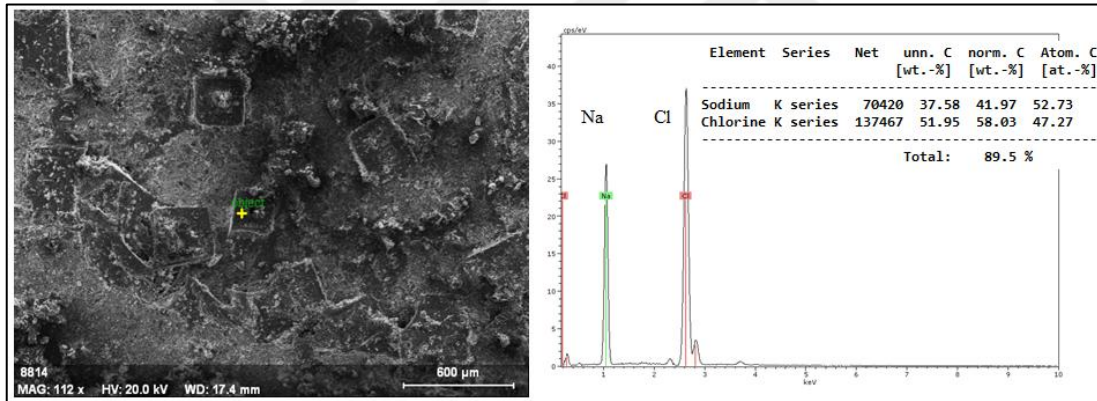
4.5.2. Yüzey Koruyucusu Uygulanmış Örneklerde SEM ile Ayrışma Etkisinin İncelenmesi

Zeminde tuz içeren suların varlığı halinde doğal taşların gözenekliliklerinde ve yüzeylerinde tuz birikintileri ve kristallenmeleri olacağı belirlenmiştir. Bu tuz kristalleri zaman içerisinde içine yerleştiği mikro gözeneklerde hacim genişlemesinden dolayı mikro çatlaklar oluşturarak taşların kırılıp parçalanmasına ve ayrışmaya yol açacaktır. Bu nedenle ayrışmayı azaltmak için su içerisinde çözünen tuz varlığının belirlenmesi de önem taşımaktadır. Tuzlu su içeren zeminlerde kullanılacak doğal taşların yüzey koruyucusu kullanılmak suretiyle su emiliminin dolayısıyla da tuz kristallenmesinin azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle aynı deney şartlarında yüzey koruyucusu kimyasal maddeler uygulanmış tüf örneklerinin SEM ve EDX analizleri de yapılmıştır. Döğer tüflerde sülfat ve tuz kristallerine az miktarda rastlanması, koruyucu kimyasal malzemenin tuzlu suda su emmeyi azalttığı ve tuzların yıkıcı etkisini azalttığı şeklinde

yorumlanabilir. Özellikle tarihi yapıların su emme etkisiyle ayrışmasının azaltılması ve engellenmesi amacıyla, restorasyon işlemlerinde sudan koruyucu kimyasal maddelerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Doğal taşların özelliklerinin belirlenmesi ve ayrışma ve bozuşmanın önlenmesinin bu deneyler sonucunda mümkün olduğu ortaya konulmuştur.

4.5.2.1. Sodyum Klorür (NaCl) Deneyi

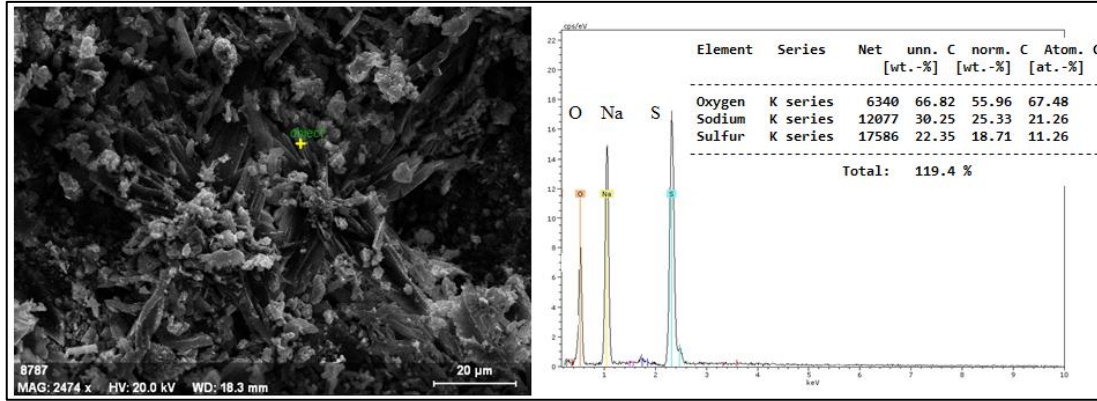
Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tuf örneklerinde yapılan SEM-EDX incelemelerinde az miktarda tuz (NaCl) kristallerine rastlanmıştır (Şekil 4.13). Yüzeyin yüzey koruyucu esaslı kimyasal madde ile kaplanmış olmasına rağmen, bazı bölgelerde oluşan az miktarda yüzeysel ayrışmalar kimyasal maddenin etkisini azaltmış ancak koruyucu işlevini devam ettirmiştir.



Şekil 4.13 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tuf örneklerinde, kübik şekilli tuz (NaCl) minerallerinin görünümü ve tuz mineralinin elementel (EDX) kimyasal analizi.

4.5.2.2. Sodyum Sülfat Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Deneyi

Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tuf örneklerinde yapılan SEM-EDX incelemelerinde az miktarda sülfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) kristallerine rastlanmıştır (Şekil 4.14). Bu kristallerin daha çok gözeneklerde biriktiği gözlenmiştir.



Şekil 4.14 Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tüf örneklerinde, uzun çubuk şekilli sülfat minerallerinin görünümü ve sülfat mineralinin elementel (EDX) kimyasal analizi.

4.6 Yaşlandırma Deneyleri Sonrası Örneklerde Fiziksel ve Mekanik Değişimler

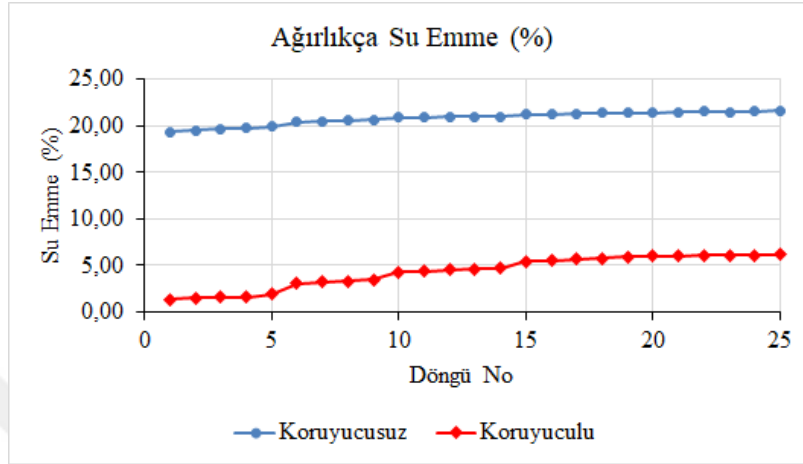
Döğer tüflerinin duraylılığını değerlendirmek amacıyla kılcal su emme, tuz kristallenmesi ve donma-çözülme testleri yapılmıştır. Bu deneyler, yüzey koruyucu sürülmemiş ve sürülmüş örneklerde gerçekleştirilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma deneylerinden sonra, ağırlık değişimi hesaplarıyla hava koşullarına karşı dayanıklılığı değerlendirilmiş ve kayaç mukavemeti ile ultrasonik dalga hızı ölçümlerinin değişimi hesaplanmıştır.

4.6.1 Donma Çözülme Deneyleri

Yaşlandırma deneyleri içerisinde en yaygın kullanılanlarından birisi donma-çözülme deneyleridir. Bu deneyler değişik su ve tuzlu çözeltilerde yapılmaktadır. Deneylerde kullanılan döngü sayısı farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak bir yıl içinde gerçekleşen donma-çözülme sayıları dikkate alınarak yapılmaktadır. Binal vd. (1997) tarafından yapılan bir araştırmada bu döngü sayısının 5-40 arasında olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada Döğer tüfü örneklerine 25 donma-çözülme döngüsü uygulanmıştır. Döğer tüfü örneklerinin donma-çözülme olaylarına karşı duraylılığı, bazı fiziksel ve mekanik parametrelerde meydana gelen değişimler yardımıyla belirlenmiştir. Bu parametreler, ağırlıkça su emme, kütle kaybı ve ultrases geçiş hızı gibi fiziksel ve tek eksenli basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerdir.

4.6.1.1 Donma Çözülme Deneyleri Süresince Ağırlıkça Su Emme Değişimi

Donma çözülme deneyleri süresince ağırlıkça su emme değişimi değerleri TS EN 13755'e göre belirlenmiştir. Belirlenen değerler Şekil 4.15'de verilmiştir.



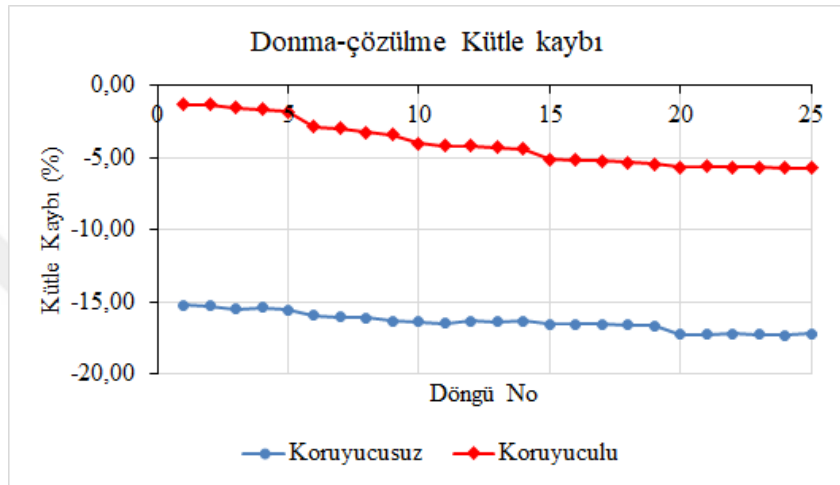
Şekil 4.15 Donma-çözülme sürecinde su emme miktarında değişim.

Şekil 4.15'de görüldüğü gibi Döğer tüfleri; yüzey koruyucu uygulanmayan örnekler 1. döngüden itibaren su emme miktarlarında düzenli bir artış göstererek 25. döngü sonunda ağırlıkça ortalama %21.61 oranında artış gözlemlenmiştir. Deney döngüleri sırasında meydana gelen donma-çözülme olayları örneklerin içerisinde bulunan gözeneklerin ve mikro çatlakların artmasına yol açmıştır. Buna bağlı olarak emilen su miktarında da artış meydana gelmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanan örneklerde ise 5. döngüye kadar %1 civarında olan ağırlıkça su emme miktarı, 6. döngüden itibaren artarak 25. döngü sonunda ortalama %6.14 olarak gerçekleşmiştir. Yüzey koruyucu kimyasal madde, emilen su miktarını 3,5 kat azaltarak Döğer tüfünün donma-çözülme olaylarına karşı dayanıklı hale getirmiştir.

4.6.1.2 Donma-Çözülme Deneyleri Sonrasında Kütle Değişimi

Donma-çözülme deneyleri sonrasında kütle değişimi TS EN 12371'e göre belirlenmiştir. Belirlenmiş olan değerler Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi Döğer tüflerinin donma-çözülme sonrası kütle kaybı değişimi yüzey koruyucu uygulanmamış ve yüzey koruyucusu uygulanmış örnekler üzerinde

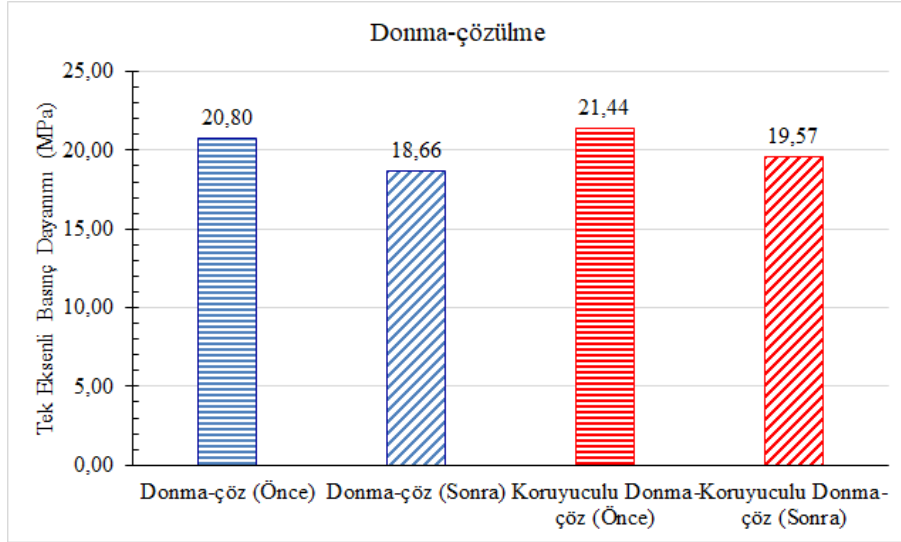
hesaplanmıştır. Yüzey koruyucusu uygulanmamış olan örneklerde kütle kaybı ortalama %17.18 olmuştur. Bunun nedeni donma-çözülme olaylarının tüflerin içerisindeki gözenek ve mikro çatlakların artışına bağlı olarak meydana gelen ayrışmadır. Yüzey koruyucusu uygulanmış olan örneklerde ise kütle kaybı %300 azalarak ortalama %5.73 olmuştur. Bu durumda yüzey koruyucu kimyasal maddenin donma-çözülme olayları sonucunda meydana gelecek ayrışmaları önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.16 Donma-çözülme sürecinde kütle kaybı değişim.

4.6.1.3 Donma Çözülme Deneyleri Sonrasında Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişimi

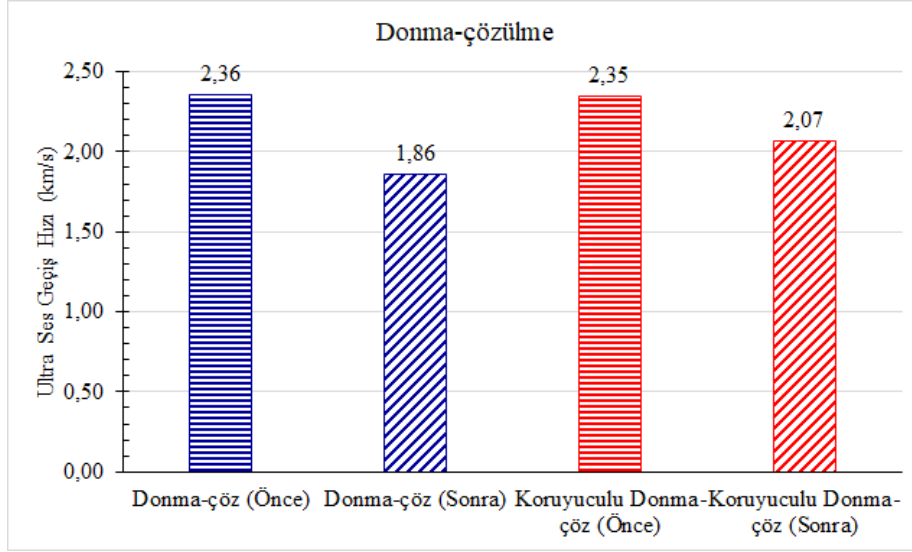
Donma çözülme deneyleri sonrasında tek eksenli basınç dayanımı TS EN 126 standartına göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar 4.17’de verilmiştir. Şekil 4.17’de görüldüğü üzere yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde; donma-çözülme öncesinde tek eksenli basınç dayanımı ortalama 20.80 MPa iken, donma-çözülme sonrasında tek eksenli basınç dayanımı ortalama 18.66 MPa olmuştur. Yüzey koruyucu uygulanmış örneklerde ise donma-çözülme öncesi tek eksenli basınç dayanımı ortalama 21.44 MPa iken donma çözülme sonrası ortalama 19.57 MPa olmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde görüldüğü üzere donma-çözülme sonrası tek eksenli basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde basınç dayanımı ortalama %11.44 oranında azalırken, yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise basınç dayanımı %9.55 oranında azalmıştır.



Şekil 4.17 Donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrasında tek eksenli basınç dayanımı değişimi.

4.6.1.4 Donma Çözülme Deneyleri Sonrasında Ultrases Geçiş Hızı Değişimi

Donma-çözülme deneyleri sonrasında ultrases geçiş hızı değişimi TS EN 14579'a göre yapılmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekil 4.18'de görüldüğü üzere yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde donma-çözülme deneyi öncesinde ultrases geçiş hızı değeri ortalama 2.36 km/s iken donma-çözülme deneyi sonrası ortalama 1.86 km/s olarak bulunmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmış olan örneklerde ise donma-çözülme deneyi öncesi ultrases geçiş hızı değeri ortalama 2.35 km/s iken donma-çözülme deneyi sonrası 2.07 km/s olarak bulunmuştur. Bulunan değerler gösteriyor ki yüzey koruyucu uygulanmamış ve uygulanmış örneklerde donma-çözülme sonrası ultrases geçiş hızı değerinde düşüş olmuştur.



Şekil 4.18 Donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrasında ultrases geçiş hızı değişim.

4.6.2 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (NaCl ve Na₂SO₄ 10H₂O)

Yaşlandırma deneylerinden birisi olan tuz kristallenme deneyleri; sodyum klorür ve sodyum sülfat çözeltileriyle 15 döngü olarak yapılmıştır. Döğer tüfü örneklerinin tuz kristallenmesine karşı duraylılığı, bazı fiziksel ve mekanik parametrelerde meydana gelen değişimler yardımıyla belirlenmiştir. Bu parametreler; kütle kaybı ve ultrases geçiş hızı gibi fiziksel ve tek eksenli basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerdir.

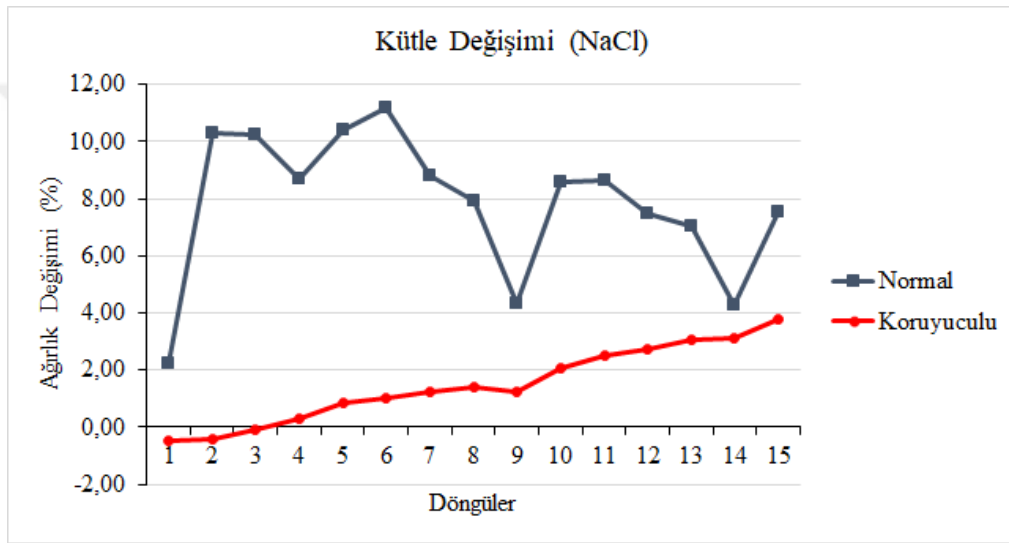
Deneyde kullanılan sodyum sülfat dekahidrat (Na₂SO₄ 10H₂O), sıcaklık ve nem koşullarına bağlı olarak hem mirabilit (Na₂SO₄ 10H₂O) hem de tenardit (Na₂SO₄) olarak kristalleşebilir (Flatt 2002, Benavente *et al.* 1999). Sodyum sülfat, yüksek nemli ortamlarda mirabilit (Na₂SO₄ 10H₂O), düşük nemde tenardit (Na₂SO₄) oluşturmak üzere kristalleşir (Flatt 2002). Mirabilitin dehidratasyonu ile de tenardit (Na₂SO₄) oluşmaktadır. Sodyum sülfat, susuz fazdan (tenardit) dekahidrat formuna (mirabilit) geçişi sırasında genişleme (mol hacminde 4.15 kat artış) özelliğine sahip olduğu için en zararlı tuzlardan biridir (Doehne 1994).

4.6.2.1 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (NaCl) Sonrasında Kütle Değişimi

Tuz kristalleştirme deneyleri (NaCl) sonrasında kütle değişimi TS EN 12370'e göre belirlenmiştir. Belirlenmiş olan değerler Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Şekil 4.19 görüldüğü gibi Döğer tüflerinin tuz kristallenmesi sonrası kütle kaybı değişimi yüzey

koruyucu uygulanmamış ve yüzey koruyucusu uygulanmış örnekler üzerinde hesaplanmıştır. Yüzey koruyucusu uygulanmamış olan örneklerde kütle artışı ortalama %7.50 olmuştur. Bunun nedeni toplam gözeneklilik değerinin %41.68 olmasından dolayı emilen tulu suyun içerisinde bulunan tuzların bu gözeneklerde birikmesidir.

Yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise kütle artışı ortalama %3.75 olmuştur. Bu durumda yüzey koruyucu kimyasal maddenin örneklerin yüzeyini koruyarak tuz çözeltisi emilimini %50 azalttığı tespit edilmiştir.

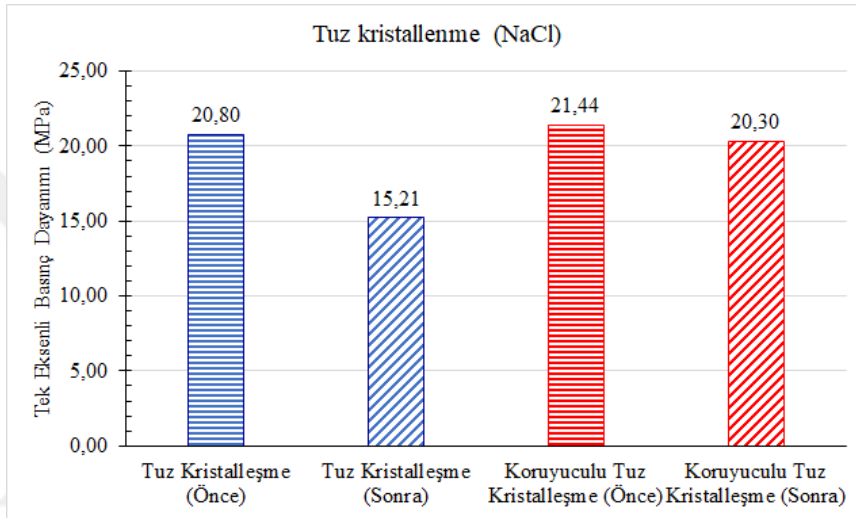


Şekil 4.19 Döğer tüfünün tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deneyi kütle değişimi grafiği.

4.6.2.2 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (NaCl) Sonrasında Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişimi

Tuz kristalleştirme deneyleri (NaCl) sonrasında tek eksenli basınç dayanımı TS EN 1926 standartına göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.20’de verilmiştir. Şekil 4.20’de görüldüğü üzere yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde; tuz kristallenme (NaCl) öncesinde tek eksenli basınç dayanımı ortalama 20.80 MPa iken, tuz kristallenme (NaCl) sonrasında tek eksenli basınç dayanımı ortalama 15.21 MPa olmuştur. Yüzey koruyucu uygulanmış örneklerde ise tuz kristallenme (NaCl) öncesi tek eksenli basınç dayanımı ortalama 21.44 MPa iken tuz kristallenme (NaCl)sonrası ortalama 20.30 MPa olmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmamış ve yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde görüldüğü üzere tuz kristallenme (NaCl) sonrası tek eksenli

basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde basınç dayanımı ortalama %36.75 oranında azalırken, yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde ise basınç dayanımı %5.62 oranında azalmıştır. Tuz kristallenmesinde büyüyen tuz kristallerinin zamanla gözenekleri doldurması ve uyguladığı iç basınç nedeniyle önce mikro çatlaklar oluşmakta daha sonra çatlaklar boyunca tane kaybı ve dağılma meydana gelmektedir. Bu olaylar nedeniyle kayaçların dayanımı azalmaktadır.

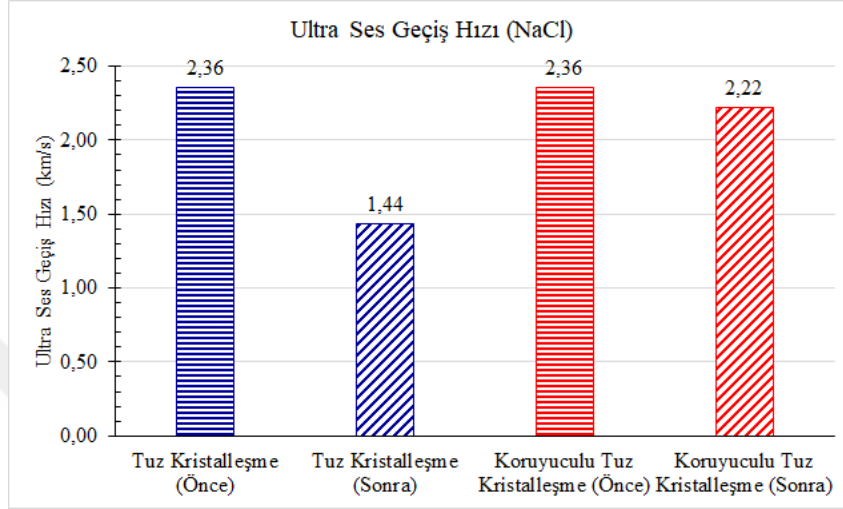


Şekil 4.20 Döğer tufunun tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deneyi tek eksenli basınç dayanımı grafiği.

4.6.2.3 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (NaCl) Sonrasında Ultrases Geçiş Hızı Değişimi

Tuz kristalleştirme deneyleri (NaCl) sonrasında ultrases geçiş hızı değişimi TS EN 14579'a göre yapılmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 4.21'de verilmiştir. Şekil 4.21'de görüldüğü üzere yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde tuz kristalleştirme deneyleri (NaCl) öncesinde ultrases geçiş hızı değeri ortalama 2.36 km/s iken tuz kristalleştirme deneyleri (NaCl) sonrası ortalama 1.44 km/s olarak bulunmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmış olan örneklerde ise tuz kristalleştirme deneyleri (NaCl) öncesi ultrases geçiş hızı değeri ortalama 2.36 km/s iken tuz kristalleştirme deneyleri (NaCl) sonrası 2.22 km/s olarak bulunmuştur. Bulunan değerler gösteriyor ki yüzey koruyucu uygulanmamış ve uygulanmış örneklerde tuz kristalleştirme deneyleri (NaCl) sonrası ultrases geçiş hızı değerinde düşüş olmuştur. Bilindiği üzere ses dalgaları katı ve

boşluksuz ve çatlaksız malzemelerde kırılmadan yayılmaktadır. Malzeme içerisinde çatlak ve boşluk olması durumunda ise ses dalgalarının geçiş hızı azalmaktadır. tuz kristallenmesi deneyi sonrasında ölçülen ultrases geçiş hızlarının düşük olması Döğer tüfü örneklerinde mikro çatlak ve boşlukların oluştuğunu göstermektedir.

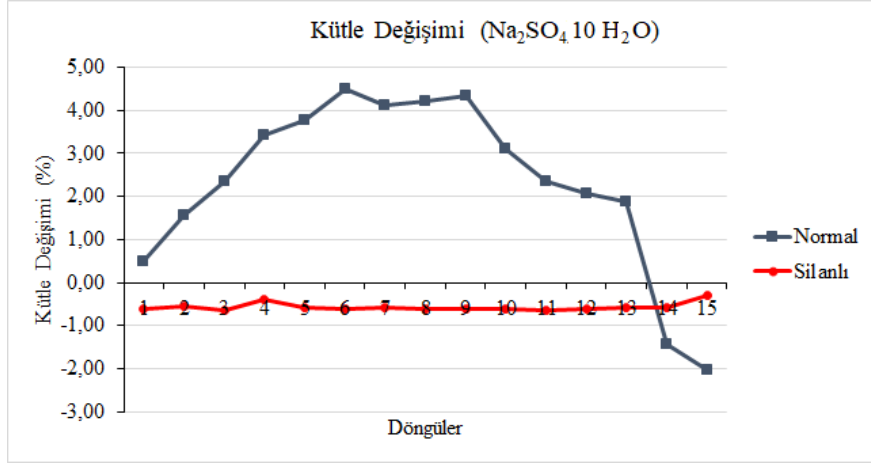


Şekil 4.21 Döğer tüfünün tuz kristallenmesine (NaCl) direncin tayini deneyi ultrases geçiş hızı grafiği.

4.6.2.4 Tuz Kristalleştirme Deneyleri ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Sonrasında Kütle Değişimi

Tuz kristalleştirme deneyleri ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) sonrasında kütle değişimi TS EN 12370'e göre belirlenmiştir. Belirlenmiş olan değerler Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Şekil 4.22'de görüldüğü gibi Döğer tüflerinin tuz kristallenmesi sonrası kütle kaybı değişimi yüzey koruyucu uygulanmamış ve yüzey koruyucusu uygulanmış örnekler üzerinde hesaplanmıştır. Yüzey koruyucusu uygulanmamış olan örneklerde kütle kaybı ortalama %2.02 olmuştur. Sodyum klorüre göre sodyum sülfat dekahidrat tuzunun hasar etkisi daha fazla olduğu için kütle kaybı meydana gelmiştir.

Yüzey koruyucusu uygulanmış olan örneklerde ise kütle kaybı ortalama %0.28 olmuştur. Bu durumda yüzey koruyucu kimyasal madde su itici özelliğinden dolayı tuzlu çözeltiyi emmemiş ancak ilerleyen döngülerde yüzey koruyucuda meydana gelen mikro çatlaklar nedeniyle çok az miktarda da olsa absorpsiyon meydana gelmiştir. Bu da az miktarda tuz kristallenmesi nedeniyle kütle kaybına yol açmıştır.



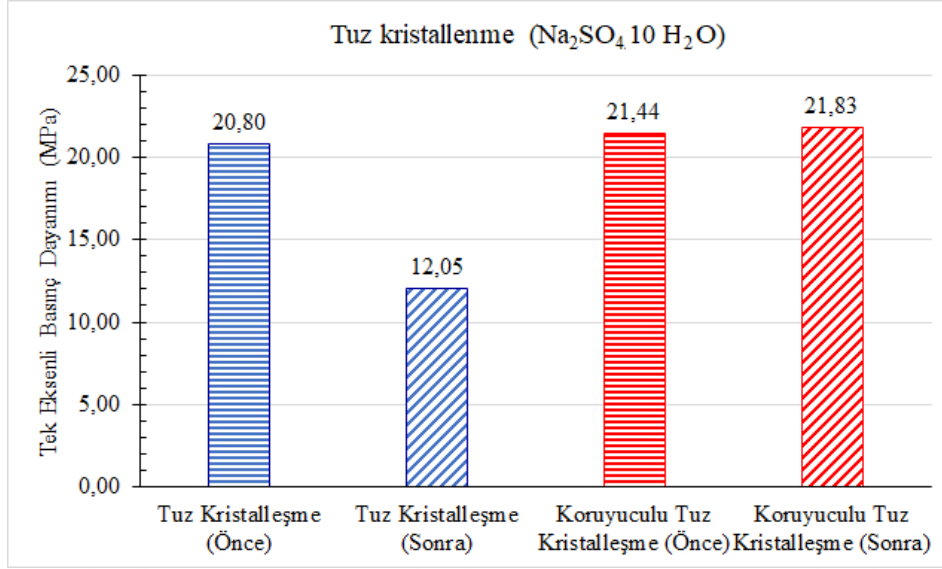
Şekil 4.22 Döğer tufunun tuz kristallenmesine (Na₂SO₄ 10H₂O) direncin tayini deneyi kütle değişimi grafiği.

4.6.2.5 Tuz Kristalleştirme Deneyleri (Na₂SO₄ 10H₂O) Sonrasında Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişimi

Tuz kristalleştirme deneyleri (Na₂SO₄ 10H₂O) sonrasında tek eksenli basınç dayanımı TS EN 1926 standartına göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.23’de verilmiştir. Şekil 4.23’de görüldüğü üzere yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde; tuz kristallenme (Na₂SO₄ 10H₂O) öncesinde tek eksenli basınç dayanımı ortalama 20.80 MPa iken, tuz kristallenme (Na₂SO₄ 10H₂O) sonrasında tek eksenli basınç dayanımı ortalama 12.05 MPa olmuştur.

Yüzey koruyucu uygulanmış örneklerde tuz kristallenme (Na₂SO₄ 10H₂O) öncesi tek eksenli basınç dayanımı ortalama 21.44 MPa iken tuz kristallenme (Na₂SO₄ 10H₂O) sonrası ortalama 21.83 MPa olmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde görüldüğü üzere tuz kristallenme (Na₂SO₄ 10H₂O) sonrası tek eksenli basınç dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise tuz kristallenme (Na₂SO₄ 10H₂O) sonrası tek eksenli basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir.

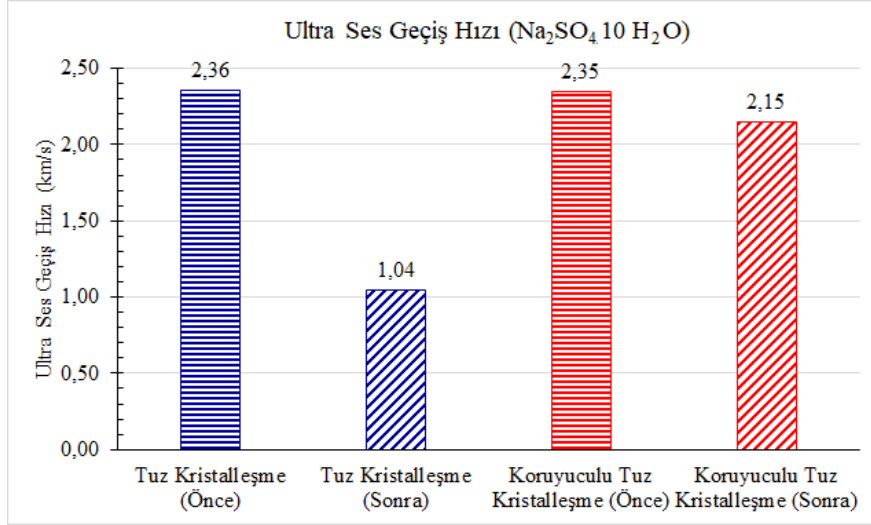
Yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde basınç dayanımı ortalama %72.58 oranında azalırken, yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise basınç dayanımı %1.79 oranında artmıştır. Tuz kristallenmesi sırasında meydana gelen mikro çatlaklar basınç dayanımının azalmasına yol açmıştır.



Şekil 4.23 Döğer tufünün tuz kristallenmesine ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) direncin tayini deneyi tek eksenli basınç dayanımı grafiği.

4.6.2.6 Tuz Kristalleştirme Deneyleri ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Sonrasında Ultrases Geçiş Hızı Değişimi

Tuz kristalleştirme deneyleri ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) sonrasında ultrases geçiş hızı değişimi TS EN 14579'a göre yapılmıştır. Tuz kristallenmesi deneyleri öncesi ve sonrasında koruyucu kimyasal madde uygulanmış ve uygulanmamış Döğer tuf örneklerinde ölçülen ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 4.24'de verilmiştir. Tuz kristallenmesi deneyleri öncesinde Döğer tüflerinin ultrases geçiş hızı 2.36 km/s olarak ölçülmüştür. Sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde deneylerden sonra ise 1.04 km/s olarak ölçülen ultrases geçiş değeri tuz kristallenmesi sırasında meydana gelen mikro çatlak ve boşluklar ile gözeneklerin artışına bağlı olarak azalmıştır. Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tüflerinde ise deneylerden önce 2.35 km/s olarak ölçülen ultrases geçiş hızı değeri deneylerden sonra 2.15 km/s belirlenmiştir. Bu durumda yüzey koruyucusu kimyasal madde tuz kristallenmesini ve su emme miktarını azaltarak oluşacak hasarı en aza indirmiştir. Bu nedenle ultrases geçiş hızı değeri normal örneklere göre daha yüksek olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.24 Döğer tüfünün tuz kristallenmesine ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) direncin tayini deneyi ultrases geçiş hızı grafiği.

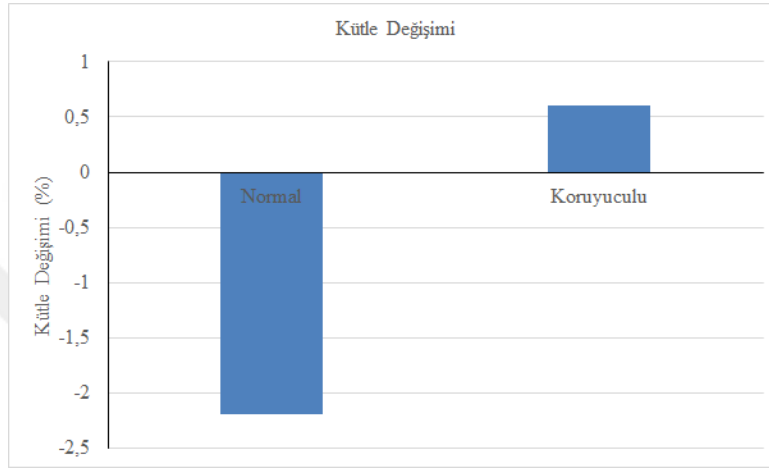
4.6.3 Kılcal Su Emme Deneyleri

Yaşlandırma deneylerinden birisi olan kılcal su emme deneyleri; TS EN 1925 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Kılcal su emme deneyleri koruyucu uygulanmamış ve koruyucu uygulanmış örneklerde yapılmıştır. Koruyucu uygulanmamış örneklerde su, gözenekler ve mikro çatlaklar yoluyla Döğer tüfünün içerisine nüfuz etmektedir. Bu özellik yapı taşlarında meydana gelen fiziksel ayrışmanın önemli bir nedenidir. Bu fiziksel ayrışmayı azaltarak taşın ömrünü uzatmak için doğal taşlara koruyucu kimyasal maddeler uygulanmaktadır. Bu nedenle Döğer tüflerinin kılcal su emme potansiyelini azaltmak amacıyla örneklerde koruyucu kimyasal madde kullanılmıştır. Bu amaçla koruyucu kimyasal madde uygulanmamış ve uygulanmış örneklerde kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Kılcal su emme deneyleri sonrasında Döğer tüf örneklerinde meydana gelen değişiklikler aşağıda açıklanmıştır.

4.6.3.1 Kılcal Su Emme Deneyleri Sonrasında Kütle Değişimi

Döğer tüflerinin kılcal su emme deneyi sonrasında koruyucu kimyasal madde uygulanmamış ve uygulanmış örneklerinde kütle değişimleri TS EN 1925'e göre belirlenmiştir. Deney sonrası etüvde kurutulan örneklerin kuru ağırlıkları tartılarak ilk kuru ağırlığa göre kütle değişimleri hesaplanmıştır ve elde edilen grafik Şekil 4.25'de verilmiştir. Döğer tüflerinin koruyucu kimyasal madde uygulanmamış örneklerinde

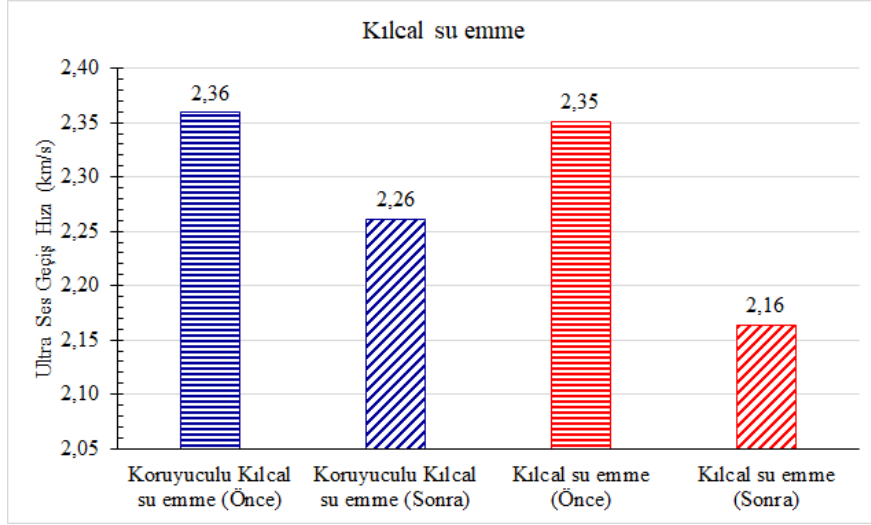
%2.19 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir. Koruyucu kimyasal madde uygulanan örneklerde ise %0.6 oranında kütle artışı hesaplanmıştır. Kılcal su emme normal örneklerde kütle kaybına yol açarken koruyucu kimyasal madde uygulanmış örneklerde ise kütle kaybını engellemiştir. Meydana gelen kütle artışının da tüflerin içerisine giren suların, koruyucu kimyasal maddeden dolayı bünyeyi terk edemeyen sulardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.25 Döğer tüfünün kılcal su emme deneyi sonrasında kütle değişimi.

4.6.3.2 Kılcal Su Emme Deneyleri Sonrasında Ultrases Değişimi

Kılcal su emme deneyleri sonrasında ultrases geçiş hızı ölçümü TS EN 14579'a göre yapılmıştır. Kılcal su emme deneyleri öncesi ve sonrasında koruyucu kimyasal madde uygulanmış ve uygulanmamış Döğer tüf örneklerinde ölçülen ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 4.26'da verilmiştir. Kılcal su emme deneyleri öncesinde Döğer tüflerinin ultrases geçiş hızı 2.35 km/s olarak ölçülmüştür. Koruyucu uygulanmamış örneklerin deneylerden sonra ise ultrases geçiş hızı değeri 2.16 km/s olarak ölçülmüştür. Koruyucu uygulanmamış örneklerde %8.61 oranında ultrases geçiş hızı azalması meydana gelmiştir. Bu durum deneyler sırasında meydana gelen mikro çatlak ve boşluklar ile gözeneklerin artışına bağlı olarak oluşmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tüflerinde ise deneylerden önce 2.36 km/s olarak ölçülen ultrases geçiş hızı değeri deneylerden sonra 2.26 km/s belirlenmiştir. Koruyucu uygulanmış örneklerde %4.34 olan ultrases geçiş hızı azalması, yüzey koruyucusu kimyasal maddenin kılcal su emme miktarını azaltmasından kaynaklanmıştır.

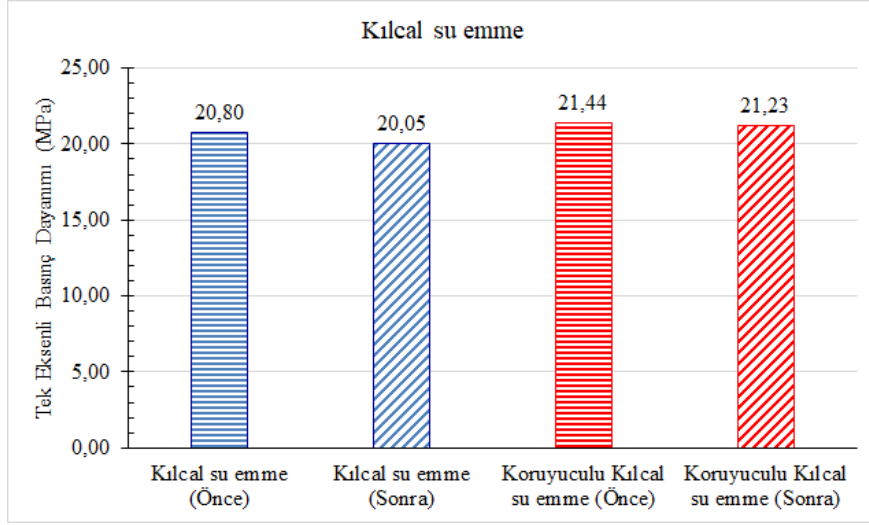


Şekil 4.26 Döğer tufünün kılcal su emme deneyi ultrases geçiş hızı grafiği.

4.6.3.3 Kılcal Su Emme Deneyleri Sonrasında Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değişimi

Kılcal su emme deneyleri sonrasında tek eksenli basınç dayanımı TS EN 1926 standartına göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.27’de verilmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde; kılcal su emme öncesinde tek eksenli basınç dayanımı ortalama 20.80 MPa iken, kılcal su emme deneyleri sonrasında tek eksenli basınç dayanımı ortalama 20.05 MPa olmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde deney öncesine göre %3.72 oranında basınç dayanımı azalması meydana gelmiştir.

Yüzey koruyucu uygulanmış örneklerde kılcal su emme deneyleri öncesi tek eksenli basınç dayanımı ortalama 21.44 MPa iken kılcal su emme deneyleri sonrası ortalama 21.23 MPa olmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde deney öncesine göre %0.98 oranında basınç dayanımı azalması meydana gelmiştir. Bu durum yüzey koruyucu kimyasal maddenin su emme miktarını sınırlayarak aynı zamanda tüflerin dayanımının da normal örneklere göre azalmasını engellemiştir.



Şekil 4.27 Döğer tufünün kılcal su emme deneyi tek eksenli basınç dayanımı değişimi grafiği.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Afyonkarahisar yöresinde bol miktarda bulunan tüfler antik dönemlerden beri yapı taşı olarak kullanılmıştır. Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinden günümüze kadar gelen çok sayıda kervansaray, camii, çeşme, türbe vb. tarihi eserlerin yapımında Döğer tüflerinin kullanıldığı görülmektedir. Günümüzde de Döğer yöresinde tüf ocağı işletilmekte ve yöresel olarak bina ve camii yapımında bu tüfler kullanılmaktadır. Tüflerin bol gözenekli yapısından dolayı atmosfer ve çevresel etkilere bağlı olarak ayrıştığı bilinmektedir. Bu ayrışmalar genellikle malzemenin içerisine giren sularla ilgilidir. Sular, gerek tek başına gerekse dolaylı olarak tüflerin ayrışmasında önemli bir rol oynamaktadır. Atmosferik etkilere bağlı olarak suyun malzeme içerisindeki gözenek ve kılcal çatlaklarda dolaşarak donma-çözülme, ıslanma-kuruma ve tuz kristallenmesi olaylarına neden olduğu bilinmektedir. Özellikle çözünebilir tuzlar sularla beraber malzeme içinde dolaşarak tuz kristallenmesine neden olmakta ve tüflerin ayrışmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Döğer tüflerinin kullanıldığı yapılarda görülen ayrışmalar zaman içinde tüflerin fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek restorasyon ve konservasyon çalışmalarını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, Afyonkarahisar İhsaniye-Döğer bölgesine ait tüflerin atmosferik etkilerden dolayı ayrışmasını incelemek üzere kılcal etkiye bağlı su emme, donma-çözülme ve tuz kristallenme deneyleri yapılmıştır. Aynı deneyler tüflerin daha uzun ömürlü olmasını ve ayrışmasını yavaşlatmak amacıyla kullanılan koruyucu kimyasal maddeler uygulanan örnekler üzerinde de yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada Döğer tüflerinin ayrışmasında önemli olan kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek üzere karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu aşamada polarizan mikroskop ve SEM incelemeleri yapılarak mineralojik ve petrografik özellikler incelenmiştir. Aynı şekilde su emme ile doğrudan ilişkili olan gözenek boyut dağılımı civalı porozimetre ile belirlenmiştir.

İkinci aşamada, bu çalışmanın da esasını oluşturan yaşlandırma deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla standartlara uygun olarak kimyasal koruyucu uygulanmamış ve uygulanmış

örneklerde kılcal etkiye bağlı su emme, donma-çözülme ve tuz kristallenme deneyleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise bu deneyler sonucunda meydana gelen değişiklikler; kütle değişimi, ultrases geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi fiziksel ve mekanik parametreler yardımıyla incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

Döğer tüflerinin kökenini bulmak amacıyla yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre riyolitik bileşimli olduğu belirlenmiştir. Mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla polarizan mikroskop ve XRD incelemeleri yapılmış olup kuvars, feldspat (albit, sanidin), piroksen ve illit minerallerinden meydana geldiği tespit edilmiştir.

Döğer tüflerinin gözenek boyutlarının $0.01 \mu\text{m}$ - $100 \mu\text{m}$ arasında tek tepeli (unimodal) bir dağılım sergilediği belirlenmiştir. Genel olarak gözenek boyutlarının $0.1 \mu\text{m}$ ile $8 \mu\text{m}$ boyutları arasında yoğunlaştığı gözlenmiştir.

Döğer tüfünün yapılan deneylere göre açık gözenekliliği %25.94 ve toplam gözenekliliği %41.68, birim hacim ağırlık değeri 1498.41 kg/m^3 , özgül ağırlık (gerçek yoğunluk) ortalama ağırlık 2.57 g/cm^3 , ağırlıkça su emme değeri ise %17.17 olarak belirlenmiştir. Döğer tüfünün ultra ses geçiş hızı değerleri ortalaması 2.36 km/s ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri ortalama olarak 20.80 MPa olarak belirlenmiştir.

Döğer tüflerinin ayrışma miktarını belirlemek üzere yapılan yaşlandırma deneylerinde alınan sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

Kılcal etkiye bağlı su emme deneyleri ile Döğer tüfünün, yüzey koruyucusu uygulanmamış ve yüzey koruyucusu uygulanmış örnekler üzerinde kılcal su emme kapasiteleri belirlenmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüfünün 2880 dk sonunda kılcal su emme kapasitesi $14.59 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olarak bulunmuştur. Bu veriye göre Döğer tüfleri, Graue vd. (2011) tarafından tanımlanan güçlü kılcal su emme ($>3.0 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$) gösteren taşlar sınıfına girmektedir.

Yüzey koruyucusu uygulanmış Döğer tüfünde ise kimyasal madde su emme özelliğini sınırlamış olup 2880 dk sonunda kılcal su emme kapasitesi $0.37 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olarak

bulunmuştur. Yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde kılcal su emme kapasitesi $14.59 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ 'den $0.37 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ 'ne düşmesinin en önemli sebebi yüzeydeki gözeneklerin kapanmasıdır. Bu durumda Graue vd. (2011) tarafından verilen kılcal su emme katsayısı değerine göre; yüzey koruyucusu uygulanmış olan Döğer tüfleri düşük kılcal su emme ($<0.5 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$) gösteren taşlar sınıfındadır.

Don tesirlerine dayanıklılık deneyleri Döğer tüfünün yüzey koruyucu kimyasal madde uygulanmamış ve uygulanmış örneklerinde 25 döngü olarak yapılmıştır. Yapılan deney döngüleri sonucunda, örneklerin yüzeylerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Döngü sayısı arttıkça örneklerde ayrışma miktarı da artmıştır. Bunun sebebi, donma sırasında suyun buza dönüşmesi sonucunda hacmin %9 oranında artmasına paralel olarak mikro çatlaklar meydana gelmiştir. Bu nedenle yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde; döngüler arttıkça örneklerin su emme miktarları da artmıştır. Yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise yüzeylerinde değişime rastlanılmamıştır. 25. döngü sonunda yapılan incelemeler sonucunda Döğer tüfü örneklerinin fiziksel bütünlüğünün bozulmadığı görülmüştür.

Döğer tüflerinin tuz kristallenmesine direncini belirlemek amacıyla; sodyum klorür ve sodyum sülfat tuzları kullanılmıştır. Sodyum sülfat ve sodyum klorür tuz çözeltilerinde 15 döngü olarak yapılan deneylerde yüzey koruyucusu uygulanmış ve yüzey koruyucusu uygulanmamış örnekler kullanılmıştır.

Sodyum klorür (NaCl) çözeltisi deneylerinde; yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde; 2. döngü sonrasında örneklerin bazılarında yüzeylerden partikül kopmaları meydana gelmiştir. 8. döngü sonrasında ise tüm örneklerin yüzeylerinde bozuşmalar meydana gelmiştir ve bunun sonucunda da parçalanmalar gözlenmiştir. Yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise ilk 6. döngüye kadar sadece renkte solmalar meydana gelmiştir herhangi bir ayrışma olayı gözlenmemiştir. 6. döngü sonrasında ise örneklerin yüzeylerinde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Döğer tüfünün porozite değeri yüksek olduğu için deneyde kullanılan örnekler, tuzlu çözeltiyi emerek gözeneklerde tuz kristallenmesi meydana gelmiştir. Suda çözünebilir tuzlar, suyla beraber malzeme içerisine kılcal yollarla girerek gözenek boyut dağılımına göre hareket ederler.

Gözeneklerde biriken su içerisindeki tuz mineralleri, orada kristalleşmeye başlar. Döngü sayısı arttıkça gözeneklere yeni gelen sular daha önce oluşmuş olan bazı tuz kristallerini kısmen eritirler ve sıcaklık artışına bağlı olarak yeniden kristallenme meydana getirirler. Böylece gözenek içerisindeki tuz kristalleri büyümeye başlar ve gözenek iç çeperlerine baskı yaparak mikro çatlaklar oluştururlar. Buna bağlı olarak da gözenek miktarı artar ve daha fazla tuz kristalleri meydana gelir. Nitekim örneklerde kütle artışı meydana gelmiştir. Kütle artışı değerleri, yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde ortalama %7.50, yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise %3.75 olarak gerçekleşmiştir.

Yüzey koruyucu kimyasal madde, koruma görevini yerine getirmiş ve tuz çözeltisinin emilimini %50 oranında azaltmıştır. Bundan dolayı önemli bir ayrışma meydana gelmemiştir. Bu durum tek eksenli basınç deneylerinde de görülmüştür. Basınç dayanımı değerleri, yüzey koruyucusu uygulanmamış örneklerde ortalama %36.75, yüzey koruyucusu uygulanmış örneklerde ise %5.62 oranında azalmıştır.

Sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) çözeltisi deneyinde ise; yüzey koruyucusu uygulanmamış Döğer tüflerinde 8. döngü sonrasında örneklerin yüzeylerinde bozuşmalar sonucunda ufalanmalar meydana gelmiştir. Yüzey koruyucu uygulanmış olan örneklerde ise döngüler boyunca herhangi bir bozuşmaya rastlanılmamıştır. Döğer tüfünün gözeneklilik değeri yüksek olduğu için kılcal emilimden dolayı tuzlu su çözeltisi örneklerde infiltre olmuştur. Bu nedenle gözeneklere giren suyun içerisinde çözünmüş halde bulunan tuzların kristallenmesi kütle artışına neden olmuştur. Döğer tüfünün yüzey koruyucu uygulanmış örneklerinde ise, kimyasal madde yüzeye hidrofobik özellik kazandırdığı için tuzlu suyun infiltre olması engellenmiş ve ağırlıklarda fazla bir değişim olmamıştır.

Sonuçlardan da anlaşılabileceği gibi Döğer tüf örnekleri; mineralojik ve petrografik, yaşlandırma deneyleri (tuz kristallenmesi, donma- çözünme ve kılcal etkiye bağlı su emme) ve de fiziksel ve mekanik (tek eksenli basınç dayanımı, ultra ses geçiş hızı değişimi, ağırlıkça su emme, açık ve toplam gözeneklilik, birim hacim ve özgül ağırlık ve gözenek boyut dağılımı) deneyler ile incelenmiştir. Döğer tüfünün gözenekli ve geçirgen bir yapıya sahip olduğu yapılan deneylerle belirlenmiştir. Bu deneylerin sonuçlarına göre koruyucu malzeme uygulanmamış örneklerde ayrışma ve bozunmalar

meydana geldiği açıkça gözlenmiştir. Koruyucu malzeme uygulanmış örneklerde ise ayrışmalara ve bozunmalara daha az rastlanılmaktadır.

ÖNERİLER

Döğer tüfleri için yapılan bu deneysel çalışmalar, yapılacak olan restorasyon çalışmalarını ve yeni yapılar için çevresel faktörlerde göz önüne alınarak bir ölçüt olabilir. Ve bu ölçüt doğrultusunda yapılacak olan restorasyon çalışmaları ve yeni binalarda kullanılacak Döğer tûfünün kullanımının uzun ömürlü olması için seçilecek olan koruyucu malzemeyi tercih edilebilir hale getirilebilir.

Yapılan deneyler ve Döğer tûf örnekleri sabit tutularak farklı koruyucular arasında karşılaştırma yapılabilir. Ve yapılan bu karşılaştırma sonucunda; ekonomiklik, uygulanabilirlik, koruyucunun dayanım süresi, sağlık için olumlu ve olumsuz yönleri, örneklere uyum süresi gibi veriler örnek alınarak karşılaştırma yapılarak en uygun koruyucu malzeme seçimi yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Altindag, R., Alyildiz, S. I. and Onargan, T. (2004). “Mechanical property degradation of ignimbrite subjected to recurrent freeze-thaw cycles”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **41**: 1023-1028.
- Alves, C., Figueiredo, C., Maurício, A. (2017). A Critical discussion of salt weathering laboratory tests for assessment of petrological features susceptibility. *Procedia Earth and Planetary Science*, **17**: 324–327.
- ASTM D 5550-06., (2005). Gaz Piknometresiyle Özgül Kütle Tayini (Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer).
- Beavis, F. C. (1985). Engineering Geology. Blackwell Scientific Publications.
- Bell, F. G. (1983). Engineering Properties of Soils and Rocks, 2nd Edition Butterworths.
- Benavente, D., García, del Cura, M. A., Fort, R., Ordóñez, S. (1999). Thermodynamic modelling of changes induced by salt pressure crystallization in porous media of stone, *Journal of Crystall Growth*, **204**: 168-178.
- 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 the Environment, Athens, Greece, A. A. Balkema, Rotterdam, 3: 3065-3069.
- Çelik, M. Y., Öztürk, Y. (2012). Afyonkarahisar’da tarihi çeşmelerde yapıtaşı olarak kullanılan volkanik kayalarındaki ayrışmaların incelenmesi. *Madencilik*, **51**: 31-47.
- Çelik, M. Y. (2003). Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri, *Madencilik*, **42**: 3-15.
- Çelik, M. Y., Akbulut, H., Ergül, A. (2014). Water absorption process effect on strength of Ayazini tuff, such as the uniaxial compressive strength (UCS), flexural strength and freeze and thaw effect. *Environmental Earth Sciences*, **71**: 4247–4259.
- Çelik, M. Y. (2015). Mermer Jeolojisi Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yayınlanmamış.

- Çelik, M. Y., Ergül, A. (2015). The influence of the water saturation on the strength of volcanic tuffs used as building stones. *Environmental Earth Sciences*, **74**: 3223–3239,
- Çelik, M. Y., Tan, G. (2016). Döğer (İhsaniye-Afyon) Tüflerinin Doğal Yapı Taşı Olarak Teknolojik Özellikleri ve Mevlevi (Türbe) Cami Restorasyonu, *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, **19**: 399-408.
- Çelik, M. Y. and Kaçmaz, A. U. (2016). The investigation of static and dynamic capillary by water absorption in porous building stones under normal and salty water conditions, *Environmental Earth Sciences*, **75**: 307.
- Çelik, M. Y. (2017). Afyonkarahisar yöresi tüflerinin fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, **20**: 961-970.
- Çelik, M. Y. ve Yılmaz. S. (2018). Statik, tuzlu ve asidik sulu ortamların Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan gözenekli yapıtaşlarının kılcal su emme potansiyeline etkisi, Influence of the static, salty, acidic hydrous environments on the capillarity potential of the porously building stone, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **33**: 591-607.
- Çelik, M. Y., Aygün, A. (2018). The effect of salt crystallization in porous building stones by sodium sulfates and sodium chlorides on degradation, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1354-y>.
- Chen, T. C., Yeung, M. R., Mori, N. (2004). Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze-thaw action, *Cold Regions and Technology*, **38**: 127-136.
- Çobanoğlu, İ. (2015). Prediction and identification of capillary water absorption capacity of travertine dimension stone, *Arabian Journal of Geosciences*, **8**: 10135.
- Dal, M., Öcal, A. D. (2013). Limestone used in Islamic religious architecture from Istanbul and Turkish Thrace, METU, *Journal of the Faculty of Architecture*, METU (Middle East Technical University). JFA.2013/1 (**30**: 1)

- Dal, M., Yalçın, M., Öcal, A.D. (2016). Gazimağusa kaleindeki tarihi taş yapılarda görülen ayrışmalar, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **31**: 355-363, Adana.
- Daloğlu, G. ve Emir, E. (2010). Eskişehir-Derbent bölgesi beyaz tüflerinin doğal yapı taşı olarak değerlendirilebilirliği, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **23**: 92-104.
- Dal, M., Umaroğulları, G., A. (2014). Petrografic and chemical analysis of the degree of deformation in historical building stones in Edirne, *International Journal of Scientific Research*, **3**: 392-395.
- Demir, İ., Başpınar, M. S., Görhan, G. (2006). Afyonkarahisar – Ayazini tüflerinin mekanik özellikleri ve yapı taşı olarak kullanılabilirliği. MERSEM 2006, *Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyon, 31-38.
- 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.
- Dolar, A., Yılmaz, Ş. E. (2014). Kültürel yapılarda biyolojik ayrışma mekanizmaları, *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, **12**: 1-19.
- Duran, F. (2009). Erciyes Volkanizmasının Oluşumu, Koçcağz Köyü (Kayseri) Dolayının Stratigrafisi Ve Tüflerin Yapı - Kaplama Taşı Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erkanol D., Aydındağ A. (2013). Türkiye geneli doğal taş potansiyel alanlarının belirlenmesi projesi, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, **16**: 147-156.
- Ertaş, K. (2001). Binalarda Buhar Difüzyonu Olayının İrdelenmesi. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım kongresi, 23-25 Mart, Eskişehir/Türkiye.
- Ertek, N. (2008). Kapadokya (Nevşehir-Kayseri) bölgesi kaolinitik tüflerin oluşumu ve hammadde potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 76-78, 81-84.

- Flatt, R. J. (2002). Salt damage in porous materials: How high supersaturations are generated, *Journal of. Crystall Growth*, **242**: 435–454.
- Franklin, J. A. Chandra, R. (1972). The slake durability test, *International. Journal of Rock Mechanic Mining Science*, pp. 325- 34.
- Ghobadi, M. H., Taleb Beydokhti, A. R., Nikudel, M. R., Asiabanha, A. and Karakus, M., (2016). The effect of freeze–thaw process on the physical and mechanical properties of tuff, *Environmental Earth Sciences*, 75, 846.
- Gökaltun, E. (2010). Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Eskişehir tarihi Kurşunlu Camii'nin duvarlarında yüzey suyunun etkisi. *Trakya University Journal of Science*, **11**: 70-80.
- Graue, B, Siegesmund, S, Middendorf, B. (2011). Quality assessment of replacement stones for the cologne cathedral: mineralogical and petrophysical requirements, *Environ Earth Science*, **63**: 1799–1822.
- Gürdal, E. (2000). Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Hoffmann, D. and Niesel, K. (1992). Pore structure of rendering as a feature of its weathering, 7th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Lisbon, 611-620.
- Ioannou, I., Hoff, W. D. (2008). Water repellent influence on salt crystallisation in masonry, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Construction Materials*, **161**: CM1, 17–23.
- Johnson, R. B. Degraff, J. V. (1988). Principles of Engineering Geology John Willey Sons.
- Juhász, P., Kopeckó, K. and Suhajda Á. (2014). Analysis of capillary absorption properties of porous limestone material and its relation to the migration depth of bacteria in the absorbed biomineralizing compound. Periodical Polytechnic. *Civil Engineering*, **(58)**: 113-120.
- Kadir, S. ve Karakaş, Z. (2000). Konya miyosen yaşlı volkanik birimlerin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemesi ile neoform kil mineral oluşumlarının irdelenmesi, *MTA Dergisi*, **122**: 97 sf.

- Karagiannis, N., Karoglou, M., Bakolas, A. and Moropoulou, A. (2016). Effect of temperature on water capillary rise coefficient of building materials, *Building. Environmental*, **106**: 402-408.
- Karaman, M. E. ve Kibici, Y. (2008). Temel Jeoloji Prensipleri, Belen Yayıncılık ve Matbaacılık, Ankara, 335 sf.
- Karapanagiotis I., Pavlou A., Manoudis P.N., Aifantis K.E. (2014). Water repellent ORMOSIL films for the protection of stone and other materials, *Material Letter*, **131**: 276–279.
- Karazeybek, M., Polat, Z. ve Ilgar, Y. (2005). Afyonkarahisar Vakıf Eserleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, Yayın no: 60, Afyonkarahisar, 412 sf.
- Karoglou, M., Moropoulou, A., Giakoumaki, A. and Krokida, M.K. (2005). Capillary rise kinetics of some building materials. *Journal of Colloidal Interface Science*, **284**: 260--264.
- Kavas, T., Çelik, M. Y. (2001). Ayazini (Afyon) tüflerinin çimento sanayinde tras olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, *Madencilik Dergisi*, **40**: 39-46.
- Klopfer, H. (1985). Feuchte. In: Lutz, P. *et al.* (eds) *Lehrbuch der Bauphysik*, Teubner, Stuttgart, pp 329–472.
- Kulaksız, S. R. (2007). Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşletme Teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 621 sf.
- Kuşçu, M., Yıldız, A. (2001). Ayazini tüflerinin yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, Ed: Y. Kibici, İ.S. Büyüksağış, Afyon, 85-98.
- Küçükaya, A. G. (2004). Taşların Ayrışma Nedenleri Koruma Yöntemleri. Birsen Yayınevi, 163 s, İstanbul.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R.W. and Woolley, A.R. (1992). The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. *Mineralogy and Petrology*, **46**: 1-22.

- Licchelli, M., Malagodi, M., Weththimuni, M. L., Zanchi, C. (2013). Water-repellent properties of fluoroelastomers on a very porous stone: Effect of the application procedure, *Progress in Organic Coatings*, **76**: 495–503.
- Liu, Q., Huang, S., Kang, Y. and Liu, X. (2015). “A prediction model for uniaxial compressive strength of deteriorated rocks due to freeze–thaw”, *Cold Regions Science and Technology*, **120**: 96-107.
- López-Doncel, R., Wedekind, W., Leiser, T. (2016). Salt bursting tests on volcanic tuff rocks from Mexico, *Environmental Earth Sciences*, **75**, 212.
- Mertz, J. D. (1991). Structures de porosité et propriétés de transport dans les grès, Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur, Starsbourg.
- Metin, S., Genç, Ş. ve Bulut, V. (1987). “Afyon ve Dolayının Jeolojisi”, MTA Rapor No: 8103, Yayınlanmamış.
- Moreno, F., Vilela, S. A. G., Antunes, A. S. G. and Alves, C. A. S. (2006). Capillary-rising salt pollution and granitic stone erosive decay in the parish church of Torre de Moncorvo (NE Portugal), *Journal of Cultural Heritage*, **7**: 56--66.
- Mosquera, M. J., Rivas, T., Priet, B. and Silva, B. (2000). Capillary rise in granitic rocks: interpretation of kinetics on the basis of pore structure, *Journal of Colloidal Interface Sciences*, **222**: 41-45.
- MTA. (2009). “Afyon İli Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları”, MTA Orta Anadolu II. Bölge Müdürlüğü, Konya.
- Nicholson, D. T. (2001). Pore properties as indicators of breakdown mechanisms in experimentally weathered limestones, *Earth Surfaces Processes Landforms*, **26**: 819-838.
- Olivier, H. J. (1979). A new engineering geological rock durability classification. *Engineering Geology*, **14**: pp 255-279.
- Özbek, A. (2014). Investigation of the effects of wetting–drying and freezing–thawing cycles on some physical and mechanical properties of selected ignimbrites, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **73**: 595–609.

- Özgünler, A. S., Gürdal E. (2008). Ahi Çelebi Camii'nde kullanılan Od taşının konservasyon çalışmaları. *İTÜ Dergisi/A Mimarlık, Planlama, Tasarım*, **7**: 52-63.
- Öztuna, Y. (1983). Büyük Türkiye Tarihi, C.7. s.398. İstanbul.
- Peruzzi, R., Poli, T. and Toniolo, L. (2003). The experimental test for the evaluation of protective treatments: a critical survey of the "capillary absorption index". *Journal of Cultural Heritage*, **4**: 251--254.
- Richards, L. R. (1972). Classification of Weathering of Near Surface Jointed Rock. PhD Thesis, Royal School of Mines. Imperial College, London, England, 165.
- Ruedrich, J., Kircher, D. and Siegesmund, S. (2011). Physical weathering of building stones induced by freeze-thaw action: a laboratory long-term study, *Environmental Earth Sciences*, **63**: 1573–1586.
- Salazar-Hernández, C., Cervantes, J., Puy-Alquiza, M. J. (2015). Miranda R., Conservation of building materials of historic monuments using a hybrid formulation, *Journal of Cultural Heritage*, **16**: 185–191.
- Siegesmund, S., Dürrast, H. (2011). Physical and mechanical properties of rocks. in: stone in architecture, 4th edition, Siegesmund S., Snethlage R. eds., Berlin: Springer, pp. 97–225.
- Tomašić, I, Lukić, D, Peček, N, Kršinić, A. (2011). Dynamics of capillary water absorption in natural stone. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **70**: 673–680.
- Topal, T. and Doyuran, V. (1997). Engineering geological properties and durability assesment of the Cappadocian tuff. *Engineering Geology*, **47**: 175-187.
- TS EN 1936. (2010). Doğal taşlar-Deney Yöntemleri-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, TSE, Ankara, 10 s.
- TS EN 13755. (2014). Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, TSE, Ankara, 10 s.
- TS EN 14579. (2006). Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini, TSE, Ankara, 14 s.

- TS EN 1925. (2000). Doğal taşlar- deney metotları-kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, TSE, Ankara, 9 s.
- TS EN 1926. (2013). Doğal taşlar-deney yöntemleri-tek eksenli basınç dayanımı tayini, TSE, Ankara, 19 s.
- TS EN 12371. (2003). Türk Standartları, Doğal taşlar-deney metotları-dona dayanım tayini, TSE, Ankara, 8 s.
- TS EN 12370. (2001). Türk Standartları, Doğal taşlar-deney metotları-tuz kristallenmesine direncin tayini, TSE, Ankara, 8 s.
- Ünal, M. (2006). Tuz Kristallenmesi Kaynaklı Bozunumun Yapı Taşları Üzerindeki Çalışma Raporu, Selçuk Üniversitesi, çalışma raporu, 22 s.
- Ünal, M., Özkan, İ., Kekeç, B. (2006). Yapıtaşlarında tuz kristallenmesine bağlı ayrışmanın ultrasonik hız ölçümleri ile kestirimi, Mersem Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 431-437.
- Turhan, N., 2002. Türkiye jeoloji haritası Ankara paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1s., Ankara.
- Ünal, M., Gündoğdu N. (2011). The effect of salt crystallization on tuff used as building material, *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, **6**: 41-49.
- Ünver, B. & Ünal, M. (1995). Effect of Weathering Properties of Rocks on The Stability of Surface Excavations and Underground Openings. *Mining Journal*, Chamber of mining Ankara.
- Ürünveren, K., A. (2008). Kadirli (Osmaniye) Kösepınar Köyü Ve Çevresindeki Mermerlerin Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana.
- Washburn, E.W. (1921). The dynamics of capillary flow. *Physical Review Journals* **17**: 273–283.

- Vazquez, P., Alonso, F. J., Esbert, R. M. and Ordaz, J. (2010). Ornamental granites: relationship between P- waves velocity, water capillary absorption and crack network. *Construction and Building Materials*, **24**: 2536-2541.
- Yavuz, A. B. (2012). Durability assessment of the Alaçatı tuff (Izmir) in western Turkey, *Environ Earth Sci*, **67**: 1909-1925.
- 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, *Building and Environment*, **42**: 1453-1457.
- Ziyaettin, N., Tanaçan, L. (2011). Kimyasal uygulamalarının Kuzey Kıbrıs yapı taşlarının d rabilitesi üzerine etkisi. *ITU Journal Series A: Architecture, Planning, Design*, Vol. 10 Issue 2, p39-50. 12p.

 internet Kaynakları

1. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/yapi-taslari>, 31.10.2018
2. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/78336/mod_resource/content/0/4-Taramal%C4%B1%20Elektron%20Mikroskobu%20%28SEM%29.ppt, 10.11.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem GÜVEN

Doğum Yeri ve Tarihi : Kütahya, 1988

Yabancı Dili : İngilizce

İletişim (Telefon/e-posta) : 05546029912- ozlemguven2080@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kütahya Atatürk Anadolu Lisesi, (2002-2006)

Lisans : Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği
Bölümü, (2010-2014)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2015-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :Alimoğlu Mermer (2014-2016)

Bilge Madencilik (2018- Devam ediyor)