



Su İtici Kimyasal Kaplama Malzemesinin Nevşehir Taşının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Öğr. Gör. Dr. Ahmet Cihat ARI

Yozgat Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni Meslek Yüksek Okulu, Mimari Restorasyon Programı, Yozgat/Türkiye
e-mail: a.cihat.ari@bozok.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4690-8968>

ÖZET

Nevşehir'in (Türkiye) Ürgüp bölgesi ve çevresinde çıkarılan ignimbirit taşı piroklastik kayaç türüne özgü bir taştır. Bu taş geçmiş dönemlerde tarihi yapıların ve anıtların inşasında kullanılmıştır. Nevşehir taşıyla inşa edilen tarihi yapılarda hava koşullarına ve çevresel etmenlere bağlı olarak tahribatlar oluşmaktadır. Taşlarda oluşan tahribatlar tarihi yapıların dayanım performanslarının azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tarihi yapıların tahribatını önlemek ve hava koşullarına karşı dayanıklı olması amacıyla yapı taşlarına koruyucu kaplamalar geliştirilmektedir. Ancak bu koruyucu kaplamaların taşın yapısal özellikleri üzerine etkilerinin doğru tanımlanması restorasyon stratejilerinin tasarlanması açısından önemli yere sahiptir. Bu çalışmada solvent bazlı akrilik reçine esaslı su itici kimyasal kaplama malzemesinin Nevşehir taşının mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Akrilik reçine kaplamalı taşların atmosferik koşullara karşı dayanıklılığını belirlemek için; sülfürik asit (H_2SO_4) testi, tuz kristalizasyonu testi ve donma-çözülme testleri yapılmıştır. Bu testler, su itici kaplama uygulanmış ve uygulanmamış taşlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca su itici kaplama uygulanmış ve uygulanmamış taşların ayrışmaya karşı dayanıklılık özelliklerini ve herhangi bir fiziksel testler uygulanmayan Nevşehir taşlarının orijinal değerleri ile karşılaştırma yapabilmek için basınç testi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, su itici kaplama uygulanmış taşların kaplama uygulanmamış taşlara göre, mekanik direncinde ve hava koşullarına karşı dayanıklılığında önemli bir iyileşme sağlanmıştır. Akrilik reçine kaplamalı taşların atmosferik etkenlere karşı dayanıklılığı ve mekanik direnci nedeniyle Nevşehir taşıyla yapılmış tarihi yapıların çevresel koşullara bağlı oluşabilecek tahribatların önlenmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Taş koruma, su itici kaplama, tarihi bina, restorasyon

Investigation of the Effect of Water Repellent Chemical Coating Material on the Mechanical Properties of Nevsehir Stone

Abstract

Ignimbrite stone, mined in and around the Urgüp region of Nevsehir (Türkiye), is a stone specific to the pyroclastic rock type. This stone was used in the construction of historical buildings and monuments in the past. Destructions occur in historical buildings built with Nevsehir stone, depending on weather conditions and environmental factors. Destructions in stones cause the strength performance of historical buildings to decrease. For this reason, protective coatings are being developed for building stones to prevent the destruction of historical buildings and to make them resistant to weather conditions. However, correct identification of the effects of these protective coatings on the structural properties of the stone is important in designing restoration strategies. In this study, the effect of solvent-based acrylic resin-based water-repellent chemical coating material on the mechanical properties of Nevsehir stone was investigated. To determine the durability of acrylic resin coated stones against atmospheric conditions; sulfuric acid (H_2SO_4) test, salt crystallization test and freeze-thaw tests were performed. These tests were carried out on stones with and without a water-repellent coating. In addition, a pressure test was conducted to compare the weathering resistance properties of stones with and without a water-repellent coating and the original values of Nevsehir stones without any physical tests. As a result of the experiments, a significant improvement was achieved in the

mechanical resistance and weather resistance of stones with water-repellent coating, compared to stones without coating. Due to the durability and mechanical resistance of acrylic resin coated stones against atmospheric factors, they contribute to the prevention of damage that may occur due to environmental conditions in historical buildings built with Nevşehir stone.

Keywords: Stone protection, water repellent coating, historical building, restoration

1. GİRİŞ

Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde Nevşehir ilinin Ürgüp bölgesi, tarihi ve kültürel değeri olan önemli bir bölgedir. Bu bölge, peribacaları, insan eliyle oyulmuş kiliseleri, kendisine özgü biçimsel jeolojik yapısı ve etkileyici doğal oluşumları vb. özelliklere sahip olması nedeniyle turistlerin ilgisini çekmektedir. Ayrıca bu bölgede, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerine ait tarihi yapıların bulunması bölgenin kültürel ve mimari dokusunu oluşturmakla birlikte turizm potansiyelini de arttırmaktadır. Bölgenin sahip olduğu eşsiz yapılara örnek olarak; El Nazar Kilisesi (10. yy), Sarıhan Kervansarayı (1249), Kara Camii (1716), Damat İbrahim Paşa Camii (1727) gibi tarihi yapılar gösterilebilir (Şekil 1). Bu tarihi yapılarda "Nevşehir taşı" adı verilen ignimbirit kayalar kullanılmıştır. İgnimbiritler piroklastik kayalar grubunun bir çeşididir. Piroklastik kayalar, volkanik püskürtme ile çıkan süngertaşı kırıntıları, cam kırıkları, kristaller ve litik parçaların depolanma alanında birikmesi ve bu kırıntı parçaların yüksek sıcaklıkta birbiriyle kaynaşarak sertleşmesi sonucunda oluşmaktadır (Moon, 1993). Bölgedeki peribacalarının ilk oluşumunda ignimbirit kayalarının volkanizmaya ve erozyona bağlı olarak çeşitli aşınmalar sonucunda gerçekleşmiştir. Peribacalarının bu doğal oluşumları ve estetik özellikleri nedeniyle 1985 yılında UNESCO Dünya Miras Listesinde yer almıştır (Erguler, 2009). Nevşehir taşıyla inşa edilen bazı tarihi yapılara ve bu taşın çeşitli aşınmalara bağlı olarak oluşan peribacalarının fotoğrafları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Nevşehir taşıyla inşa edilen bazı tarihi yapılara ve bu taşın çeşitli aşınmalara bağlı olarak oluşan peribacalarının fotoğrafları; (a) El Nazar Kilisesi, (b) Sarıhan Kervansarayı, (c) Damat İbrahim Paşa Camii (d) Kara Camii, (e) Peribacaları

Tarihi yapıların inşasında kullanılan taşlarda iklimsel etkiler, hava kirliliği, nem oranı, biyolojik faktörler ve yapıda kullanılan farklı malzemelerin taşla olan etkileşimleri taşların bozulmasına neden olmaktadır (Deniz ve Topal, 2021). Tarihi yapıların, bu etkilere karşı önlemler alınmadığında yapısal özelliğini kaybederek yıkılmasıyla karşılaşılabilir. Ürgüp bölgesinin tarihi ve kültürel değeri nedeniyle, bu bölgedeki taşların fiziksel, mineralojik ve mekanik özellikleri daha önceki çalışmalarda incelenmiştir (Örneğin: Aydan ve Ulusay, 2003; Erguler, 2009; Garcia-Vallès vd., 2003; Korkanç, 2013; Le Pennec vd., 1994; Özbek, 2014; Topal ve Doyuran, 1997; Topal ve Doyuran, 1998). Bu çalışmaların çoğunda Nevşehir taşının jeolojik ve bozulma özelliklerini araştırmışlardır. Topal ve Doyuran (1997) yaptıkları çalışmada, Nevşehir taşının gözenek oranının yüksek olması nedeniyle, taşın dayanımının düşmesi sonucunda deformasyonun oluştuğunu tespit etmişlerdir. Topal ve Doyuran (1998) yaptıkları çalışmada, Nevşehir taşıyla yapılan duvarların derzlerinde likenlerle kaplı yüzeylere göre daha fazla mekanik ayrışma olduğunu göstermişlerdir. Garcia-Vallès vd. (2003) yaptıkları çalışmada, Nevşehir taşlarıyla inşa edilen tarihi yapıların likenlerle kaplanmış yüzeyleriyle, kayanın alt katmanları arasındaki etkileşimlerini incelemişlerdir. Bu araştırma, liken kaplamanın kaya içindeki su emme oranını azaltarak, kayanın nemden oluşabilecek çürümelere karşı korunduğu gösterilmiştir. Özbek (2014) yaptığı çalışmada, ignimbiritlerin donma-çözülme döngüsüyle fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimlerinde belirgin etkiye sahip olduğunu belirlemiştir. Literatür çalışmalarından anlaşılacağı üzere, Ürgüp Bölgesi'nin jeolojisi ve bu bölgede çıkarılan taşların mühendislik özelliklerinin bazı yönleri araştırılmıştır. Ancak bu taşlar farklı atmosferik etkilere maruz kaldığında, taşların üzerindeki etkileri konusunda bugüne kadar herhangi bir araştırma yapılmamıştır.

Yapının duvarlarının ve doğal taşların suya ve neme karşı korunmasında su itici kimyasallar kullanılmaktadır. Yapı taşlarında kullanılan su itici kimyasallara siloksan, akrilik koruyucu kaplama ve su bazlı silan gibi polimerik malzemeler örnek olarak verilebilir. Doğal taşlara sürülen su itici kimyasallar, suyun taş bünyesinin içine girmesini engellemektedir. Literatürde tarihi yapılarda kullanılan taşların korunması için su itici kimyasal kaplamalara yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunda tarihi yapılarda kullanılan granit, tüf, kireçtaşı, kumtaşı gibi taşların korunmasında su itici kimyasal maddelerin etkinliği araştırılmıştır (Olaru vd., 2010; Spiker vd., 1995; Thomas vd., 2013; Vacchiano vd., 2008; Vella vd., 1996). Vacchiano vd. (2008) yaptıkları çalışmada, tüf taşları üzerinde farklı türden polimerik ürünler kullanarak, taşın su emme oranını azalttığı ve hava koşullarına karşı korunmasında belirgin iyileşme sağladığını tespit etmişlerdir. Thomas vd. (2013) yaptıkları çalışmada, kireçtaşı ve kumtaşının üzerlerine su itici kaplama uygulamasının koruyucu işlemlere tabi tutulmayan taşlara göre, kılcal emiliminin azaltılmasında etkili olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalarda, doğal taşlarda kükürt dioksit (SO₂) gazının birikimi, taşların nem ve yüzey parametrelerine etki ederek taşların daha hızlı çürümesine yol açtığı belirtilmiştir (Olaru vd., 2010; Spiker vd., 1995; Vella vd., 1996). Doğal taşlarda SO₂ gazının birikimi sonucunda meydana gelen bozulmalar hava kirliliğinden kaynaklanmaktadır. Hava kirliliği kış aylarında konutların ısıtılmasıyla kullanılan fosil yakıtlara bağlı olarak artmaktadır. Oğuz (2020) yaptığı çalışmada, Nevşehir ilinin son 10 yıllık dönemdeki hava kalitesinde, 2014 yılında ortalama SO₂ konsantrasyonu 17,6 µg/m³ olarak maksimum değerde, 2012 yılında ortalama SO₂ konsantrasyonu 10,2 µg/m³ olarak minimum değerde olduğu ifade edilmiştir.

Nevşehir'de havadaki gazlar ve atmosferik koşulların doğal taşlar üzerindeki etkileri konusunda literatürde bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca bu taşlara sürülen koruyucu kaplamaların farklı atmosferik etkilere maruz kaldığında tarihi yapıların tahribatını önlemede ve hava koşullarına karşı dayanımında taşın mekanik özellikleri üzerindeki etkileri konusunda çalışmalardan bahsedilmemiştir. Atmosferik etkenlerin, tarihi yapıların taşlardaki bozulma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Atmosferik etkenlerin taşın bazı fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimini incelemek için Nevşehir taşı seçilmiştir. Atmosferik etkenlerin taşlar üzerinde neden olduğu değişiklikler; sülfürik asit (H₂SO₄) testi, tuz kristalizasyonu testi, donma-çözülme testleriyle belirlenmiştir. Bu

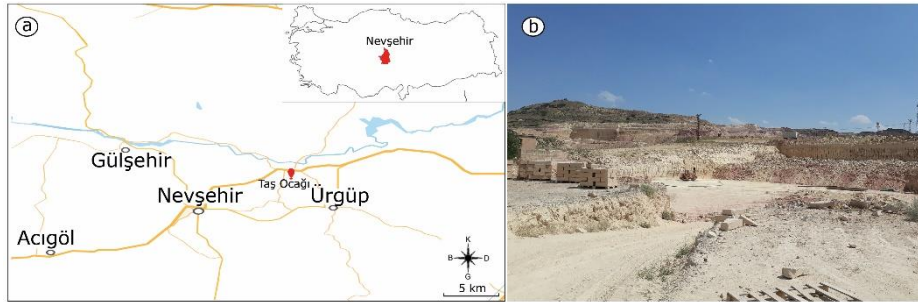
testler su itici kaplama uygulanmış ve uygulanmamış taşlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Taşlar donma-çözülme ve tuz kristalizasyonu testlerine tabi tutulduktan önce ve sonra taşın mekanik özellikleri basınç testi ile belirlenmiştir. Ayrıca basınç testinde Nevşehir taşlarının orijinal değerleri ile donma-çözülme testi ve tuz kristalizasyonu testlerine tabi tutulan numunelerin basınç değerleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, su itici kaplama uygulanmış ve uygulanmamış taşların karakterizasyonun belirlenmesi için numunelere; fiziksel ve mekanik analizler uygulanmıştır. Numunelere deneysel yöntem kullanılarak, malzemenin özellikleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda izlenen yöntem aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Materyal

Deney çalışmaları için kullanılan Nevşehir taşı, Nevşehir ilinde taş üretimi yapan Öz Kapadokya Doğal Sarıtaş Üretim Paz. Ltd. Şti. taş ocağı firmasından temin edilmiştir. Bu bölgedeki Nevşehir taşı sarı renge sahiptir. Taşlar ocaktan büyük taş bloklar halinde üretildiği için, bu taş bloklarının fiziksel ve mekanik testlerinin standartlarına uygun boyutlara getirmek için 50x50x50 mm, sülfürik asit testinin standartlarına uygun boyutlara getirmek için 120x60x10 mm boyutlarında kesilmiştir. Nevşehir taş ocağın konumu ve görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. (a) Deneyde kullanılan Nevşehir taşının üretildiği ocağın konumu, (b) ocağın görünümü

Deney çalışmalarında sülfürik asit ve su itici kimyasal malzeme ürünleri kullanılmıştır. Sülfürik asit testinde kullanılan asit Luxor Kimya firmasından alınmıştır. Bu asit % 95-98 saflık derecesine sahiptir. Su itici kimyasal kaplama malzemesi olarak Gentex marka şeffaf, solvent bazlı, akrilik reçine esaslı ticari kimyasal madde kullanılmıştır. Taşlara su itici kaplama kimyasalının sürülmeden önce numuneler temiz su ile yıkanmıştır. Daha sonra bu numuneler etüv fırında 105 ° C'de 24 saat kurutulmuştur. Su itici kimyasal kaplama uygulamasında saha şartlarında kullanılan yöntemle numunelerin üzerine fırçayla sürülmüştür. Her bir numunenin tüm yüzeylerine bir kat su itici kimyasal malzeme sürülme işlemi gerçekleştirilmiştir. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş taş numuneler, oda sıcaklığında polimerizasyon işlemi için 48 saat bekletildikten sonra deney çalışmalarında kullanılmıştır.

2.2. Metot

Deney çalışmalarında kullanılan numunelerin atmosferik etkenlere karşı dayanımlarını ve mekanik özelliklerini belirlemek için laboratuvar ortam şartlarında yapılan deneyler ile ilgili bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1. Donma-Çözülme Testi

Soğuk iklim şartlarının neden olduğu bölgelerde, taşların ayrışma dirençleri için su doygunluğunun taşlara verdiği hasarın etkisinin incelenmesi gerekmektedir (Chen vd., 2004). Bu nedenle donma-çözülme testi ile, numuneler suya doygun hale getirilmekte ve suya doygun olan numuneler dondurulmaktadır. Bu iki işlem sürecinde numunelerin gözeneklerindeki gerilimin artması sonucunda oluşacak hasarlar belirlenmektedir. Donma-

çözülme testinde, TSEN-12371 (2003) standartlarına göre, numuneler 6'şar adet 50x50x50 mm boyutlarında kesimi yapılmıştır. Bu test için numuneler 105°C'ye ayarlanmış etüv fırınında kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra numunelere donma-çözülme sıcaklıkları +20°C ile -22°C sıcaklıklarda, 6 saat donma ve 6 saat çözülme süreçleri uygulanmıştır. Donma-çözülme döngüsünde çevrim sayısının belirlenmesi önemli bir yere sahiptir. Erguler (2009) yaptığı çalışmada, Nevşehir bölgesinde yıllık donma-çözülme çevrim sayısını 37 olarak belirlemiştir. Bu nedenle numunelerin donma-çözülme sürecinin daha uzun süreli dayanımlarını belirlemek için çevrim sayısı 40 olarak uygulanmıştır. Her bir çevrim sırasında numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Bu deney su itici kimyasal madde sürülen ve sürülmeyen 6'şar adet 50x50x50 mm boyutlarında numuneler üzerine yapılmıştır.

2.2.2. Tuz Kristalizasyonu Testi

Doğal taşların, porozite oranına göre su emme miktarı değişmektedir. Yapılarda kullanılan taşların su emme kaynaklı tuz kristallenmesiyle ayrışmalar ve hasarlar oluşmaktadır. Yapıların inşaatında kullanılan taşlarda, tuz birikimi nedeniyle oluşan hasarların etkisini incelemek için doğal taşlara tuz kristalizasyonu testi yapılmaktadır. Tuz kristalizasyonu testinde potasyum klorür, sodyum klorür, sodyum sülfat dekahidrat, magnezyum klorür gibi tuzlar kullanılmaktadır (Amoroso ve Fasina, 1983; Winkler, 1996). Nevşehir taşlarının ayrışma etkisini belirlemek için sodyum klorür tuzu kullanılmış ve TSEN-12370 (2001) standardına göre yapılmıştır. Ayrıca bu testte % 14'lük sodyum klorür çözeltileri kullanılmıştır. Bu çözelti içerisinde numuneler 20±0,5°C'de 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra numuneler çözeltilerden alınarak etüv fırınında 16 saat 105±5°C'de kurutulmuştur. Etüv fırınında kurutulan numuneler 2,0±0,5 saat oda sıcaklığına soğutulmuştur. Numunelerin tuz kristallenmesine direnci için bu işlem 10 kez tekrar edilmiştir. Bu deneyde su itici kimyasal madde sürülen ve sürülmeyen 6'şar adet 50x50x50 mm boyutlarında numuneler üzerine yapılmıştır. Tuz kristalizasyonu testinde numunelerin ağırlık kayıpları Denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta M = \frac{m_f - m_d}{m_d} \times 100 \quad (1)$$

ΔM : Tuz kristalizasyon testinin öncesi ve sonrası kütlelerdeki değişimi (%), m_f : Onuncu işlemden sonra kuru deney numunesinin kütlesi (g), m_d : Kuru deney numunesinin kütlesi (g)

2.2.3. Sülfürik (H₂SO₄) Asit Testi

Sülfürik (H₂SO₄) asit testi, doğal taşların bozulma süreçleri üzerine araştırma yapılmasında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca taşın mukavemetini ve doğal taşın işleme etkinliğinin belirlenmesini sağlamaktadır (Fitzner, 2016). Numunelerin sülfürik (H₂SO₄) asit testi TSEN-13919 (2004) standardına göre yapılmıştır. Bu test için numuneler 6'şar adet 120x60x10 mm boyutlarında kesim yapılmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra etüv fırınında 70±5°C sıcaklıkta kurutulup tartılmıştır. Daha sonra bu numuneler 24 saat 20±5°C sıcaklıktaki çözeltiler içerisinde bekletilmiştir. Bu testte iki farklı çözelti kullanılmıştır. Çözelti A'nın hazırlanmasında; 150±10 ml deiyonize suya 500±10 ml sülfürik asit (H₂SO₄), çözelti B'nin hazırlanmasında; 500±10 ml deiyonize suya 150±10 ml sülfürik asit (H₂SO₄) eklenerek hazırlanmıştır. Bu iki çözelti içerisinde 3'er numuneler bırakılmış ve çözeltilerin bulunduğu kabin üstü kapakla kapatılmıştır. Numuneler 21 gün sonra kaptan çıkarılmıştır. Son olarak numuneler deiyonize su ile yıkanarak ve yeniden sabit kütle gelinceye kadar etüv fırınında kurutulmuştur. Sülfürik (H₂SO₄) asit testinde kuru numunelerin deney sonunda kütlesi tartılmıştır. Numunelerin arasındaki kütlelerdeki değişim, Denklem 2'e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta m = \frac{m_o - m_f}{m_o} \times 100 \quad (2)$$

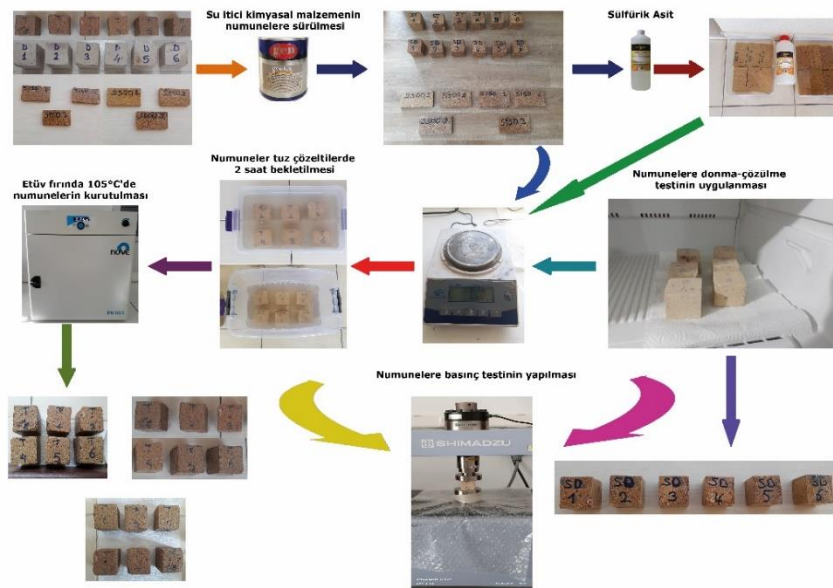
mo: Sülfürik (H_2SO_4) asit testi öncesi kuru numunenin kütlesi (g), mf: Sülfürik (H_2SO_4) asit testi sonrası kuru numunenin kütlesi (g), Δ m: Kurutulmuş numunelerin kütlesindeki değişim (%)

2.2.4. Basınç Testi

Basınç testi, iki plakalar arasında küp şeklinde numune yerleştirilmektedir. Daha sonra bu plakalar numune dağılıncaya kadar birbirine zıt yönde sabit hızla yaklaşmasıyla numunenin dayanımı belirlenmektedir. Nevşehir taşlarının atmosferik etkenlere karşı dayanıklılığı basınç testi ile tespit edilmiştir. Bu test 2 mm/dk hızında Shimadzu AGS-X markalı basınç testi cihazıyla yapılmıştır. Basınç testi için numuneler 50x50x50 mm boyutlarında kesilerek TSEN-1926 (2013) standardına göre hazırlanmıştır. Ayrıca bu deneyler, numunelerin donma-çözülme testi ve tuz kristalizasyonu testi yapılmasından önce ve sonra gerçekleştirilerek su itici kaplama sürülen ve sürülmeyen numuneler arasındaki mukavemet değişiklikleri belirlenmiştir. Ayrıca bu deneyde Nevşehir taşlarının orijinal değerlerinin donma-çözülme testi ve tuz kristalizasyonu testlerin yapılmasından sonraki basınç değerleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Basınç testi ölçümünde numunelerin adlarındaki kısaltmalar Tablo 1’de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan Nevşehir taşlarının üzerine sürülen su itici kimyasal kaplama malzemesi ve bu taşlar üzerine yapılan testler Şekil 3’de verilmiştir.

Tablo 1. Basınç testi ölçümünde numunelerin adlarında yapılan kısaltmaları ve açıklamaları

Numune adlarında yapılan kısaltmalar	Numune adlarında yapılan kısaltmalarının açıklaması
D	Donma-Çözülme Testinde Su İtici Kimyasal Sürülmemiş Numuneler
SD	Donma-Çözülme Testinde Su İtici Kimyasal Sürülmüş Numuneler
T	Tuz Kristalizasyonu Testinde Su İtici Kimyasal Sürülmemiş Numuneler
ST	Tuz Kristalizasyonu Testinde Su İtici Kimyasal Sürülmüş Numuneler
O	Nevşehir taşının herhangi bir fiziksel teste tabi tutulmayan numuneleri (Orijinal taş)

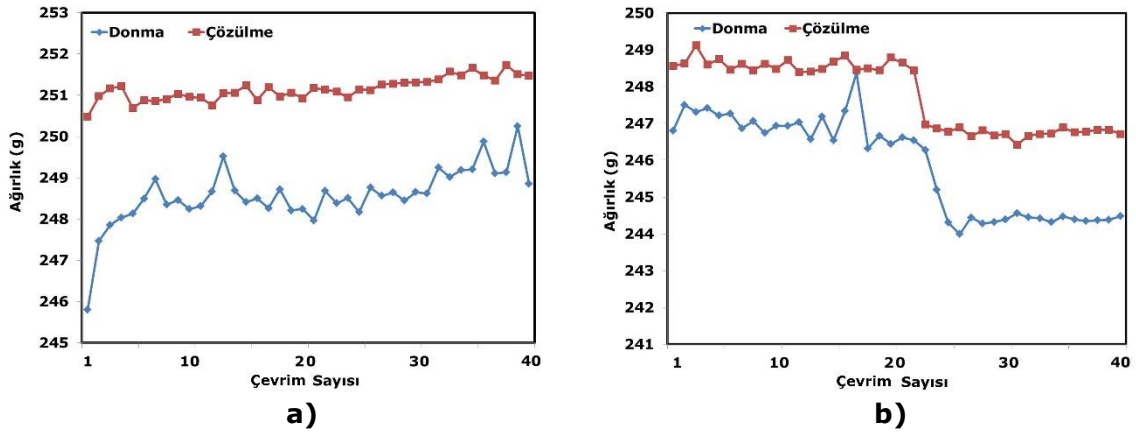


Şekil 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan Nevşehir taşlarının üzerine sürülen su itici kimyasal kaplama malzemesi ve bu taşlara yapılan testlerin fotoğrafları

3. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Donma-Çözülme Testinin Sonuçları

Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş ve sürülmemiş Nevşehir taşlarının donma-çözülme testinde 40 çevrim sonunda meydana gelen ağırlık değerlerindeki değişim Şekil 4'de verilmiştir. İncelenen tüm taşlarda bir miktar ağırlık değişimi meydana gelmiştir. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş Nevşehir taşları donma-çözülme çevrimlerinde, ağırlıklarında artan eğilim gösterirken, su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taşları donma-çözülme çevrimlerinde ağırlıklarında azalma eğilimi göstermiştir. Diğer bir şekilde, su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş Nevşehir taşlarının 40. çevrim sonunda donma-çözülme ağırlığında sırasıyla % 1,24 ve % 0,40 artış meydana gelirken, su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taşlarının 40. çevrim sonunda donma-çözülme ağırlığında sırasıyla % 0,94 ve % 0,74 azalış meydana gelmiştir (Şekil 4). Bu durum muhtemelen su itici kaplama malzemesi sürülmemiş taşların gözeneklerine giren suyun donma aşamasında buz haline dönüşürken basınç etkisiyle taşlarda hacimsel genişleme oluşturmakta ve genişleyen taşların çözülme aşamasında daha fazla su emerek ağırlıklarında artışa neden olmuştur. Ayrıca taşların ağırlıklarının artışı; çözülme aşamasında nem oranının artması, gözenekli yapıda oluşan yeni çatlaklar ve bu çatlaklara hava kabarcıklarının dolmasından kaynaklanmaktadır. Ancak su itici kaplama malzemesi sürülmüş taşların çözülme aşamasında ağırlık artışı olmamakta ve bu taşların su itici kaplama malzemesi sürülmüş taşlar kadar yüksek oranda su emmediğini göstermektedir. Bu sonuç, su itici kaplama malzemesi sürülmüş taşların hava kabarcıklarını tutma kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle, taşların donma aşamasında oluşabilecek hasarlara karşı daha iyi direnç gösterdiğini ifade etmektedir.



Şekil 4. (a) Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş Nevşehir taşlarının donma-çözülme testinde 40 çevrim sonunda meydana gelen ağırlık değişim değerleri, (b) Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taşlarının donma-çözülme test değerleri 40 çevrim sonunda meydana gelen ağırlık değişim değerleri

3.2. Tuz Kristalizasyonu Testinin Sonuçları

3.2.1. Su İtici Kimyasal Kaplama Malzemesi Sürülmemiş Numunelerin Tuz Kristalizasyonu Testinin Sonuçları

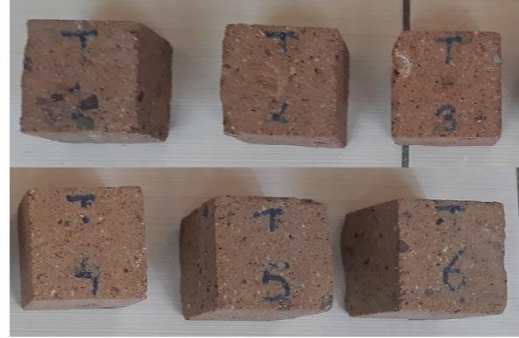
Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş Nevşehir taşlarının tuz kristalizasyonu testinde 10 çevrim sonunda meydana gelen ağırlık değerlerindeki değişim Tablo 2'de verilmiştir. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş (normal) Nevşehir taş numunelerinin kuru kütle kaybı ortalama % 0,8882 olarak tespit edilmiştir. Bu numunelerin 1, 5, 10. çevrimler sonrasında görünümü Şekil 5'de verilmiştir. Ayrıca bu numunelerde, tuz kristalizasyonu testi sonrasında taşlarda küçük kırıntı şeklinde ayrışma ve çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Yapılan bu deneyde numunelerin kütle bütünlüğünün bozulmadığı görülmüştür.

Tablo 2. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş numunelerin tuz kristalizasyonu testinin ağırlık değerleri

Numune No	Kuru ağırlık (Md) (g)	10. Çevrim sonrası ağırlık (Mf) (g)	Kuru kütle kaybı (%)	Ortalama (%)	Standart sapma
1	210,87	209,28	0,7540	0,8882	0,5111
2	211,73	211,15	0,2739		
3	213,26	209,10	1,9507		
4	203,98	202,55	0,7010		
5	212,31	210,54	0,8337		
6	211,95	210,22	0,8162		



1. çevrim



5. çevrim



10. çevrim

Şekil 5. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş Nevşehir taşlarının tuz kristalizasyonu testinde numunelerin 1, 5 ve 10. çevrimler sonrasındaki görünümü

3.2.2. Su İtici Kimyasal Kaplama Malzemesi Sürülmüş Numunelerin Tuz Kristalizasyonu Testinin Sonuçları

Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taşlarının tuz kristalizasyonu testinde 10 çevrim sonunda meydana gelen ağırlık değerlerindeki değişim Tablo 3'de verilmiştir. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taş numunelerinin kuru kütle artışı ortalama % 1,2109 olarak tespit edilmiştir. Bu durum, su itici kimyasal kaplama malzemesinin, numunelerin içerisine tam olarak nüfuz edemediği mikro yerlerde bulunan açıklıklardan tuz kristallerinin az miktarda içeri girmesi nedeniyle olmaktadır. Bu numunelerin 1, 5, 10. çevrimler sonrasındaki görünümü Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere numunelere yapılan çevrimler sonrasında, yüzeyde tuz kristallerinin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca bu numunelerde, tuz kristalizasyonu testi sonrasında taşlarda ayrışma ve çatlak oluşumları gözlemlenmemiştir. Yapılan bu deneyde numunelerin kütle bütünlüğünün korunduğu görülmüştür.

Tablo 3. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş numunelerin tuz kristalizasyonu testinin ağırlık değerleri

Numune No	Kuru ağırlık (Md) (g)	10. Çevrim sonrası ağırlık (Mf) (g)	Kuru kütle artışı (%)	Ortalama (%)	Standart sapma
1	206,01	208,75	1,3300	1,2109	0,3761
2	207,4	209,21	0,8727		
3	207,23	209,90	1,2884		
4	209,38	210,70	0,6304		
5	206,65	209,40	1,3308		
6	206,28	210,02	1,8131		



1. çevrim



5. çevrim

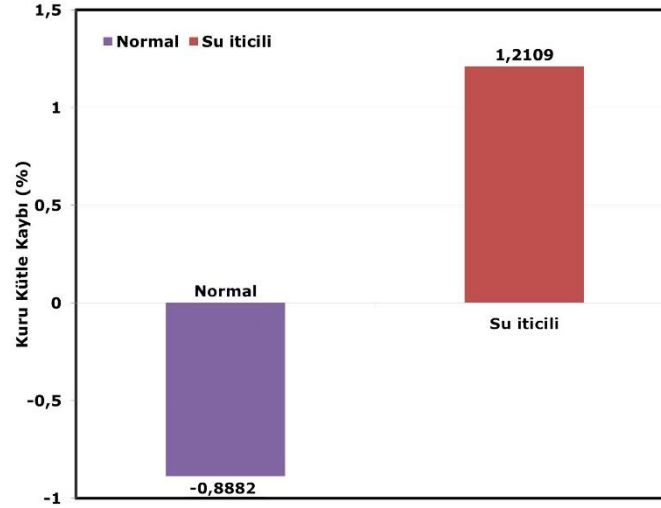


10. çevrim

Şekil 6. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taşlarının tuz kristalizasyonu testinde numunelerin 1, 5 ve 10. çevrimler sonrasındaki görünümü

3.2.3. Tuz Kristalizasyonu Testi Sonrasında Numunelerin Kuru Kütle Ağırlığındaki Değişim Sonuçları

Tuz kristalizasyonu testi sonrasında numunelerin kuru kütle ağırlığındaki değişim sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Su itici kimyasal malzemesi sürülmemiş (normal) Nevşehir taş numunelerinin ortalama %0,8882 kuru kütle kaybı tespit edilirken, su itici kimyasal malzemesi sürülmüş numunelerde ortalama %1,2109 kuru kütle artışı tespit edilmiştir.



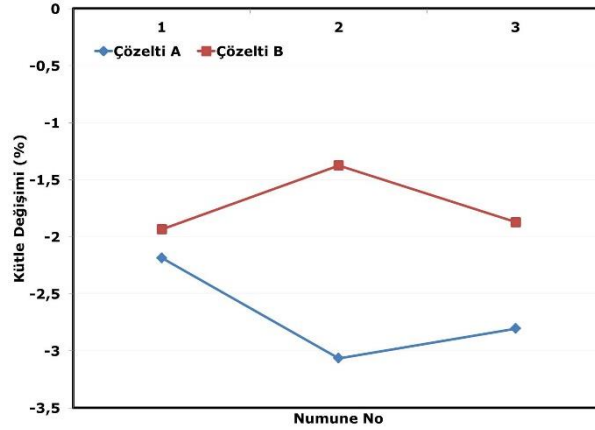
Şekil 7. Tuz kristalizasyonu testi sonrasında numunelerin kuru kütle ağırlığındaki değişiklikler

Tuz kristalizasyonu testinde Nevşehir taş numuneleri 2 saat tuz çözeltisinde bekletilmesi sırasında, taşların gözeneklerinin içerisine tuz çözeltisi girmekte ve numuneler 105°C'de etüv fırında kurutulmasıyla, tuz çözeltisindeki su buharlaşarak gözeneklerde tuz kristallenmesine neden olmaktadır. Numunelere yapılan çevrimlerin sayısının artması, gözeneklerde tuz kristallerini arttırmaktadır. Bu çevrimler sırasında gözeneklerde oluşan tuz kristalleri taş numunelerde hacim artışı nedeniyle numunelerin içyapısında basıncı da arttırmaktadır. Artan basınçla birlikte taşların yapısal özelliği azalmaktadır. Bu süreçte numunelerde mikro çatlaklar oluşmaktadır. Taşlarda oluşan mikro çatlaklar, deney sırasında uygulanan çevrimlerin sayısının artmasına bağlı olarak, çatlakların sayısı ve genişliğinin artması sonucunda, taşlarda küçük kırıntı şeklinde ayrışmalara yol açmaktadır. Tablo 2 ve Tablo 3'deki verilere göre, Nevşehir taşlarının gözenekli yapısına rağmen, tuz kristallenmesine karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir. Numunelerdeki kütle değişimlerinin yaklaşık % 1 oranında olması, numunelerin yapısal bütünlüğünün korunmasını sağlamaktadır. Ancak çevrim sayısının artması, taş numunelerin renginin solmasına neden olmuştur. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş numunelerde kütle artışının düşük oranda olması, su itici polimer malzemenin kendi yapısal özelliğinden kaynaklanmaktadır. Su itici kimyasal kaplama malzemesi, numunelerin gözeneklerini kapatarak, taşın su emilimini azaltmıştır. Ancak çevrimlerin sayısının artmasıyla oluşan mikro çatlaklar, su itici kimyasal kaplama malzemesinin koruma özelliğinin azalmasına, numunelerde düşük oranda su emmeye neden olmuştur.

3.3. Sülfürik (H₂SO₄) Asit Testinin Sonuçları

3.3.1. Su İtici Kimyasal Kaplama Malzemesi Sürülmemiş Numunelerin Sülfürik (H₂SO₄) Asit Testinin Sonuçları

Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş Nevşehir taşlarının sülfürik (H₂SO₄) asit testinin sonunda meydana gelen ağırlık değerlerindeki değişim Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'de verilen grafiğe göre, su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş numunelerin ortalama % 2,206 ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Sülfürik (H₂SO₄) asit testinde yapılan 2 farklı çözelti, sülfürik asit (H₂SO₄) oranına bağlı olarak numunelerin ağırlık kaybı değerlerinde değişiklik göstermiştir. Çözelti A'da (150 ml su+500 ml sülfürik asit) numunelerin ağırlık kaybı değeri ortalama % 2,685 olurken, çözelti B'de (500 ml su+150 ml sülfürik asit) ortalama kütle kaybı % 1,727 olarak tespit edilmiştir. Sülfürik (H₂SO₄) asit oranının artmasına bağlı olarak numunelerin kütle kaybı değeri de artmıştır.

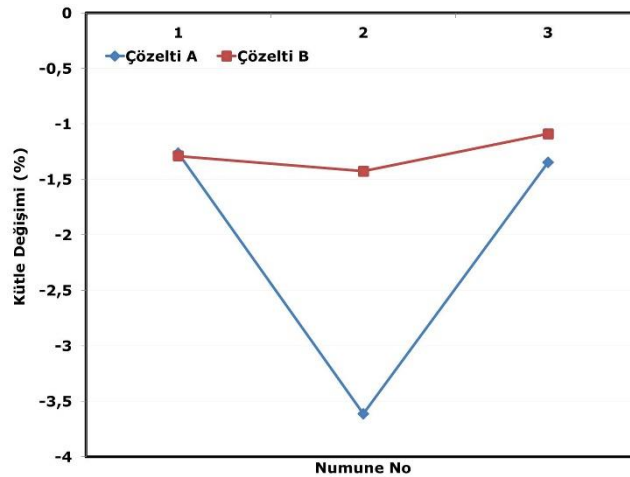


Şekil 8. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmemiş Nevşehir taşlarının sülfürik (H_2SO_4) asit testinin sonunda meydana gelen ağırlık değerlerindeki değişim

3.3.2. Su İtici Kimyasal Kaplama Malzemesi Sürülmüş Numunelerin Sülfürik (H_2SO_4) Asit Testinin Sonuçları

Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taşlarının sülfürik (H_2SO_4) asit testinin sonunda meydana gelen ağırlık değerlerindeki değişim Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'da verilen grafiğe göre, su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş numunelerin ortalama % 1,672 ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Sülfürik (H_2SO_4) asit testinde yapılan 2 farklı çözelti, sülfürik asit (H_2SO_4) oranına bağlı olarak numunelerin ağırlık kaybı değerlerinde değişiklik göstermiştir. Çözelti A'da (150 ml su+500 ml sülfürik asit) numunelerin ağırlık kaybı değeri ortalama % 2,076 olurken, çözelti B'de (500 ml su+150 ml sülfürik asit) ortalama kütle kaybı % 1,268 olarak tespit edilmiştir. Sülfürik (H_2SO_4) asit oranının artmasına bağlı olarak numunelerin kütle kaybı değeri de artmıştır.

Su itici kimyasal malzeme sürülmüş Nevşehir taş numunelerinde sürülmemiş numunelere göre ağırlık değişimlerinde yaklaşık 0,3 kat azalmış olmuştur. Bu sonuç akrilik esaslı koruyucu kimyasal malzemesinin, Nevşehir taşının korunması için kayda değer katkı sağlayamamıştır.

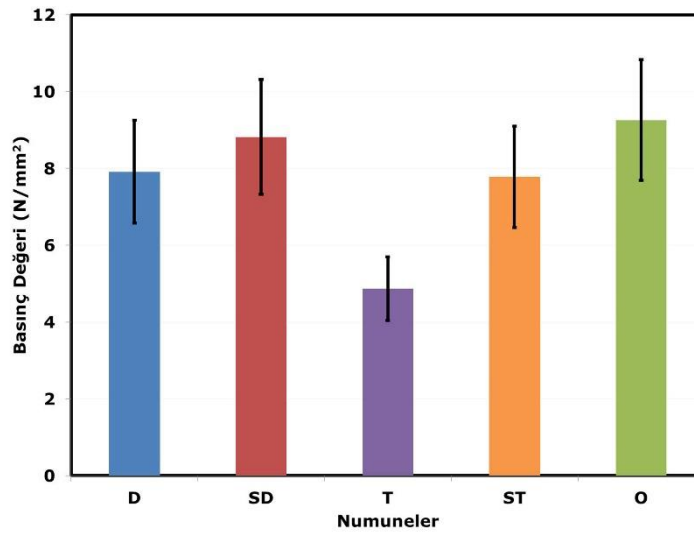


Şekil 9. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taşlarının sülfürik (H_2SO_4) asit testinin sonunda meydana gelen ağırlık değerlerindeki değişim

3.4. Basınç Testinin Sonuçları

Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş ve sürülmemiş Nevşehir taşlarının donma-çözülme testi ve tuz kristalizasyonu testlerinden önce ve sonra basınç değerleri ile Nevşehir taşlarının orijinal basınç değerleri Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'da verilen grafikte görüldüğü üzere, Nevşehir taşlarının orijinal (O) basınç değeri ortalama $9,26 N/mm^2$ iken,

su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş donma-çözülme (SD) ve tuz kristalizasyonu testleri (ST) sonrasında numunelerin sırasıyla basınç değeri ortalama 8,81 N/mm² ve 7,78 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Tuz kristalizasyonu testlerinde 10 çevrim sonunda su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş numunelerin ve sürülmemiş numunelere göre, basınç dayanımı değerinde % 59,75 artış olurken, bu numunelerin Nevşehir taşlarının orijinal basınç değerine göre % 15,98–% 47,38 azalma ölçülmüştür. Donma-çözülme testlerinin 40 çevrim sonunda su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş numunelerin ve sürülmemiş numunelere göre basınç dayanımı değerinde % 11,38 artış olurken, bu numunelerin Nevşehir taşlarının orijinal basınç değerine göre % 4,81–% 14,54 azalma ölçülmüştür. Bu sonuçlar, tuz kristallerinin numunelere verdiği tahribat donma-çözülme süreçleri sonucunda oluşan tahribata göre daha fazla hasar olduğunu göstermektedir. Ayrıca tuz kristalizasyonu ve donma-çözülme testlerinde su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş numunelerin sürülmemiş numunelere göre, taşların mekanik direncinde önemli ölçüde iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 10. Su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş ve sürülmemiş Nevşehir taşlarının donma-çözülme testi ve tuz kristalizasyonu testlerinden önce ve sonra basınç değerleri ile Nevşehir taşlarının orijinal basınç değerleri

4. SONUÇLAR

Bu makale, solvent bazlı akrilik reçine esaslı su itici kimyasal kaplama malzemesinin Nevşehir taşlarının mekanik özelliklerine etkisi ve bu kimyasal kaplamanın atmosferik koşullara karşı dayanımının incelenmesine odaklanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Donma-çözülme testi sonucuna göre, su itici kaplama malzemesi sürülmüş taşların sürülmemiş taşlara göre hava kabarcıklarını tutma kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle, taşların donma aşamasında oluşabilecek hasarlara karşı daha iyi direnç gösterdiği tespit edilmiştir.
- Tuz kristalizasyonu testi sonucuna göre, su itici kimyasal malzeme sürülmüş numunelerde kütle artışının sürülmemiş numunelere göre daha düşük oranda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca su itici kimyasal kaplama malzemesi, numunelerin gözeneklerini kapatarak malzemenin su emilimini azaltmış ve numunelerin yapısal bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır.
- Sülfürik (H₂SO₄) asit testi sonucuna göre, su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş Nevşehir taş numunelerinin sürülmemiş numunelere göre kütle kayıp değerinin daha az olduğu belirlenmiştir.
- Basınç testi sonucuna göre, tuz kristalizasyonu ve donma-çözülme testlerinde su itici kimyasal kaplama malzemesi sürülmüş numunelerin sürülmemiş numunelere göre daha yüksek dayanım ve mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, atmosferik etkenlere karşı dayanıklılığı ve mekanik direnci nedeniyle solvent bazlı akrilik reçine esaslı su itici kimyasal kaplama malzemesi Nevşehir taşıyla inşa edilen tarihi yapıların çevresel koşullara bağlı oluşabilecek tahribatlara karşı restorasyonu için önerilmektedir. Akrilik esaslı koruyucu kimyasal kaplama malzemesinin sülfirik asit testinde kayda değer korunma sağlaması için farklı polimer kimyasal malzemeler kullanarak Nevşehir taşının atmosferik gazlara karşı daha etkili korunması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Amoroso, G. G., Fasina, V. (1983). Stone decay and conservation; Atmospheric pollution, cleaning; and consolidation, United States.
- Aydan, Ö., Ulusay, R. (2003). Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey. *Engineering Geology*, 69 (3-4), 245-272.
- Chen, T., Yeung, M., Mori, N. (2004). Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze-thaw action. *Cold Regions Science and Technology*, 38 (2-3), 127-136.
- Deniz, B. E., Topal, T. (2021). A new durability assessment method of the tuffs used in some historical buildings of Cappadocia (Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 80, 266.
- Erguler, Z. A. (2009). Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs. *Engineering Geology*, 105 (3-4), 186-199.
- Fitzner, B. J. (2016). Investigation of weathering damage on stone monuments. *Geonomos*, 24 (2), 1-15.
- Garcia-Vallès, M., Topal, T., Vendrell-Saz, M. (2003). Lichenic growth as a factor in the physical deterioration or protection of Cappadocian monuments. *Environmental Geology*, 43, 776-781.
- Korkaç, M. (2013). Deterioration of different stones used in historical buildings within Nigde province, Cappadocia. *Construction and Building Materials*, 48, 789-803.
- Le Pennec, J.-L., Bourdier, J.-L., Froger, J.-L., Temel, A., Camus, G., Gourgaud, A. (1994). Neogene ignimbrites of the Nevşehir plateau (Central Turkey): stratigraphy, distribution and source constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63 (1-2), 59-87.
- Moon, V. G. (1993). Microstructural controls on the geomechanical behaviour of ignimbrite. *Engineering Geology*, 35 (1-2), 19-31.
- Oğuz, K. (2020). Nevşehir ilinde hava kalitesinin ve meteorolojik faktörlerin hava kirliliği üzerine etkilerinin incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6 (2), 391-404.
- Olaru, M., Aflori, M., Simionescu, B., Doroftei, F., Stratulat, L. (2010). Effect of SO₂ dry deposition on porous dolomitic limestones. *Materials*, 3 (1), 216-231.
- 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.
- Spiker, E., Hosker, R., Weintraub, V., Sherwood, S. (1995). Laboratory study of SO₂ dry deposition on limestone and marble: Effects of humidity and surface variables. *Water Air and Soil Pollution*, 85, 2679-2685.
- Thomas, C., Lombillo, I., Setién, J., Polanco, J., Villegas, L. (2013). Characterization of materials with repellents and consolidants from a historic building. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25 (11), 1742-1751.
- Topal, T., Doyuran, V. (1997). Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff. *Engineering Geology*, 47 (1-2), 175-187.
- Topal, T., Doyuran, V. (1998). Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey. *Environmental Geology*, 34, 5-20.
- TSEN-1926. (2013). Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Tek eksenli basınç dayanımı tayini. *TSE, Ankara*.
- TSEN-12370. (2001). Doğal Taşlar-Deney metotları-Tuz kristalleşmesine direncin tayini. *TSE, Ankara*.



- TSEN-12371. (2003). Doğal taşlar-Deney metotları-Dona dayanım tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TSEN-13919. (2004). Doğal taşlar, deney metotları, nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini. *TSE, Ankara*.
- Vacchiano, C. D., Incarnato, L., Scarfato, P., Acierno, D. (2008). Conservation of tuff-stone with polymeric resins. *Construction and Building materials*, 22 (5), 855-865.
- Vella, A. J., Camilleri, A., Tabone Adami, J. P. (1996). Limestone surfaces in built-up environment as indicators of atmospheric pollution. *Environmental Geochemistry and Health*, 18, 165-170.
- Winkler, E. M. (1996). Properties of marble as building veneer. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 33 (2), 215-218.