

CivilTech

International Symposium on Innovations in
Civil Engineering and Technology

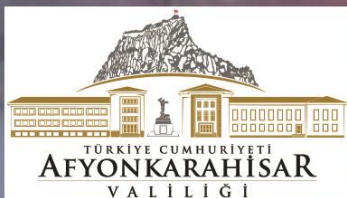
23-25 OCTOBER 2019
AFYONKARAHİSAR-TURKEY

BOOK OF PROCEEDINGS

VOLUME I

EDITORS

Hüseyin AKBULUT
Cahit GÜRER
Gökhan GÖRHAN
Gökhan KÜRKLÜ
B. Enis KORKMAZ



**1st International Symposium on
Innovations in Civil Engineering
and Technology**

I CIVILTECH 2019

BOOK OF PROCEEDINGS

VOLUME 1

**Afyonkarahisar
October 23-25, 2019**

BOOK OF PROCEEDINGS

First International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology
(1ST I CIVILTECH)

THEME: Innovations in Civil Engineering and Technology

PUBLISHER: Prof. Dr. Hüseyin AKBULUT

EDITED BY: Hüseyin AKBULUT, Cahit GÜRER, Gökhan GÖRHAN, Gökhan KÜRKLÜ and Burak Enis KORKMAZ

COMPILATION BY: Şule YARCI, Süleyman GÜCEK, Ayfer ELMACI and Merdan Törehan TURAN

PLACE OF PUBLICATION: Afyonkarahisar - TURKEY

DATE: 16.12.2019

VOLUME: 1

ISBN: 978-605-031-372-7

COPYRIGHT: This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned. Nothing from this publication may be translated, reproduced, stored in a computerized system or published in any form or in any manner, including, but not limited to electronic, mechanical, reprographic or photographic, without prior written permission from the publisher www.iciviltech.com s.iciviltech@gmail.com. The individual contributions in this publication and any liabilities arising from them remain the responsibility of the authors. The publisher is not responsible for possible damages, which could be a result of content derived from this publication.



Investigation of the Effect of Protective Chemicals on the Deterioration of Andesite Used as Building Stone Due to Salt Mist

Mustafa Yavuz Çelik^{*1}, Murat Sert², Zeyni Arsoy³

**Corresponding author's email address
(mycelik@hotmail.com; mycelik@aku.edu.tr)*

Abstract

Natural stones are exposed to long-term atmospheric effects according to their location. In addition to effects such as salt crystallization, freezing-thawing and temperature, air pollution, various gases and vapours also affect natural stones as atmospheric impurities. These effects cause negative changes in both the physico-mechanical properties of the natural stones and their external appearance. In this study, changes in salt mist on andesites which are used as building stone in Afyonkarahisar region were investigated by experimental laboratory studies. In addition to normal andesites, these experiments were carried out with silane-based chemicals which have water repellent and protective properties. The changes in andesite samples were investigated with the help of some physical and mechanical parameters. After the experiment, the mass weight change in the andesites was 0.488% in untreated and 0.285% in treated samples. As a result of experimental studies, andesites were found to be resistant to deterioration by salt mist.

Keywords: Andesite, building stone, deterioration, salt mist, protective chemicals.

Yapı Taşı Olarak Kullanılan Andezitin Tuz Buharıyla Ayrışmasında Koruyucu Kimyasal Madde Etkisinin İncelenmesi

Özet

Doğal taşlar kullanım yerlerine göre, uzun süreli atmosferik etkilere maruz kalmaktadır. Tuz kristallenmesi, donma-çözülme ve sıcaklık gibi etkilerin yanı sıra hava kirliliği, çeşitli gazlar ve buharlar da atmosferik kirlilikler olarak doğal taşları etkilemektedir. Bu etkiler doğal taşların hem fiziko-mekanik özelliklerinde hem de dış görünümünde olumsuz değişimler meydana getirmektedir. Bu çalışmada Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan andezitler üzerinde tuz buharının meydana getirdiği değişiklikler, deneysel laboratuvar çalışmaları ile incelenmiştir. Bu deneyler normal andezitlerin yanı sıra su itici ve koruyucu özelliğe sahip olan silan esaslı kimyasal

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapı Taşları Programı, Afyonkarahisar, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (speaker author)

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

madde sürülen örneklerle de yapılmıştır. Tuz buharının etkisiyle andezit örneklerinde meydana gelen değişiklikler, bazı fiziksel ve mekanik parametreler yardımıyla incelenmiştir. Deney sonrası andezitlerde kütle ağırlık değişimi normal örneklerde ortalama %0,488, koruyucu sürülmüş örneklerde %0,285 olarak gerçekleşmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda andezitlerin tuz buharı etkisine karşı dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Andezit, yapı taşı, ayrışma, tuz buharı, koruyucu kimyasal madde.

1. Giriş

Doğal yapı taşları, bulunduğu ortama ve atmosfer etkilerine göre farklı derecelerde ayrışmaya uğramaktadır. Ayrışmaların kökeni kimyasal, fiziksel ve biyolojik olabilmektedir. Bu ayrışmalar, genellikle doğal yapı taşlarının dış yüzeyinden başlayıp içeriye doğru gelişmektedir. Yapısal ve dokusal özelliklerin yanı sıra mineralojik ve petrografik özellikler de ayrışma derecesini etkilemektedir. Bunların yanı sıra çeşitli gazlar, tuzlar, su ve sıcaklık da etkili olabilmektedir. Bu ayrışmalar çok uzun yıllarda meydana geldiği için genellikle tarihi yapılarda sıklıkla görülmektedir. Tarihi yapılarda kullanılan doğal taşlardan birisi de andezitlerdir. Andezitler de doğada tuz kristallenmesi, su emmeden dolayı ıslanma kuruma, donma-çözülme ve termal etki gibi değişik çevresel etkilere bağlı olarak ayrışmaya uğramaktadırlar. Ayrışmanın en önemli etkenlerinden birisi de atmosferden kaynaklanan çeşitli gaz ve bileşiklerdir. Bu kapsamda çeşitli gazlar, su buharı, tuz buharı ve tuz serpintileri gibi atmosferik etkenler de yapı taşlarını etkileyen faktörlerdendir. Yapılarda ve özellikle tarihi binalarda bu etkileri önleyerek doğal taşların daha uzun süre ayrışmadan kalabilmelerini sağlamak amacıyla su itici ve koruyucu kimyasal maddeler kullanılmaktadır.

Andezitler kışın buzda kaymaz özellik göstermeleri, aşınma ve atmosfer etkilerine dayanıklı oluşları, diğer magmatik kayalara göre (granit vb.) daha kolay ve ucuz üretilmeleri nedeniyle kent yolları için ideal bir malzemedir. Andezitler, parlatılmadan parke, kaplama, blokaj, kaldırım ve inşaat taşı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca çekiçlenmiş veya kaba yontulmuş yüzey şekilleri ile tarihi dokuyu hatırlatan yapılarda kullanılmaktadır. Andezitlerin yapı taşı olarak çeşitli kullanım örnekleri Şekil 1’de verilmiştir.

Yapı taşlarının tuz buharı etkisi üzerine de bazı çalışmalar bulunmaktadır. Frasca ve Yamamoto [1], Brezilya ticari granitlerinde, asidik çözeltilere daldırmak suretiyle, iklim değişikliğinin, atmosferik kirleticilerin, tuz buharının ve tuz kristalleşmesinin (çiçeklenme) etkisini incelemişlerdir. Vavouraki ve Koutsoukos [2], kireçtaşı ve kumtaşı örneklerinin tuz buharı ile ayrışmasına organofosfat bileşimli koruyucu madde etkisini incelemişlerdir. Cruz vd. [3], kiremitlerin hızlandırılmış yaşlanma testlerini tuz buharı atmosferi altında yapmışlardır. Beyaz renklilerin kırmızılara göre daha fazla ayrıştığını göstermişlerdir. Kłopotowska ve Łukaszewski [4], Polonya’dan seçilen bazı taşların tuz buharı etkisiyle jeomekanik özelliklerin değiştiğini göstermişlerdir. Alves vd. [5], tuz buharı ve tuz kristallenmesi laboratuvar testlerinin yapı malzemelerinin petrolojik özelliklere duyarlılığını incelemişlerdir. Carvalho vd. [6], tuz buharı testinde açık gözenekliliğin, Portekiz kireçtaşlarının ayrışma davranışlarında belirleyici bir rol oynadığını bildirmişlerdir.

Literatürde, tarihi yapılarda konservasyon amaçlı su itici kimyasal maddelerin kullanılmasını konu alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunların büyük bir kısmı kireçtaşı, kumtaşı, tüf, andezit, granit gibi tarihi yapılarda kullanılan doğal yapıtaşlarının konservasyonu amacıyla, su itici kimyasal maddelerin kullanımı konusundadır. Tsakalof vd. [7], Hellenistik ve Bizans dönemine ait anıtlar için taş yüzeylerin karakteristik özelliklerinin korunması için farklı kaplama türlerinin etkinliğini araştırmışlardır. Vacchiano vd. [8], Salerno'nun (İtalya) tarihi merkezinde yapı malzemeleri olarak kullanılan sarı ve gri tüflerde, farklı polimerik ürünlerin koruyucu etkilerini araştırmışlardır. Ferreira

Pinto vd. [9], dört farklı karbonat taşı kullanarak, üç farklı koruyucu sağlamlaştırıcı maddenin etkisini araştırarak, koruma prosedürlerinin önemini ortaya koymuşlar ve laboratuvar koşulları için genel bir metodoloji önermişlerdir. Thomas vd. [10], dört ticari su itici ve konsolidasyon malzemesi kullanarak İspanya'daki Riva Herrera Sarayına ait iki kumtaşı ve iki kireçtaşı örneğinde, donma-çözülme ve kapiler su emmenin etkisini, Licchelli vd. [11], oldukça gözenekli bir kireçtaşı üzerine sürülen geliştirilmiş hidrofobik özelliklere sahip florlanmış bir elastomerik maddenin su buharı geçirgenliğine ve kılcal su emme özelliklerine koruyucu etkisini incelemişlerdir. Salazar-Hernández vd. [12], yüzeyine kimyasal sürülmemiş tüflerle, çeşitli kimyasal maddelerle (tetraetil ortosilikat (TEOS), koloidal silika ve hidroksil-polidimetilsiloksan (PDMS-OH)) yüzeyleri kaplanmış tüflerin tuz kristallenmesine dirençlerini karşılaştırmışlardır.

Afyonkarahisar (Türkiye) yöresinde yapıtaşı olarak kullanılan andezitlerin tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncini konu alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada elde edilecek veriler literatürde önemli bir boşluğu dolduracaktır. Bu çalışmada Afyonkarahisar yöresinde hem geçmişte hem de günümüzde yapı taşı olarak kullanılan andezitlerin tuz buharına bağlı olarak ayrışması incelenmiştir. Su itici kimyasal madde sürülen ve sürülmeyen örnekler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Tuz buharıyla andezitlerde meydana gelen değişiklikler bazı fiziksel ve mekanik özellikler yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 1. Afyonkarahisar yöresinde andezitlerin değişik amaçlı kullanımı ve tuz kristallerine bağlı ayrışmaların görünümü

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Yapı taşı olarak kullanılan andezitik kayalar İncehisar (Afyonkarahisar) yöresinde bol miktarda bulunmaktadır. Bu andezitlerden İncehisar kuzeyinde yer alan Ağin dağı ocaklarında blok ve moloz üretimi yapılmaktadır (Şekil 2).

Deneylerde kullanılan andezit örnekleri Afyonkarahisar-Ankara karayolu Susuz mevkiinde bulunan Karabulut Andezit firmasından alınarak Afyon Meslek Yüksek Okulu Mermer Teknolojisi atölyesinde deney standartlarında belirtilen uygun boyutlara kesilmiştir. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi %85 saflıkta NaCl çözeltisi ile hazırlanmıştır. Su itici kimyasal madde olarak Teknosil marka şeffaf, siloksan esaslı, solvent bazlı ticari kimyasal madde kullanılmıştır. Su itici kimyasal madde; örnekler yıkanıp kurutulduktan sonra yüzeyine fırça ile tüm yüzeylere bir kat olarak

uygulanmıştır. Örnekler, polimerizasyon işlemini sağlaması için 48 saat bekletildikten sonra deneylerde kullanılmıştır.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan andezitin üretildiği ocakların lokasyon haritası, ocağın ve andezitin yüzey görünümü

2.2. Yöntem

Andezitlerin yoğunluk, su emme, gözenek, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı gibi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla fiziksel ve mekanik test/deneyler yapılmıştır. Andezitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerde kullanılan standartlar Tablo 1’de belirtilmiştir. Deneyde kullanılan andezitlerin tuz buharı yıpranması özelliklerine etki eden en önemli bileşenlerden birisi de gözenek çapı ve dağılımıdır. Bu amaçla yapı taşı örneklerinin gözenek dağılımları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) cıvalı porozimetre Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazında belirlenmiştir. Deneyler sonrası tuzların belirlenmesi amacıyla SEM analizi için örnekler karbonla kaplanmış ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı ile incelenmiştir. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyleri, döngülere göre otomatik tuz çözeltisi püskürten Qualitest marka test kabiniinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

Tablo 1. Andezit örneklerinin fiziko mekanik testlerinde kullanılan ilgili standartlar

Testler	İlgili standart
Yoğunluk (kg/m^3)	TS EN 1936 [13]
Ağırlıkça su emme (%)	TS EN 13755 [14]
Gözeneklilik (%)	TS EN 1936 [13]
Ultrasonik dalga hızı (km/s)	TS EN 14579 [15]
Basınç dayanımı (MPa)	TS EN 1926 [16]

2.2.1. Tuz Buharıyla Yıpranmaya Karşı Direncin Tayini Deneyi

Rüzgarlar, deniz aşırı çöllerden taşıdığı kum taneleri gibi denizlerden mikro tuz tanelerini de taşıyabilir. Tuzların boyutu 0,4-10 μm boyut aralığında olabilir. Bu mikro tuzlar, kar ve buz taneleri ile

de taşınabilir. Taşınan bu çözülebilir tuzlar, yağmurla beraber tuz spreyi olarak yer yüzeyine inmektedir [17, 18]) Denizlerde aerosol üretimi, 4 m/s'nin altındaki rüzgâr hızlarında bile gözlenmektedir [19].



Şekil 3. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini test kabini

Atmosferden tuz aerosol (havada asılı katı veya sıvı tanecikler) serpintileri şeklinde yağın tuzların ayrışma etkisini benzetmek amacıyla laboratuvarlarda tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin belirlenmesi deneyleri yapılmaktadır. Laboratuvarlarda yapılan hızlandırılmış ayrışma testleri, kontrollü koşullar altında tuzlu su-yapı taşı etkileşimlerini incelemek için klasik bir prosedürdür. Tanım olarak, hızlandırılmış ayrışma testleri, incelenen işlemlerin etkilerini daha kısa sürede elde etmek için sahada bulunanlardan farklı koşulları kullanır. Tuz kristallenmesi nedeniyle ayrışmalar, yapı taşları için sıklıkla görülür ve aşındırıcı ana süreçlerden birisidir [5]. Tuz ayrıştırma testlerinden TS EN 12370 [20] standardı, sodyum sülfat çözeltilerine daldırmayı esas almıştır. NaCl spreyinin atmosferik biriktirmesi kullanılarak, tuz ayrışması ile ilgili başka bir standart da TS EN 14147 [21]'dir.

Bu çalışmada andezit örneklerinin tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin belirlenmesi deneyleri TS EN 14147 [21] standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 50x50x50 mm boyutlarında 12 adet örnek ve NaCl çözeltisi kullanılmıştır. Sodyum klorür çözeltisi, saflık derecesi %95'ten daha az olmayan sodyum klorür ile damıtık su kullanılarak hazırlanan çözelti, (100±10) g/l'lik bir derişim elde etmek amacıyla, 10±1 kısım sodyum klorürün, 90 kısım damıtık su içerisinde çözülmesi suretiyle hazırlanmıştır. 70±5 °C sıcaklıkta sabit kütleyle kadar kurutulmuş örnekler, deney odasında 4 saat±15 dakika süreyle tuz buharına maruz bırakılır; daha sonra tuz püskürtme sistemi durdurulur ve örnekler odada 8 saat±15 dakika süreyle kurutulur. Bu işlem, bir döngüyü oluşturur. Deney, 60 döngüden oluşur. Deneyin sonunda, örnekler, odadan çıkarılır ve tüm tuz birikintilerinin uzaklaştırılması amacıyla damıtık suya batırılır. Bu işlem çok yavaştır ve tuzun uzaklaştırılması tamamlanuncaya kadar her gün su değişimi yapılır. Bu işlemden sonra, örnekler, (70±5) °C sıcaklıkta sabit kütleyle gelinceye kadar kurutulur; oda sıcaklığına soğutulur, tartılır (Mn) ve gözle muayene edilir. Her bir örnek için kütle kaybı, yüzde olarak Eşitlik 1 yoluyla hesaplanır.

$$\Delta M = \frac{M_o - M_n}{M_o} \times 100 \quad (1)$$

(M_o: Deney öncesi kuru örneğin kütlesi, g, M_n: Deney sonrası kuru örneğin kütlesi, g, ΔM: Kurutulmuş örneğin kütlesindeki değişim, %).

3. Bulgular ve Tartışmalar

3.1. Fiziko-mekanik Özellikleri

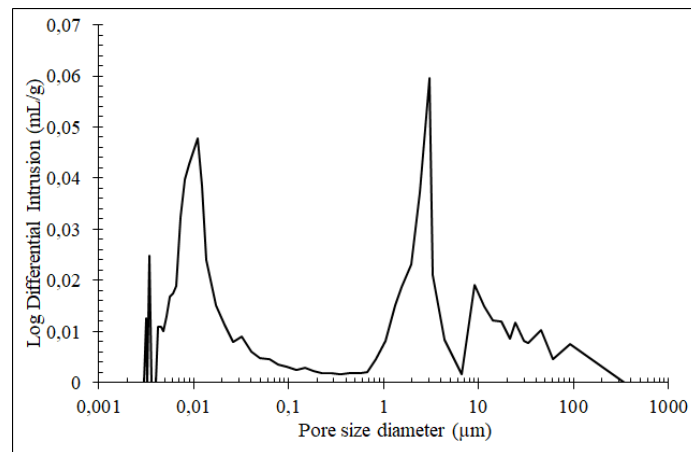
Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin belirlenmesi deneyleri öncesi, andezit örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, ilgili standartlara göre laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir. Deneylerde elde edilen veriler Tablo 2’de verilmiştir. Doğal yapı taşlarında gözeneklilik özellikleri ayrışma ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Örnek olarak yüksek gözeneklilik su emme ve dayanım gibi özellikleri olumsuz olarak etkilemektedir. Deneylerden elde edilen verilere göre andezitlerin gerçek yoğunluğu 2781,7 kg/m³, açık gözeneklilik %4,63 ve toplam gözeneklilik %19,25 olarak ölçülmüştür. Tek eksenli basınç dayanımı da 70,00 MPa olarak belirlenmiştir. Bu özelliklere göre andezitler yüksek gözenekli yapı taşları olarak ifade edilebilir.

Tablo 2. Andezitlerin fiziko-mekanik özellikleri

	min	max	ort
Yoğunluk (gerçek) (kg/m ³)	2777,30	2787,20	2781,70
Ağırlıkça su emme (%)	1,97	3,78	2,44
Açık gözenek (%)	3,44	6,04	4,63
Toplam gözenek (%)	18,32	23,49	19,25
Ultras ses dalga hızı (km/s)	3,84	4,31	4,16
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	53,05	96,75	70,00

3.2. Gözenek Boyut Dağılımı

Doğal taşların ayrışmasındaki en önemli parametrelerden birisi gözenek miktarı ve gözenek boyut dağılımıdır. Çünkü su emme ve kılcal su emme gibi doğrudan veya donma-çözülme ve tuz kristallenmesi gibi dolaylı olarak ayrışmaya yol açan etkenler gözeneklilikle ilişkilidir. Bu nedenle deneylerde kullanılan andezitlerin gözenek boyut dağılımı cıvalı porozimetre yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar Şekil 4’de verilmiştir. Andezit numunesinin ortalama gözenek çapı 0,0246 µm, toplam gözenek hacmi 0,0572 mL/g olarak hesaplanmıştır. Andezitin, 0,08 µm-300 µm arasında gözenek boyut dağılımına sahiptir. Gözeneklerin çoğunluğu 0,01-3 µm aralığındadır. Andezitin gözenek boyut dağılımı, 0,01-10 µm arasında olup bimodaldır (çift doruklu). Birinci doruk 0,01 µm civarında iken ikinci doruk 3 µm civarındadır.



Şekil 4. İncelenen andezitin gözenek boyut dağılımı

Klopfer [22] tarafından gözenekler boyutlarına göre: mikro gözenek (<0,1 µm), mezo gözenek (kapiler gözeneklilik) (0,1 µm - 1 mm) ve makro gözenek (>1 mm) şeklinde sınıflandırılmıştır. Kapiler (kılcal) su emme, pratik olarak çapları 0,1 µm ve 1 mm arasındaki gözeneklerle ilişkilidir. Kayaçların gözenek

çapları küçüldükçe kapilarite özelliği artar. Makro gözenekler ise çapı 1 mm'den büyük olup daha çok suyun malzeme içindeki hareketini sağlarlar [23]. Bu verilere göre andezitler mikro gözeneklere sahiptir. Çözünerek suyla beraber taşınabilen tuz çözeltileri daha çok kılcal kapilarite yoluyla malzeme içerisine girmektedir. Bu nedenle 0,1 µm–1 mm arasındaki gözenek dağılımı büyük önem taşımaktadır. İncelenen andezit örneğinin gözeneklerinin büyük bir kısmının 0,01 µm–0,1 µm arasında olduğu görülmektedir. Bu durumda andezitlerin, tuz çözeltilerini infiltre edebilecek miktarda küçük gözenek çapı dağılımına sahip olduğu söylenebilir.

3.3. Tuz Buharıyla Yıpranmaya Karşı Direncin Tayini Deneyi Sonuçları

Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyleri 50x50x50 cm boyutlarında andezit örnekleriyle TS EN 14147 [21] standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney sırasında saflığı %95'ten az olmayan sodyum klorür tuz çözeltisi kullanılmıştır. Tuz buharı püskürtülmesi sonucunda andezit örneklerinin yüzeyinde tuz kristalleri birikmesi beklenmektedir. Torraca [24]'e göre; bir asit bir baz ile nötrleştirildiğinde veya asit ile bir baz oluşturduğunda, su molekülleri oluşur ve artık iyonlar suda kalır. Su buharlaşırsa tuz kristali oluşur. Hidroklorik asit ve kostik soda olması durumunda, sodyum iyonları (Na⁺) ve klor iyonları (Cl⁻), nötralizasyondan sonra suda kalır ve su buharlaştığında bir sodyum klorür kristali oluşmaktadır.

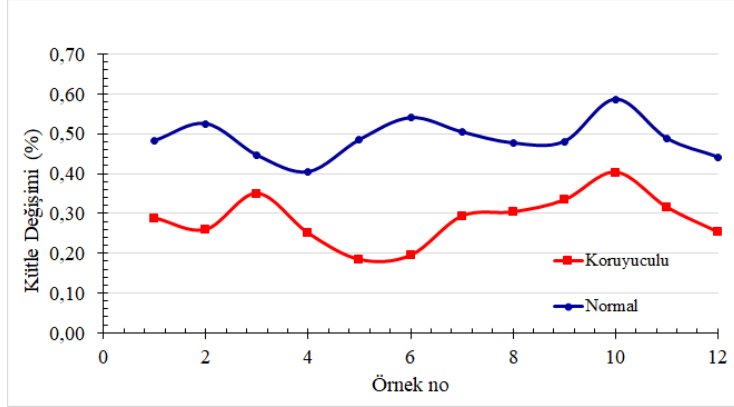
Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyinde örnekler, 4 saat tuz buharına maruz bırakma ve sonrasında odada 8 saat kurutma işleminden oluşan toplam 60 döngüde tamamlanmıştır. Deney sonrası andezit örneklerinde fiziksel bir değişiklik gözlenmemiştir. Örneklerin yüzeyinde noktalar ve kümeler halinde tuz birikintileri olduğu gözlemlenmiştir. Atmosferde meydana gelen çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ve doğal taşların ayrışmasında önemli rolü olduğu kabul edilen tuz kristallerinin taş içerisinde ve yüzeylerinde oluşumunun engellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli kimyasal su itici ve koruyucu kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Burada da kimyasal maddelerin tuz oluşumunu önemli bir oranda engellediği görülmektedir.

3.4. Tuz Buharıyla Yıpranmaya Karşı Direncin Tayini Deneyi Sonrası Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi

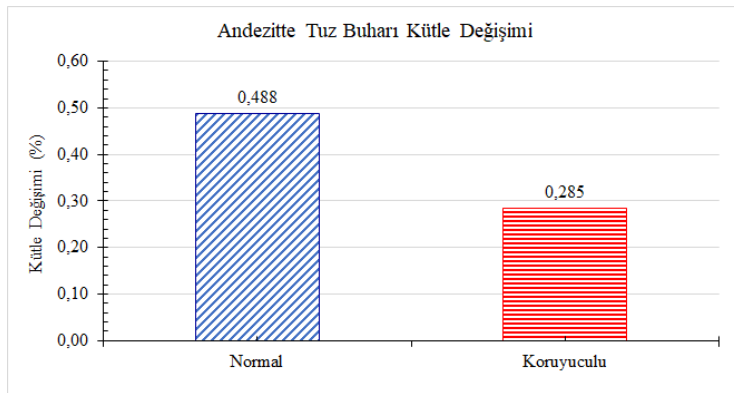
3.4.1. Kütle Değişimi

Deneylerden elde edilen veriler göre 60 döngü sonrasında andezit örneklerinde ortalama %0,4882 kütle artışı ölçülmüştür. Bu durum deney sırasında andezit örneklerinin yüzeyinde ve içinde biriken tuz kristalleri oluşumundan kaynaklanmaktadır.

Kimyasal koruyuculu andezitlerde tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini elde edilen veriler göre 60 döngü sonrasında kimyasal koruyuculu andezit örneklerinde ortalama %0,2854 kütle artışı ölçülmüştür. Bu durumda, kimyasal koruyucudan dolayı deney sırasında andezit örneklerinin yüzeyinde biriken tuz kristalleri oluşumu %41,54 azalma göstermiştir. Bu durum koruyucu kimyasal maddenin su itici özelliğinden kaynaklanmaktadır. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası örneklerde meydana gelen kütle ağırlık değişiklikleri grafiği Şekil 5'da normal ve koruyucu kimyasal madde sürülmüş andezitin tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi kütle kaybı grafiği Şekil 6'de verilmiştir.



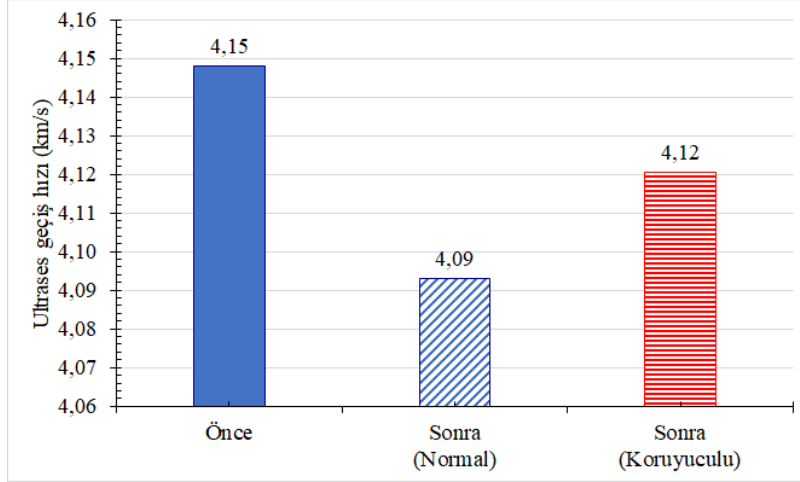
Şekil 5. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası örneklerde meydana gelen kütle ağırlık değişiklikleri grafiği



Şekil 6. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası meydana gelen normal ve koruyuculu andezitlerde kütle ağırlık değişiklikleri grafiği

3.4.2. Ultrases Geçiş Hızı Değişimi

Ayrışma deneyleri sonrasında örneklerde gelişen mikro çatlaklar veya büyüyen gözenekler olması durumunda ultrases geçiş hızının düşmesi beklenmelidir. Çünkü ultrases geçiş hızları çatlak ve boşluklu yapılarda azalmaktadır. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası andezitlerde meydana gelen ayrışmaların belirlenmesi amacıyla ultrases geçiş hız ölçümleri yapılmıştır. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası meydana gelen ultrases geçiş hızı değişiklikleri grafiği Şekil 7’de verilmiştir. Deney öncesi 4,15 km/s olan ultrases geçiş hızı değeri, koruyuculu andezit örneklerinde 4,12 km/s iken koruyucu sürülmeyen normal örneklerde ise 4,09 km/s’ye düşmüştür. Koruyuculu sürülmeyen örneklerde %1,34 olan ultra ses geçiş hızı azalması, koruyuculu örneklerde %0,67 km/s olarak ölçülmüştür. Bu veriler andezitlerin çok fazla ayrışmaya uğramadığını göstermektedir.



Şekil 7. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası meydana gelen ultrases geçiş hızı değişiklikleri grafiği

3.4.3. Tek eksenli Basınç Dayanımı Değişimi

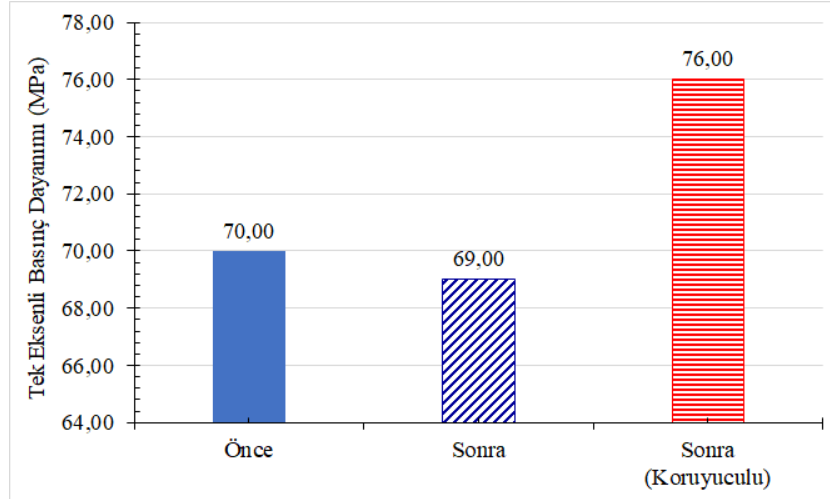
Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası meydana gelen tek eksenli basınç dayanımı deney görüntüleri Şekil 8’de, değişiklik grafiği de Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 8. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası numunelerin görünüşü (a), Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (b), Tek eksenli basınç dayanımı sonrası numunenin görünüşü (c)

Deneyler öncesi 70 MPa olan tek eksenli basınç dayanımı değeri, koruyuculu andezit örneklerinde 76 MPa iken koruyucu sürülmeyen normal örneklerde ise 69 MPa ye düşmüştür. %1,45 oranında

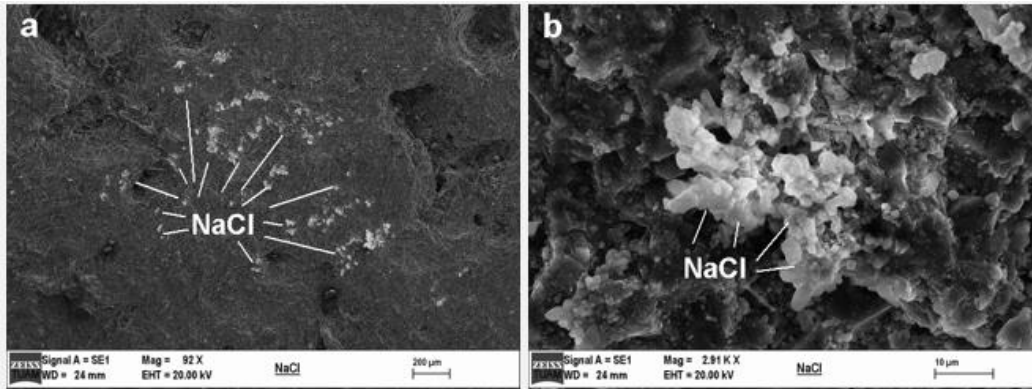
meydana gelen basınç azalması tuz kristallenme basınçları sonrasında oluşan mikro gözenek ve çatlaklara bağlıdır. Kimyasal madde sürülen örneklerin basınç dayanımında ise %8,57 oranındaki artış kimyasal maddenin yüzeydeki gözenekleri doldurmasının yanı sıra daha esnek bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası meydana gelen tek eksenli basınç dayanımı değişiklikleri grafiği

3.5. Tuz Buharıyla Yıpranmaya Karşı Direncin Tayini Deneyi Sonrası SEM İncelemeleri

Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası andezit örneği yüzeyinde oluşan tuz minerallerinin tespit edilmesi amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) incelemeleri yapılmıştır. Andezit örneği yüzeyine püskürtülen tuz solüsyonunun, gözeneklerde halit (NaCl) mineral, olarak birikintiler oluşturduğu gözlenmiştir (Şekil 10-a). Bu tuz birikintilerinin yakın görünümü Şekil 10-b'de verilmiştir. Halit kristalleri genellikle kübik öz şekilli olup yer yer erime boşlukludur.



Şekil 10. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası andezit örneği yüzeyinde oluşan tuz- halit (NaCl) kristallerinin görünümü

4. Sonuçlar

Çeşitli dış etkiler (çevresel ve atmosferik) yardımıyla meydana gelen ayrışma olayları doğal yapı taşlarının dayanımını etkilemektedir. Dayanımını kaybeden ve ayrışmaya başlayan doğal taşların zaman içerisinde fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Bu durumda doğal yapı taşları ilksel özelliğini kaybederek ayrışmaya başlamakta ve yapıda önemli hasarlar gözlenmektedir. Özellikle tarihi yapılarda bu durumun giderilmesi amacıyla restorasyon ve

konservasyon çalışmaları yürütülmektedir. Yapılan çalışmalarda yapı taşlarının ömrünün uzatılması ve ayrışmanın en az düzeye indirilmesi amacıyla çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Deneylerde normal andezit örneklerinin yanı sıra, su itici kimyasal madde sürülerek yüzeyleri hidrofob hale getirilen örnekler de kullanılmıştır. Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan andezitlerin, fiziksel ve mekanik özelliklerin atmosfer ve çevresel etkisi ile değişimini incelemek amacıyla, laboratuvar ortamında çeşitli yaşlandırma deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinde yapı taşı olarak kullanılan İscehisar andezitlerinin tuz buharıyla yıpranmaya karşı direnç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler standartlara göre normal andezitlerin yanı sıra su itici ve koruyucu özelliğe sahip olan silan esaslı kimyasal madde sürülen örneklerle de yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

Deneylerde kullanılan andezitin cıvalı porozimetre yöntemiyle ölçülen gözenek çapı dağılımında, 0,003 µm–100 µm arasında dağılımına sahip olduğu ve bu gözeneklerin 0,01-10 µm arasında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu durum andezitlerin kılcal su emme açısından önemli bir gözenek dağılımına sahip olduğunu göstermektedir.

Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası normal örneklerde ortalama %0,488 olan kütle ağırlık değişimi, koruyuculu andezitlerde %0,285 olarak gerçekleşmiştir. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyinde 60 döngü sonrası meydana gelen ağırlık artışı andezit örneklerinin gözeneklerinde biriken tuz kristallerinden kaynaklanmaktadır. Normal andezitlerde, koruyuculu andezit örneklerine göre %71,22 oranında daha fazla tuz birikmiştir. Bu durum koruyucu kimyasal maddenin su itici özelliğinden kaynaklanmaktadır. Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini deneyi sonrası koruyuculu andezit örneklerinin normal andezitlere göre %0,67 yani sadece 27,42 m/s daha fazla ultrases geçiş hızına sahip olması andezitlerin çok fazla ayrışmaya uğramadığını göstermektedir. Normal andezit örnekleri koruyuculu andezit örneklerine göre %10,14 oranında daha az basınç dayanımı sergilemiştir. Bunun en önemli sebebi koruyucu kimyasal maddenin su itici etkisidir.

Ülkemizin tarihi ve kültürel yapıları içerisinde taş yapılar önemli bir yere sahiptir. Laboratuvar ölçekte yapılan çeşitli yaşlandırma deneyleri sonuçlarına göre; yapı taşı olarak kullanılan bu doğal taşların kullanım yerlerinde, uzun yıllar ayrışmadan görevlerini yerine getirebilecekleri belirlenmiştir. Ancak yüksek gözeneklilik ve su emme özelliğine sahip olmasından dolayı rutubetli ve su geliri fazla olan alanlarda kullanımına dikkat edilmelidir. Uzun süreli kullanım amaçlanması veya restorasyon işlemlerinde su itici ve koruyucu kimyasal maddeler sürülerek kullanılması ömrünü daha da uzatacaktır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bu bilgiler, andezitlerin yapı taşı olarak kullanılacağı yeni yapılarda ve restorasyon çalışmalarında da büyük önem taşımaktadır. Özellikle andezitlerle inşa edilen bu yapıların, günümüzde kullanımı veya yeniden inşa edilmeleri söz konusu olduğunda, atmosfer kaynaklı çeşitli gaz ve bileşiklerin ayrışma performansı açısından sorun yaratmayacağı belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince 17.MYO.02 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] M.H.B.O. Frasca, J.K. Yamamoto, Ageing tests for dimension stone-experimental studies of granitic rocks from Brazil. In: Proceedings 10th IAEG international congress. The Geological Society of London, IAEG2006, (2006), Paper number 224.
- [2] A.I. Vavouraki, P.G. Koutsoukos, Salt crystallization tests in building stone materials. 8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin: Monument Damage Hazards & Rehabilitation Technologies. (2010).
- [3] C. Cruz, M.R. Veiga, V. Ferreira, Accelerated ageing tests of clay roofing tiles under salt mist atmosphere. 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components. (2011).
- [4] A.K. Klopotoska, P. Lukaszewski, The influence of the salt mist on the deterioration of rock materials. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 36(1) (2014) 37-45.
- [5] C. Alves, C. Figueiredo, A. Maurício, A critical discussion of salt weathering laboratory tests for assessment of petrological features susceptibility. *Procedia Earth and Planetary Science*. 17 (2017) 324–327.
- [6] C. Carvalho, Z. Silva, J. Simão, Evaluation of Portuguese limestones' susceptibility to salt mist through laboratory testing. *Environmental Earth Sciences*. (2018) 77:523.
- [7] A. Tsakalof, P. Manoudis, I. Karapanagiotis, I. Chryssoulakis, C. Panayiotou, Assessment of synthetic polymeric coatings for the protection and preservation of stone monuments, *Journal of Cultural Heritage*. 8 (2007) 69-72.
- [8] C.D. Vacchiano, L. Incarnato, P. Scarfato, D. Acierno Conservation of tuff-stone with polymeric resins, *Constr Build Mater*. 22(5) (2008) 855-865.
- [9] A.P. Ferreira Pinto, J. Delgado Rodrigues, Consolidation of carbonate stones: Influence of treatment procedures on the strengthening action of consolidants, *J Cult Herit*. 13 (2012) 154–166.
- [10] C. Thomas, I. Lombillo, J. Setién, J.A. Polanco, L. Villegas, Characterization of materials with repellents and consolidants from a historic building, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(11) (2013) 742-1751.
- [11] M. Licchelli, M. Malagodi, M.L. Weththimuni, C. Zanchi, Water-repellent properties of fluoroelastomers on a very porous stone: Effect of the application procedure, *Progress in Organic Coatings*. 76 (2013) 495–503.
- [12] C. Salazar-Hernández, J. Cervantes, M.J. Puy-Alquiza, R. Miranda, Conservation of building materials of historic monuments using a hybrid formulation, *J. Cult. Heritage*. 16 (2015)185–191.
- [13] TS EN 1936, Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık porozite tayini, TSE, Ankara, 10 s, 2010.

- [14] TS EN 13755, Doğal taşlar-Deney yöntemleri-atmosfer basıncında su emme tayini, TSE, Ankara, 10 s, 2014.
- [15] TS EN 14579, Doğal taşlar-Deney yöntemleri-ses hızı ilerlemesinin tayini, TSE, Ankara, 14 s, 2006.
- [16] TS EN 1926, Doğal taşlar-Deney yöntemleri-tek eksenli basınç dayanımı tayini, TSE, Ankara, 19 s, 2013.
- [17] E.M. Knipping, D. Dabdub, Impact of chlorine emissions from sea-salt aerosol on coastal urban ozone. *Environ. Sci. Technol.* 37 (2) (2003)275-284.
- [18] X. Yang, V. Neděla, J. Runštuk, G. Ondrušková, J. Krausko, L. Vetráková, D. Heger, Evaporating brine from frost flowers with electron microscopy and implications for atmospheric chemistry and sea-salt aerosol formation, *Atmos. Chem. Phys.* 17 (2017) 6291-6303.
- [19] S.S. Prijith, M. Aloysius, M. Mohan, Relationship between wind speed and sea salt aerosol production: a new approach, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* (2014) 34-40.
- [20] TS EN 12370, 2001. Doğal Taşlar-deney metotları-tuz kristallenmesine direncin tayini. TSE, Ankara, 8 s.
- [21] TS EN 14147. (2004). Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Tuz buharıyla yıpranmaya karşı direncin tayini, TSE, Ankara.
- [22] H. Klopfer, Feuchte. In: Lutz P et al (eds) *Lehrbuch der Bauphysik*, Teubner, Stuttgart, (1985) pp 329–472.
- [23] S. Siegesmund, H. Dürrast, Physical and mechanical properties of rocks. in: *stone in architecture*, 4th edition, Siegesmund S., Snethlage R. eds., Berlin: Springer, pp. 97–225. (2011).
- [24] G. Torraca, *Lectures on materials science for architectural conservation*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute. (2009).