



# Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



## Epoksi ve silan kaplı doğal taş yüzeylerinin karakteristik özelliklerindeki değişimin araştırılması

### *Investigation of the change in the characteristic properties of epoxy and silane coated natural stone surfaces*

Z. Ebru SAYIN<sup>a\*</sup>, Hakan ÇİFTÇİ<sup>a</sup> ve Mustafa GÜRİSOY<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Araştırma Makalesi

#### Anahtar Kelimeler:

Traverten, Silan,  
Epoksi, Yüzey Koruma,  
Gözenekli Yapı.

#### ÖZ

Traverten makro ve mikro gözeneklere sahip bir doğal taştır; bu gözenekler kılcal yollarla birbirine bağlanmaktadır. Görünümü ve gözenekli yapısı travertene farklı bir tarz katarak kullanım alanlarını çeşitlendirmektedir. Bununla birlikte, travertenin geniş gözenekli yapısı kullanım alanlarının belirlenmesinde bazı sınırlamalar getirmektedir. Çalışmada, travertenin gözenekliliğine bağlı olarak kullanım alanlarında ayrışmayı önlemek ve en aza indirmek için suya karşı koruma sağlayan silan ve epoksi adı verilen koruyucu solüsyonlar kullanılmış ve traverten üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Her iki kimyasalın traverten yüzeyine ayrı ayrı uygulanması püskürtme, fırça ile uygulama ve kimyasala daldırma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kurlenme sonrası yapılan fiziksel incelemelerden elde edilen bulgular ile uygulama ve daldırma yöntemi kullanılarak çalışmaya devam edilmiştir. Daldırma yöntemi, kimyasalın 10, 20 ve 40 dakikalık bekleme süreleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmada en iyi uygulama koşullarının 10 dakika kimyasal daldırma olduğu tespit edildi. Ancak SO<sub>2</sub> aşınma deneylerinde kimyasalın yüksek viskozitesi nedeniyle epoksi ile işlem gören yüzeylerin daha dayanıklı olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak silan uygulamasının epoksiye göre daha etkili yüzey koruma sonuçları sağladığı tespit edilmiştir.

Geliş Tarihi: 25.05.2023

Kabul Tarihi: 25.03.2024

#### Keywords:

Travertine, Silane, Epoxy,  
Surface Protection,  
Porous Structure.

#### ABSTRACT

Travertine is a natural stone with macro and micropores; these pores are connected by capillary means. Their visual appearance and porous structure add a different style and diversify their usage areas. However, the large pore structure of travertine brings some limitations in determining the usage areas. In the study, protective solutions called silane and epoxy, which provide protection against water, were used to prevent and/or minimize decomposition in areas of use, depending on the porosity of the travertine, and their effects on travertine were compared. Treatment of both chemicals separately on the travertine surface was carried out by spraying, applying with a brush, and dipping into chemicals. With the findings obtained from the physical examinations after curing, the work continued using the applying and dipping method. The dipping method was evaluated with the chemical's 10, 20, and 40-minutes waiting times. The study found that the best application conditions were chemical immersion for 10 minutes. However, in SO<sub>2</sub> wear experiments, it was understood that surfaces treated with epoxy were more durable due to the high viscosity of the chemical. As a result, it has been determined that silane application provides more effective surface protection results than epoxy.

\*Başyurulacak yazar: Z. Ebru SAYIN, [zerkan@aku.edu.tr](mailto:zerkan@aku.edu.tr)

## 1. Giriş

Traverten, kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) içeren kaplıca suyunun ve özellikle sıcak su kaynaklarının hava ile teması sonucu karbondioksitin ( $\text{CO}_2$ ) uçması sonrasında çökelen, kalsiyum bikarbonat  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  içeren karbonat tortul kayalardır. Çökelişi genellikle kalsit ve aragonit kristalleri içerir (Chafetz ve Folk, 1984; Polat, 2011). Traverten, oluşumundan kaynaklanan yapısı nedeniyle fosilli ve gözenekli bir morfolojiye sahiptir ve özellikle işlenmesi sırasında diğer doğal taşlara (mermer, granit vb.) kıyasla daha fazla sorun yaratmaktadır. Fabrikalarda ölçülü ürünlerin yapım sürecinde kullanılan alet ve ekipmanların kontrollü kullanımının üretim kalitesinin artmasına yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Kamacı, 2013). Travertenin fosilli ve gözenekli (poröz-gözenekli) yapısı fabrikalarda bir dezavantaj olarak değerlendirilirken (Kamacı, 2013), bu yapının ısı yalıtımı için bir avantaj olacağı unutulmamalıdır. Altay vd. (2001), Türkiye’de bulunan bazı doğal taşları ısı iletkenlik katsayısı açısından incelemişlerdir. Yüksek gözenekliliğe sahip kayalar temsilen seçtikleri travertenlerin ısı iletkenlik katsayılarının diğer kayalara göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Son yıllarda inşaat ve turizm sektöründeki yapıların artması ve ortamlarda doğal taş kullanımına yönelik talepler doğal taş kullanımında büyük hareketlilik yaratmaktadır. Doğal taşların yüzey işleme teknolojilerindeki gelişmeler ve inşaat sektörünün yapıların yüzey kaplama malzemesi olarak hammaddeye yönelmesi ile doğal taşlar diğer kaplama malzemelerine göre daha fazla kullanılmaya başlandı. Ancak yapı taşlarının, özellikle traverten gibi gözenekli taşların yaygın kullanımı, uygulanacağı bölgeye göre sınırlamalara neden olmaktadır (Erdem, 2016; Hasbay ve Hattap, 2017; Tayşi, 2021).

Yapı malzemeleri zaman, çevre ve iklim koşulları gibi dış etkenlerden olumsuz biçimde etkilenmektedir ve bu durum fiziksel ve mekanik özelliklerini kaybetmelerine neden olmaktadır (MEB, 2013). İnşaat sektöründe kullanılan yapı taşlarının başlıca eksiklikleri, malzeme özelliklerinde nem ve suyun etkisiyle meydana gelebilecek değişikliklerdir (Dal ve

Yılmaz, 2015). Bu değişiklikler, yapı malzemesinin gözeneklilik değerinin belirlenmesinde etkilidir. Gözeneklilik değeri yüksek olduğunda, su emilim değeri ağırlığa göre artar (Öztank ve Bacakoğlu, 2001; Öcal ve Dal, 2012), böylece korumasız yüzeylerde aşınma ve yıpranmaya neden olur. Bununla birlikte doğal taştaki kılcal kanallar, travertenlerin su geçirgenliğini etkileyen ve damarlarda oluşan kılcal basıncın etkisiyle su hareketini devam ettirmektedir. Çevrede olası sıcaklık değişiklikleri ve nem oranı da değişebilir ve sıvı haldeki suyun su sıcaklığında katı hale geçmesine neden olabilir, bu da çiylenme ve donmaya yol açabilir (Dal ve Yılmaz, 2015). Hacime maruz kalan su, doğal taş yapısında iç gerilmelere neden olduğundan donma ve çözülme durumunda drenajın korunması için kılcal su geçirgenlik özelliklerinin incelenmesi ve suyun gövdeye girmesini engelleyen koruyucu bir malzeme ile doldurulması gerekmektedir. Travertenin daha önce de belirtildiği gibi döşeme, cephe veya dekorasyon ilavesi olarak kullanımının doğal sonucunun atmosferik ortamlarda yavaş da olsa ortaya çıktığı bilinmektedir. Kimyasal ve fiziksel etkisi bu durumu hızlandırmaktadır. Örneğin, sülfatın etkisi ( $\text{SO}_2$  içinde aşınma) yüzeyde çatlaklar oluşturarak doğal taşın mukavemetini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda hidratlı yapının iç kohezyon kaybına ve bina bağlantı elemanları arasındaki tutunmasının azalmasına neden olur (Erdoğan, 1998). Sülfat içeriğindeki artışla birlikte doğal taş yüksek düzeyde korozyona neden olmuştur. Sonuç olarak, yüzeyde şişme ve parçalanma meydana gelecektir. Etki, bileşenlerinden parçaların yayılması, kenar ve köşelerde kırılma ile kendini gösterecektir. (Uğurlu, 2003; Öcal ve Dal, 2012; Dal ve Yılmaz, 2015). Maruz kalma sırasında toprak içinde kalarak iç yapıda önemli hasarlara neden olacaktır (Uğurlu, 2003).

Bu çalışmada gözenekli ve çatlaklı doğal taşların onarımına ilişkin uygulama örnekleri ve bu uygulamaların işletmelere getirdiği ek kazanımlar incelenmiştir. Çatlak onarımı ve gözenek dolgusu üretimin son aşaması olduğu için bu aşamada yaşanan üretim kayıpları maliyeti artırmaktadır. Kesilen ve cilalanmaya hazırlanan taş için o ana kadar harcanan tüm masraflar, gerekli onarımlar yapılmadığı takdirde tamamen boşa gidecektir.

Öte yandan kayıp malzeme ve işçilik maliyetine baktığımızda onarım ve dolgu işlemlerinin sanıldığı kadar maliyetli olmadığı görülmektedir. Aksine, ek katma değer sağlayarak kar elde etmek için önemli araçlar oldukları belirtilmiştir (Çetin, 2001; Acar, 2003). Doğal ve yapay malzemelerin çevresel etkilere karşı dayanıklı hale getirilmesi, özellikle inşaat sektöründe ve sonrasında çeşitli üretim hatlarında en önemli araştırma ve uygulama konularından biri haline gelmiştir. Bu araştırma ürünlerinden epoksi ve silan çalışma kapsamında kullanılmıştır. Epoksi, ıslak ve kuru zeminlerde kullanılacak malzemelerin yüzey kaplama işlerinde, atmosferik şartlara maruz kalmalarında oluşabilecek olumsuzlukları önler, üretim sırasında çeşitli mekanik, fiziksel ve kimyasal etkiler altında ortaya çıkan olumsuzlukları giderir ve üretilen malzeme yüzeyini (iç ve dış) estetik malzemelerle kaplayarak her türlü sonuca karşı korur. Aynı zamanda epoksi, kimyasallara, yağlara, sürtünmeye ve aşınmaya karşı dayanıklı yüzeyler oluşturmak için epoksi bazlı ürünlerle kaplanan, herhangi bir yapısal değişikliğe uğramadan yıllarca kullanılan malzemeler için geliştirilmiş teknolojik bir malzeme grubudur ve kolay temizlenebilir, steril ve estetik olması gibi özelliklere sahiptir. Alternatif zemin kaplamalarının çoğundan daha uzun süre koruyucu özelliğe sahiptir ve en önemli faydası yüzey yenilemesinin cüzi maliyetlerle yapılabilmesidir. Bu özelliklerinden dolayı her geçen gün artan talep ile geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Epoksi reçinesinin dezavantajlarından bazıları, işlemeden önce malzemeyi ısıtma ihtiyacı ve iyileşme hızının doymamış polyesterlere göre daha yavaş olmasıdır. Ayrıca, epoksi reçine sisteminde özel uzmanlık gerektirir ve baz epoksinin ve sertleştiricilerin farklı üreticilerden temin edilmesi gerekebilir (Gibson, 2017).

Buna karşılık silan, siloksan katkı, düşük viskoziteli, renksiz, şeffaf, kullanıma hazır bir koruyucu malzemedir. Yüksek nüfuz etme özelliğine sahip bir empenye malzemesi olduğu için dış cephe kaplamalarında kullanılan yapı malzemelerinde; doğal ve yapay taş yüzeyler gibi su emici yüzeylerde, tarihi eserleri atmosferik gazların etkilerinden korumak için üzerlerinde, beton ve çimento esaslı yüzeylerde

su, tuz, klor ve alkalilerden kaynaklanan ve koruma amaçlı kullanılır. Yapı elementlerinin yüzeyine katı su itici (hidrofobik) özellik kazandırılması kuru kalmalarını sağlar, ısı kaybını ve ısıtma maliyetlerini azaltır, yüzeyi geçirimsiz hale getirerek çatlakların yayılmasını önleyerek atmosferik gazlara karşı koruma avantajı sağlar (Tekno Yapı Kimyasalları, 2023).

Travertenler oluşum ortamına bağlı olarak belli bir örüntüye sahip yapılarıdır. Travertenin inşaat sektöründeki uygulamalarında bu dokusal özelliği tercih edilebilmektedir. Bu nedenle üretim sırasında yapının korunması ve ortaya çıkarılması istenebilir. Bu bağlamda, taşın dokusal özelliklerinin kılcal su emme ve tek eksenli basınç dayanımı parametreleri üzerindeki etkisinin tartışıldığı çalışmada, dokusal özelliklerin hem kılcal su emme hem de tek eksenli basınç dayanımını etkilediği belirtilmektedir. Elde edilen sonuçlar, traverten kullanılırken kesim şekline bağlı teknik özelliklerin göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuştur (Çobanoğlu, 2020). Gözenekli bir yapıya ve dolayısıyla hidrofobik karaktere sahip olan doğal taşların, yüzeyinin su itici hale getirilerek su itici özellik kazandırılması, pürüzsüz yüzeyler elde edilmesi ve kullanım alanlarının artırılarak sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için katkı maddeleri kullanılarak bakteri üretmeyen ürünlere dönüştürülmesi gerekmektedir (Çetin, 2001). Bu kapsamda epoksi ve silan gibi yapı kimyasalları koruyucu oldukları için gözenekli doğal taşlardan seçilen traverten yüzeyine belirli oranlarda ayrı ayrı nüfuz ettirilmiştir. Kullanım alanına uygunlukları karakteristik özelliklerindeki değişimler incelenerek değerlendirilmiştir.

Başta travertenler olmak üzere çeşitli sektörlerde kullanılan doğal taşlar, kılcallık (boşluklar, çatlaklar, yarıklar vb.) yoluyla suyu emer. Zamanla doğal taşlar da su miktarına ve nüfuz etme süresine bağlı olarak bozulmalara neden olur. Bu bozulmalar sadece taşın ömrünü azaltmakla kalmaz, aynı zamanda görsel bozukluklara sebebiyet verir. Kılcal su emme miktarı doğal taşın türüne bağlı olarak değişmektedir. Çalışmada silan ve epoksi kaplı traverten örneklerinin bu durumdan ne kadar etkilendiği araştırılmıştır. Silan ve epoksi ile işlem gören numunelerin;

atmosfer basıncında su emme, kılcal su emme, tuz kristallenmesine karşı direnç tayini ve SO<sub>2</sub>'de aşınma testleri yapılarak deformasyona karşı yüzey korumada daha etkili olan koruyucu çözüm araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan traverten numunesi Konya'nın Karaman ilçesinden alınmıştır. Afyon İncehisar'da faaliyet gösteren bir firmadan 10x10x2 cm levha ve 10x10x10 cm küp numunelerden oluşan 600 adet numune temin edilmiştir. Laboratuvara getirilen numuneler 70°C'de kurutmaya tabi tutulduktan sonra hazırlanarak XRD (X-Işını Kırınım Analizi) ve XRF (X-Işını Floresans) analizleri yapılmıştır. Tekno Yapı Kimyasalları şirketinden silan (Teknosil ürünü), Tenax Mühendislik şirketinden ise epoksi temin edilmiştir. Konuların işlenmesinde izlenecek yol ve yöntemler, bahsedilen konuların özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

Numunenin kimyasal analizi (Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazında) ve tuz kristalleşmesine karşı direncin belirlenmesi (TS EN 12370 standardına göre yapılmış, hazırlanan çözelti ağırlıkça %14 sodyum sülfat dekahidrat içermektedir) deneyleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tüm kayaç mineralojik analizleri Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM) laboratuvarında (2θ=0°-80°) gerçekleştirilmiştir. X-ışını analizleri, Shimadzu 6000 modeli ve Bruker D8 Advance X-ışını difraktometreleri kullanılarak, mineral tanımlamaları ise JCPDS (Toz Kırınım Standartları Ortak Komitesi) (1993) kartları kullanılarak yapılmıştır. Doğal traverten, epoksi ve silan ile işlenmiş örneklerin cıva porozimetre analizi, aynı laboratuvarında MICROMERITICS marka bir cıva porozimetre cihazında gerçekleştirilmiştir.

Traverten numunelerinin temas açısı değerleri One Attension Theta Optik Gonyometre kullanılarak damla difüzyon yöntemiyle ölçülmüştür. Ölçümlerden önce ham traverten numunelerinin yüzeyleri zımparalanmış, distile su ile yıkanmış ve 105°C'de 24 saat kurutulmuştur. Silan kaplı numunelerin kaplama işlemi oda sıcaklığında 12 saat ve 105°C'de 4 saat

olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Epoksi kaplama işleminde traverten numuneler 50°C'ye kadar önceden ısıtılmış, ardından epoksi ile kaplanmış ve 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Numuneler epoksi kaplamasını hızlandırmak için 50°C'de ön ısıtmaya tabi tutulmuştur.

Çalışmada, epoksi ve silan mekanik bir karıştırıcıda 3 dakikadan az olmamak üzere karıştırılmış ve yıkanıp kurutularak numunelerin yüzeyine fırça ile emprenye edilmiştir. Emprenye işlemi iki farklı şekilde uygulanmıştır. Birinci grup çalışmada numuneler fırça yardımıyla yüzeylere sadece bir kat uygulanarak, ikinci grup çalışmada ise silan ve epoksi içerisine daldırılan numuneler 10 dakika koruyucu solüsyonlar içerisinde bekletildikten sonra çıkarılarak kurutulmuştur. Silan ile yapılan çalışmalarda ek olarak 20 ve 40 dakika bekletilmiştir. Püskürtme ile yapılan emprenye işlemi uygun sonucu vermediğinden bu yöntemle ilgili analizlerden vazgeçilmiştir. Numuneler polimerleşme sürecinin sağlanması için 24°C'de 48 saat kurutulduktan sonra incelemede kullanılmıştır. Örnekler, polimerizasyon sürecinin sağlanması için 24°C'de 48 saat kurutulduktan sonra araştırmada kullanılmıştır. Çalışmalar için hazırlanan örneklerin gruplandırılması ve epoksi ile silane işlem süreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

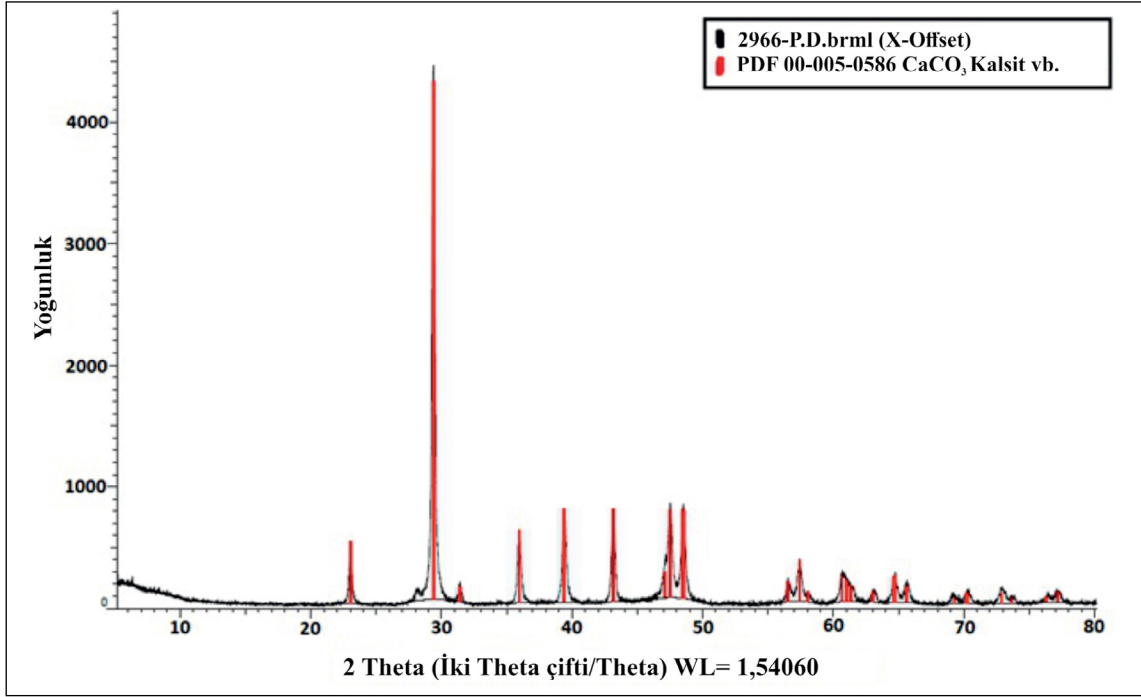
Çizelge 1- Çalışma için hazırlanan numune türleri.

Numune Yüzeyine Uygulama Türü		Süre (Dakika)		
Epoksi	Yüzeye uygulama	-		
	Epoksiye daldırma	10		
Silan	Yüzeye uygulama	-		
	Silana daldırma	10	20	30

## 3. Tartışma

İşlem görmemiş traverten numunesinin X-ışını difraktometri analizi sonucu Şekil 1'de verilmiştir. XRD analizinde numunenin içeriğinin kalsit olduğu tespit edilmiştir.

Numunenin kimyasal analizi sonucunda ısı kaybının %43,8, CaO içeriğinin ise %55 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2).



Şekil 1- XRD analizi sonucu.

Çizelge 2- Traverten numunesinin kimyasal bileşimi.

Bileşik	Birim	Sonuç
SiO <sub>2</sub>	%	0.339
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.085
AlO <sub>3</sub>	%	0.095
CaO	%	55.00
MgO	%	0.395
SrO	%	0.089
SO <sub>3</sub>	%	0.130
Na <sub>2</sub> O	%	0.016
MnO	%	0.065
K <sub>2</sub> O	%	0.019
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.012
Kül Kaybı	%	43.80

Ham, epoksi ve silan kaplı traverten numunelerinin temas açısı ölçümlerinde, numunelerin temas açıları yüzeyin birkaç farklı noktasından damıtılmış su ile ölçülmüş ve ortalama değerler kaydedilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3- Ham ve yüzeyi kaplanmış traverten numunesinin temas açıları.

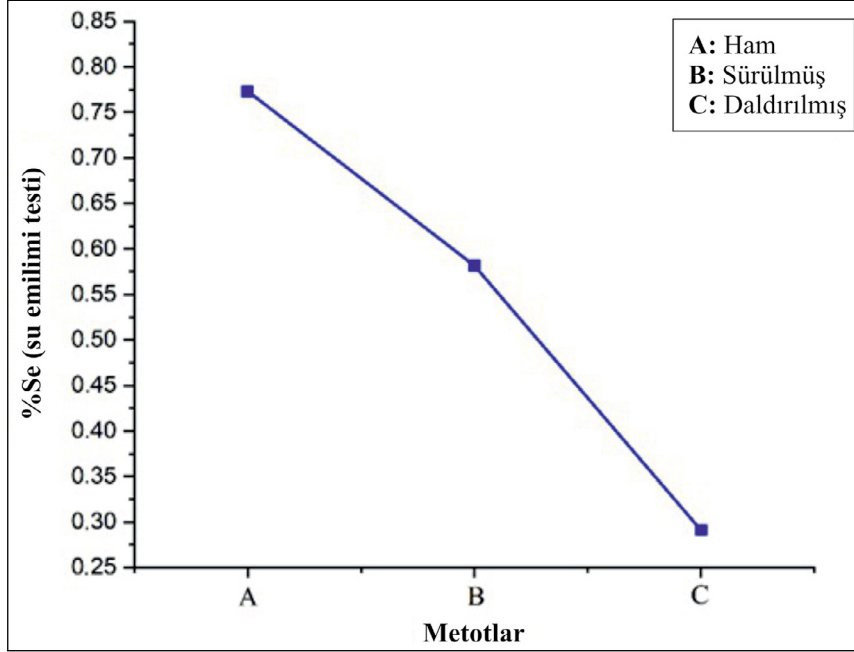
Numune	Ham Traverten	Epoxy Kaplı Traverten	Silan Kaplı Traverten (İyileşme: 12 saat, 25°C)	Silan Kaplı Traverten (İyileşme: 4 saat, 105°C)
Ortalama Temas Açısı	64.9°	61.62°	109.3°	130.9°

Çizelge 3'te görüldüğü üzere, ham travertenin temas açısı silan kaplama işleminden sonra önemli ölçüde artmış ve su itici özellik kazanmıştır. Epoksi ile kaplama temas açısında ciddi bir değişikliğe neden olmamıştır. Epoksi, üç üyeli bir halka yapısı oluşturan iki karbon ve oksijen içerir. Epoksi reçineler, zincirleri boyunca güçlü polar çekimler yaratabilen ve bu nedenle yüksek yüzey gerilimine sahip olan asılı hidroksil (-OH) gruplarına sahiptir. Bu karakteristik yapısı sebebiyle, epoksi yüzeyine su damlatıldığında, su molekülleri yüzeydeki fonksiyonel gruplarla ilişki kurar ve yüzey boyunca yayılır ve böylece düşük bir temas açısı verir. Silan ile kaplama sonrası kaplama yöntemi de temas açısı üzerinde etkilidir.

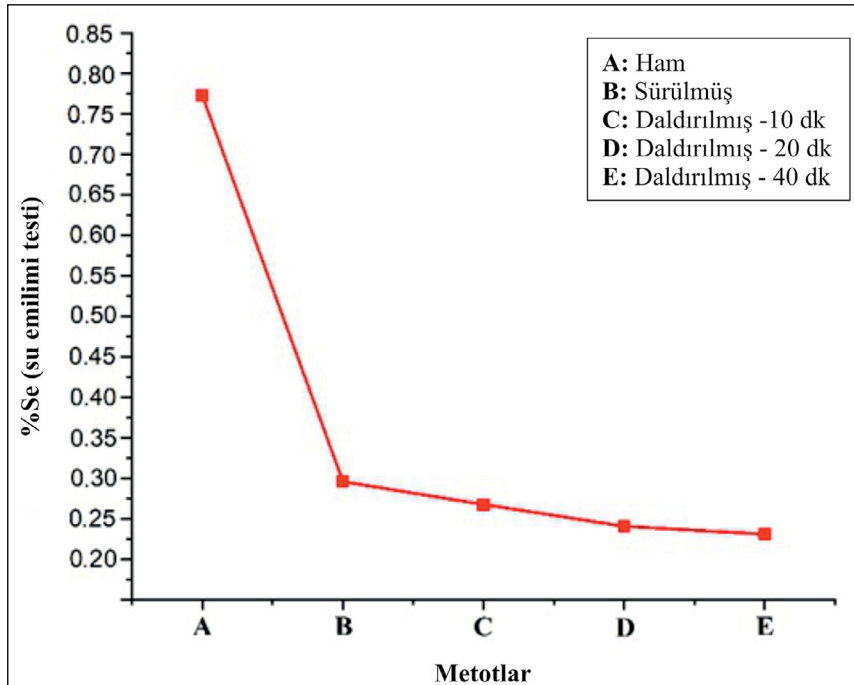
Travertenin doğal taşlar arasında çok yüksek gözeneklilik değerlerine sahip olduğu bilinmektedir. Bu durum kullanım alanlarında birçok kısıtlamayı da beraberinde getirmektedir. Gözeneklilik kendini en çok su emme değerinde göstermektedir. Bu nedenle numune üzerinde silan ve epoksi kimyasalları

kullanılarak su emme değerlerindeki değişim TS EN 13755 standardına göre belirlenmiştir. Su emme testi için ham numune, epoksi ve silan ile işlem görmüş travertenler üzerinde çalışılmıştır. Çeşitli parametrelerde yapılan su emme testi çalışmalarında elde edilen sonuçlar Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.

Su emme testi sonuçlarına göre ham numunenin su emme değeri 0,773 olarak hesaplanmıştır. Epoksinin yüzeye uygulanması sonucunda aynı yöntemle epoksinin su emme değeri 0,36, standart sapma ile 0,582, silanın su emme değeri ise 0,20, standart sapma ile 0,296 olarak elde edilmiştir.



Şekil 2- Epoksi uygulamaları ile su emme testi sonuçları.



Şekil 3- Silan uygulamaları ile su emme testi sonuçları.

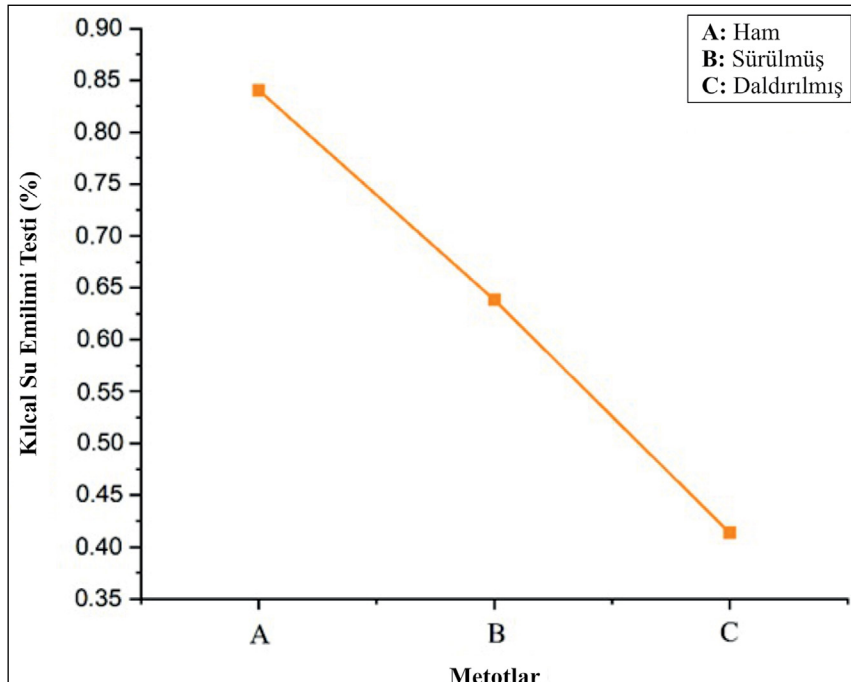
Değerler incelendiğinde ham numunenin su emme değerinin epoksi ve silan ile işlem görmüş olanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Silan ise epoksiye göre daha düşük su emilimine sahiptir. Bu da silan ve epoksinin su emme değerini etkili bir şekilde azalttığını göstermektedir. Normal şartlar altında epoksi yüzey kaplaması tam sızdırmazlık sağlar ve sıfır su emilimine sebep olur. Ancak bu çalışma sonucunda epoksi kaplı numunelerde bir miktar su emilimi gözlemlenmesi tamamen kaplama işlemi ile ilgilidir. Yani epoksi reçine içerisindeki hava kabarcıkları kaplama işleminden önce vakum ortamından uzaklaştırılmadığı için kaplama işlemi esnasında kısmi gözeneklilik oluşturmuştur ve bu da numunenin az miktarda su emmesine neden olmuştur.

Emprenye işleminin uygulanmasının ardından daldırma yönteminin verimliliği araştırılmıştır. Numunelerin 10 dakika süreyle epoksi ve silana daldırılması sonucunda epokside 0,05 standart sapma ile 0,291, silanda ise 0,20 standart sapma ile 0,278 su emme değerleri elde edilmiştir. Bu grup çalışmasında silanın su emme değerinin epoksiye göre daha etkili sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında silan daldırma süresi 20 ve 40 dakika olarak değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Sırasıyla 0,18'lik standart sapma ile 0,240 ve 0,22'lik standart

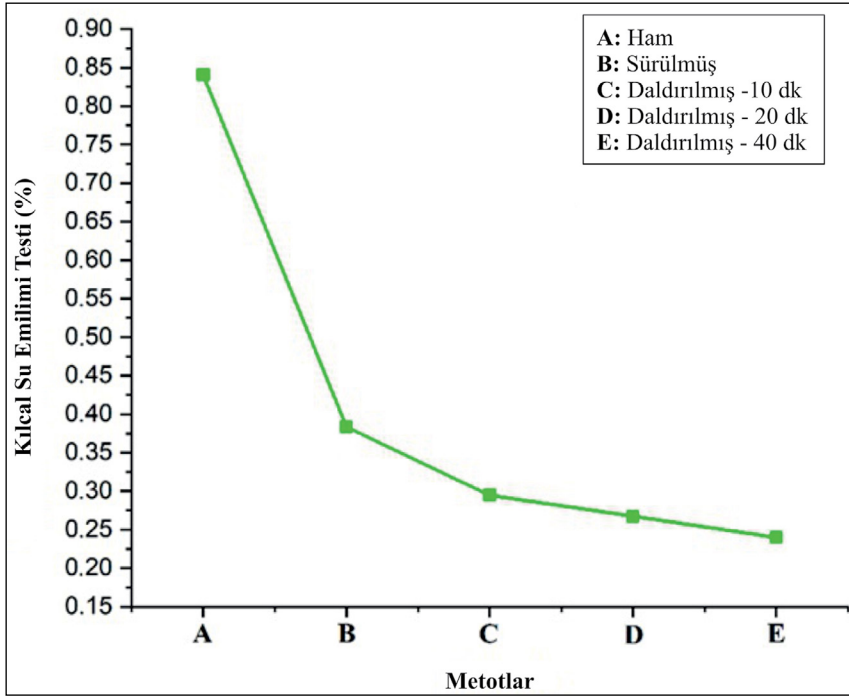
sapma ile 0,231 olan su emme değerlerinin 10 dakika süreyle daldırmaya karşı daha iyi olduğu ancak bu süre değişikliklerinin çalışma için çok etkili olmadığı gözlemlenmiştir.

Traverten numunesinin kılcal su emme potansiyeli incelenmiş, belirlenen kılcal su emme katsayıları ile malzemelerin diğer indeks özellikleri arasındaki ilişki TS EN 1925 standardına göre değerlendirilmiştir. Araştırmada silan ve epoksi ile işlenmiş travertenin farklı yöntemlerle işlenmesinden kaynaklanan kılcal su emme değerlerindeki değişiklikler incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.

Kılcal su emme testi sonuçları incelendiğinde ham numunenin kılcal su emme değeri 0,841 olarak hesaplanmıştır. Epoksinin kılcal su emme değeri yüzeye sürtme uygulamasından dolayı 0,31 standart sapma ile 0,648 iken, silanın aynı yöntemle elde edilen kılcal su emme değeri 0,22 standart sapma ile 0,383 olarak hesaplanmıştır. Değerler incelendiğinde ham numunenin kılcal su emme değerinin epoksi ve silan ile işlem görmüş olanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Öte yandan, silanın kılcal su emme değeri epoksiden daha düşüktü. Bu da epoksi ve silanın kılcal su emme değerini etkili bir şekilde azalttığını göstermektedir.



Şekil 4- Epoksi uygulamaları ile kılcal su emme testi sonuçları.



Şekil 5- Silan uygulamaları ile kılcal su emme testi sonuçları.

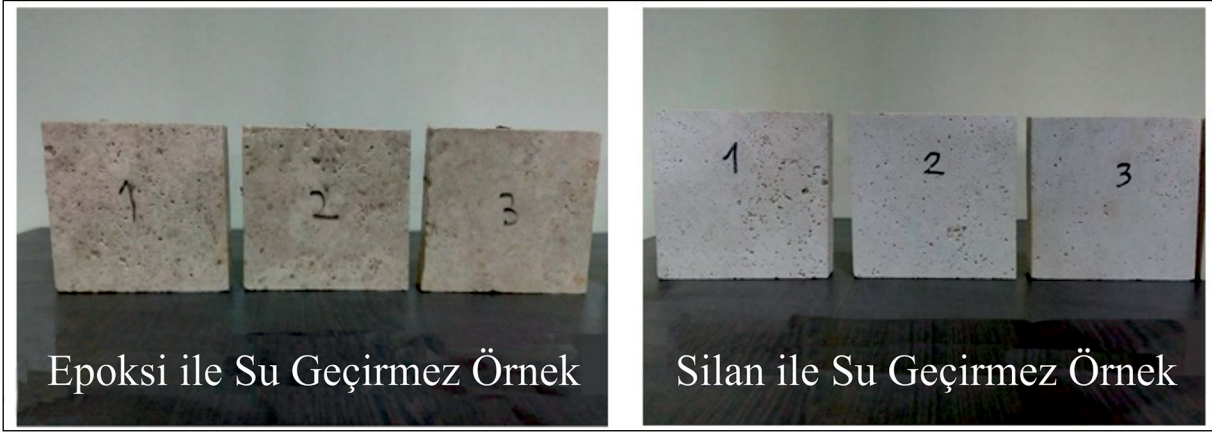
Emprenye edilme işleminden sonra daldırma yönteminin verimliliği araştırılmıştır. Numunenin 10 dakika süreyle epoksi ve silana daldırılması sonucunda kılcal su emme değeri epoksizde 0,10'luk standart sapma ile 0,414, silanda ise 0,04'lük standart sapma ile 0,295 olarak elde edilmiştir. Çalışmada silanın kılcal su emme değerlerinin epoksiye göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Daha sonra silan daldırma süresi 20 ve 40 dakika olarak değiştirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Ancak sonuçlar 10 dakikaya göre biraz daha iyi olsa da çalışma için 0,09'luk standart sapma ile 0,268'lik ve 0,17'lik standart sapma ile 0,239 ile çok etkili olmadığı tespit edildi.

Su emme ve kılcal su emme test sonuçları incelendikten sonra, yüzeye epoksi ve silan uygulanması ve numunenin 20 ve 40 dakika silana daldırılması ile ilgili devam eden çalışmalar iptal edilmiştir. Numunelerin epoksi ve silan içerisinde 10 dakika bekletilmesi ve ardından oda koşullarında kurutulması ile yapılan su emme ve kılcal su emme test sonuçları en iyi değerleri verdiği için bu numunelerden bir set daha hazırlanmıştır.

Çalışmada kullanılacak traverten numunelerinin tuz kristallenmesine karşı direncini tanımlamak ve epoksi ve silanın tuz kristalleşmesine etkisini gözlemek amacıyla TS EN 12370 standartlarına göre tuz kristallenmesine karşı direnç testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 6, 7 ve 8'de çalışma öncesinde, çalışma sırasında ve sonrasında 10 dakika süreyle epoksi ve silan içerisine daldırılan numuneler ve çalışma sonuçları gösterilmektedir.

Epoksi ve silanın tuz kristallenmesine karşı direncinin belirlenmesi, 10 dakika epoksi içerisinde bekletilen numunenin Ortalama Kütle Değişiminin (%) 0,090, standart sapma değerinin 0,119, 10 dakika silan içerisinde bekletilen numunenin Ortalama Kütle Değişiminin (%) 0,018 ve standart sapma değerinin 0,021 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, silanla muamele edilen numunelerin tuz kristallenmesine karşı daha yüksek dirence sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca deney sonrasında numuneler üzerinde yapılan gözlemlerde traverten numunelerinin tuz kristalleşmesine maruz kalması neticesinden herhangi bir ayrışma ve çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

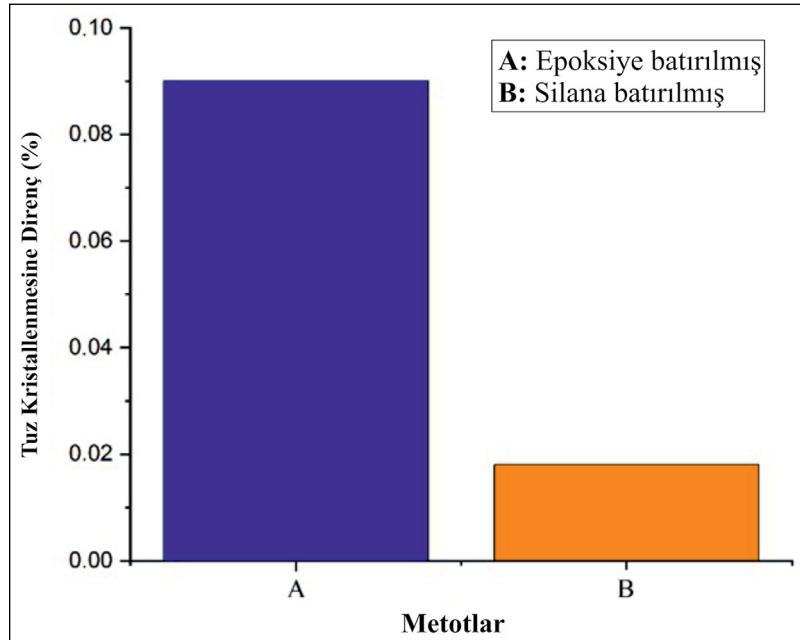




Şekil 6- Epoksi ve silana batırılmış örneklerden birkaçının çalışma öncesi görüntüsü.



Şekil 7- Deneyler sırasında ve sonrasında epoksi ve silana batırılmış numunelerin görselleri.



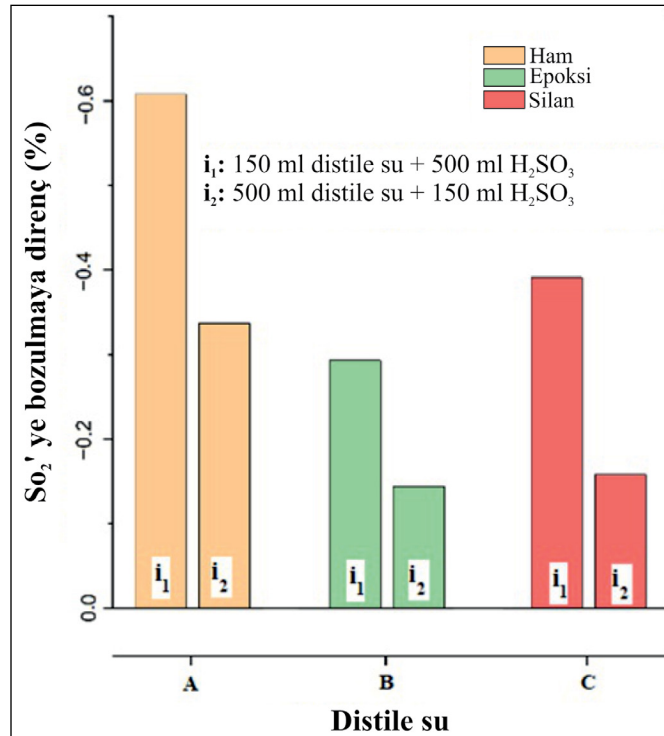
Şekil 8- Epoksi ve silana daldırılmış numunelerin tuz kristallenmesine karşı direncinin belirlenmesine ilişkin sonuçlar.

Numuneler epoksi ve silan içine 10 dakika batırıldıktan sonra oda koşullarında kurutulmuş ve ardından Nemli Ortamda SO<sub>2</sub> Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini için kullanılmıştır. Çalışma, 2022

yılında TS EN 13919 standardına göre gerçekleştirildi. Deney sürecinin görseli Şekil 9'da verilmektedir. Şekil 10'da, deneylerden elde edilen sonuçlar verilmektedir.



Şekil 9- Nemli bir ortamda SO<sub>2</sub> ile yaşlanmaya karşı direncin belirlenmesi için yapılan testten görüntü.



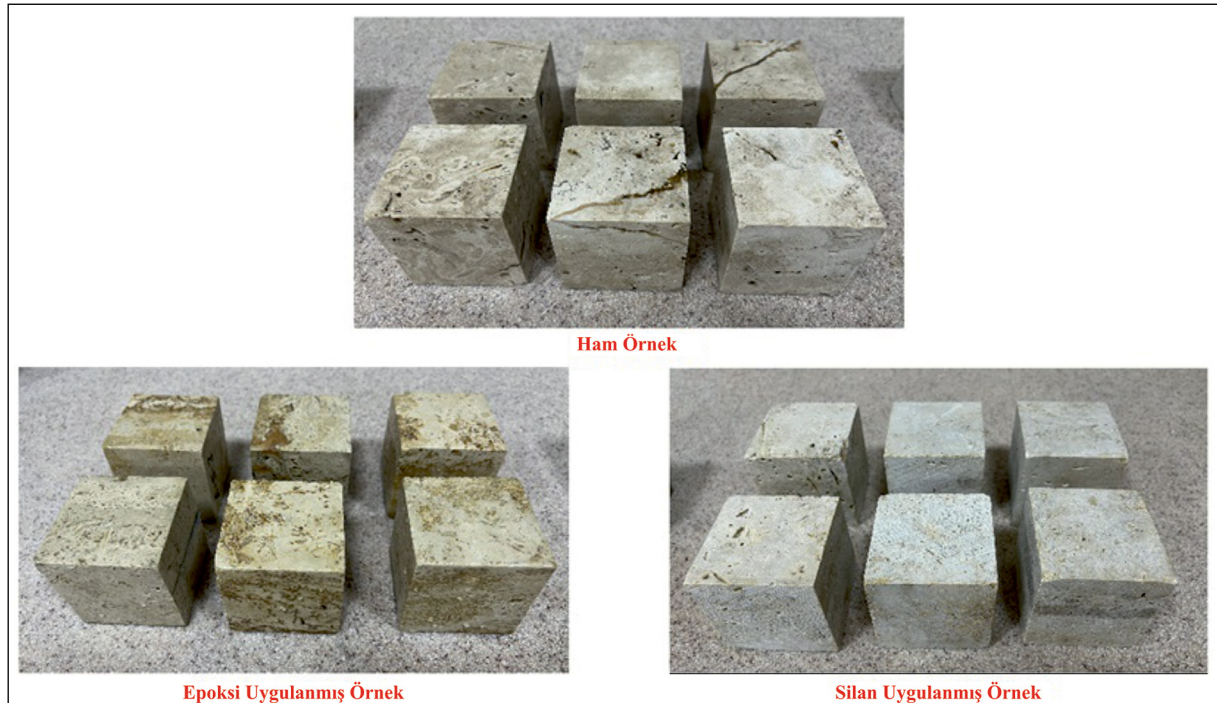
Şekil 10- Ham, epoksi ve silana batırılmış numunelerin Nemli Ortamda SO<sub>2</sub> Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini sonuçları.

Nemli Ortamda SO<sub>2</sub> Yıpratmasına Karşı Direncin Tayininde ham numune üzerinde 150 ml distile su + 500 ml H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ile oluşturulan karışımda Ortalama Kütle Değişimi (%) -0,608, standart sapma değeri ise 0,101 olarak tespit edilmiştir. Karışımda Ortalama Kütle Değişiminin (%) -0,337, standart sapma değerinin ise 0,014 olduğu tespit edilmiştir.

Nemli Ortamda SO<sub>2</sub> Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini için epoksi ve silan ile yapılan çalışmada epoksi içerisinde 10 dakika bekletilen numunenin 150 ml distile su+500 ml H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> karışımındaki bulunmuş ve Ortalama Kütle Değişiminin (%) -0,293 olduğu tespit edilmiştir. Standart sapma değeri ise 500 ml distile suda 0,049 olarak bulunmuştur. Su + 150 ml H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ile oluşturulan karışımda Ortalama Kütle Değişimi (%) -0,144, standart sapma değeri ise 0,182 olarak bulunmuştur. Silan içerisinde 10 dakika bekletilen numunenin 150 ml distile su + 500 ml H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ile oluşturulan karışımdaki Ortalama Kütle Değişimi (%) -0,391, standart sapma değeri 0,138, 500 ml distile su + 150 ml H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ile oluşturulan karışımdaki Ortalama Kütle Değişimi (%) -0,391 olarak bulunmuştur. Standart sapma değerinin ise -0,158 ve 0,159 olduğu tespit edilmiştir.

Nemli Ortamda SO<sub>2</sub> Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini ile epoksi uygulanmış numunelerin silan uygulanmış numunelere göre daha dayanıklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu da epoksi uygulanmış yüzeylerin daha yüksek SO<sub>2</sub> direncine sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 11'de ham numunenin test öncesi ve sonrası görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, işlenmiş numunelerin rengi oldukça koyu iken, ham numunenin rengi açıktır. Bu da numunenin gözenekli yapısı nedeniyle SO<sub>2</sub>'yi absorbe ederek renk değişimine neden olduğunu göstermiştir. Ancak herhangi bir parçanın bütünlüğünü bozacak bir etki gözlenmemiştir.

Cıva porozimetrisi, toz veya dökme numunelerde gözenek boyutu, gözenek boyutu dağılımı ve yüzey alanını ölçerek kütle yoğunluğunun belirlenmesi için kullanılır. Cıva porozimetri analizi sonucunda ham traverten numunesinin porozite değeri %11,99, epoksi ile işlem görmüş numunenin porozite değeri %6,11, silan ile işlem görmüş travertenin porozite değeri ise %10,92 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre silanın travertenin gözeneklerinde ince bir tabaka oluşturduğu, epoksinin ise daha kalın bir tabaka oluşturarak gözeneklerin kapanmasına neden olduğu



Şekil 11- Öncesi ve sonrası numuneler.

tespit edilmiştir. Silanın ham travertenin yüzey alanını düşük bir oranda değiştirdiği tespit edilmiştir. Numune sonuçlarının analizi Çizelge 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

Çizelge 4- Ham traverten numunesinin cıva porozimetri analiz sonuçları.

Parametreler	Sonuç
Toplam hacme sızma	0.0520 ml/g
Toplam gözenek alanı	0.767 m <sup>2</sup> /g
Ortalama gözenek çapı (hacim)	40.3418 µm
Ortalama gözenek çapı (alanı)	0.0248 µm
Ortalama gözenek çapı (4V/A)	0.2711 µm
Yığın yoğunluğu 0,52 psia	2.3072 g/ml
Görünür (iskelet) yoğunluk	2.6216 g/ml
Gözeneklilik	%11.99
Kullanılan kök birim	%39

Çizelge 5- 10 dakika silan içinde bekletilen numunenin cıva porozimetri analiz sonuçları.

Parametreler	Sonuç
Toplam hacme sızma	0.0474 ml/g
Toplam gözenek alanı	0.478 m <sup>2</sup> /g
Ortalama gözenek çapı (hacim)	47.2065 µm
Ortalama gözenek çapı (alanı)	0.0382 µm
Ortalama gözenek çapı (4V/A)	0.3966 µm
Yığın yoğunluğu 0,52 psia	2.3065 g/ml
Görünür (iskelet) yoğunluk	2.5893 g/ml
Gözeneklilik	%10.92
Kullanılan kök birim	%34

Çizelge 6- Epoksi içerisinde 10 dakika bekletilen numunenin cıva porozimetri analiz sonuçları.

Parametreler	Sonuç
Toplam hacme sızma	0.0278 ml/g
Toplam gözenek alanı	8.725 m <sup>2</sup> /g
Ortalama gözenek çapı (hacim)	0.0130 µm
Ortalama gözenek çapı (alanı)	0.0108 µm
Ortalama gözenek çapı (4V/A)	0.0127 µm
Yığın yoğunluğu 0,52 psia	2.2000 g/ml
Görünür (iskelet) yoğunluk	2.3431 g/ml
Gözeneklilik	%6.11
Kullanılan kök birim	%22

#### 4. Sonuç

Doğal taş ne kadar gözenekli olursa, dış etkenlere maruz kalma ve deformasyon etkisi de o kadar fazla olur. Gözenekliliğin artması, su emme eğilimi nedeniyle doğal taşın ömrünü kısaltır; kullanıldığı yerde taşın bütünlüğünün bozulmasına neden olur (Erdem, 2016; Hasbay ve Hattap, 2017; Tayşi, 2021). Doğal taş içerisindeki suda çözünen tuzlar nem ve ısı etkisi ile çözünerek kılcal çatlaklarda taşınmakta, taşındıkları yeni yerde suyun buharlaşması ile yeniden kristallenmekte ve bu olaylar esnasında pul pul dökülme, oyuk oluşumu, çiçeklenme, kabuklanma gibi çeşitli deformasyonlar meydana gelmektedir (Öcal ve Dal, 2012; Akbay vd., 2017). Bu nedenlerle doğal taş sınıfında yer alan travertenlerin gözenekliliğine bağlı olarak kullanım yerlerinde ayrışmayı önlemek ve en aza indirmek ve sınırlılıklarını ortadan kaldırmak amacıyla yapılan çalışmada suya karşı koruma sağlayan silan ve epoksi adı verilen koruyucu solüsyonlar kullanılarak etkileri karşılaştırılmıştır.

Doğal taşların su emme değeri ve gözenekli yapısı, taşın bozulma ve ayrışmaya neden olan dış etkenlere karşı durumunu belirlemektedir. Bu nedenle doğal taşın gözenekli yapısı, sıcaklığın çok düşük olduğu coğrafi bölgelerde, özellikle nemli ortamlarda daha fazla dikkat edilmesi gereken bir faktördür. Çünkü su don esnasında hacimsel olarak genişleyerek boşluklarda iç basınçların artmasına ve boşluk hacminin genişlemesiyle başlayan ayrışmaya neden olabilmektedir. Atmosferik basınçta su emme çalışmasında, silanın traverten ile 10 dakika emprenye edilmesi ile yapılan çalışmada elde edilen 0,268 değeri, epoksiye göre daha etkili sonuç verdiğini göstermektedir. Kılcal su emilim çalışmasında ise silanın 10 dakika boyunca travertene batırılmasıyla elde edilen 0,295 değeri epoksiye göre daha etkili sonuç verdiğini göstermektedir.

Tuz kristallenmesi doğal taşlara en çok zarar veren olaydır. Çözünabilir tuzlar yapılarda parçalanmaya ve yüzey süslemelerinin soyulmasına neden olan başlıca etkenlerdir. Bu nedenle dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Tuz kristallenmesine karşı direncinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, silanın traverten ile 10 dakika süreyle emprenye edilmesiyle elde edilen Ortalama Kütle Değişiminin (%) 0,018,

standart sapma değerinin ise 0,021 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, silanla muamele edilen numunelerin tuz kristallenmesine karşı daha yüksek dirence sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, işlem görmüş numuneler fiziksel olarak incelendiğinde herhangi bir ayrışma veya çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

Nemli Ortamda SO<sub>2</sub> Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini ile epoksi uygulanmış numunelerin silan uygulanmış numunelere göre daha dayanıklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu da epoksi uygulanmış yüzeylerin daha yüksek SO<sub>2</sub> direncine sahip olduğunu göstermektedir.

Temas açısı ölçümü üzerine yapılan çalışmalarda ham travertenin temas açısının silan kaplama işlemi sonrasında belirgin bir artış sergileyerek hidrofobik karakter kazandığı tespit edilmiştir.

Cıva porozimetri analizleri incelendiğinde silan ile işlem görmüş numunenin porozite değerinin %10,92 olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık epoksi ile işlem gören numunenin porozite değeri %6,11'e düşmüştür. Epoksinin kullanılan yüzeye daha kalın bir tabaka olarak yapıştığı için hassas gözenekleri de kapattığı ve silan işlemine kıyasla porozite değerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Uygulamalar sonrasında traverten yüzeyine farklı yöntemlerle emprenye edilen epoksi ve silanın karakteristik özelliklerindeki değişimler incelendiğinde atmosferdeki su emilimi, kılcal su emilimi ve tuz kristalleşmesine karşı direnç etkileri silanın yüzey korumada daha etkili olduğunu göstermiştir. Öte yandan SO<sub>2</sub> aşınma testlerinde epoksinin silana göre daha yoğun bir kıvama sahip olması nedeniyle koruyucu özelliğinin daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Travertenin gözenekli yapısı ısı yalıtım malzemesi ve dekoratif ürün olarak avantajlı olsa da gözenekli olması nedeniyle atmosferik koşullardan çabuk etkilenmesi kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Çalışma ile sedimanter kökenli doğal taş hammaddelerinin kullanımındaki dezavantajlı durumların katma değeri yüksek avantajlı bir niş ürüne dönüştürülebileceği görülmüş ve çalışmanın değeri bir kez daha ortaya konmuştur.

## Katkı Belirtme

Yazarlar, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 16.FEN.BİL.28 numaralı proje kapsamındaki destekleri için Afyon Kocatepe Üniversitesi'ne teşekkürlerini sunarlar.

## Değinilen Belgeler

- Acar, H. 2003. Doğal Taşlarda Çatlak Tamir ve Gözenek Dolgu Sistemleri. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık 2003, Afyonkarahisar, Türkiye, 415-434.
- Akbay, D., Şengün, N., Altındağ, R., Demirdağ, S. 2017. Doğaltaşların Tuz Kristallenmesine Karşı Direncinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ile İlişkinin İncelenmesi. Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi (MERSEM 2017) Bildiriler Kitabı, 13-15 Aralık 2017, Antalya, Türkiye, 411-420.
- Altay, S., Çalapkulu, F., Tavman, İ. H. 2001. Bazı Türk Doğal Taşlarının Isı İletim Katsayıları. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye, 308-315.
- Chafetz, H. S., Folk, R. L. 1984. Travertines: Depositional Morphology and The Bacterially Constructed Constituents. Journal of Sedimentary Petrology, 54 (1), 289-16.
- Çetin, F. 2001. Gözenek ve Çatlak Tamir Uygulama Örnekleri ve Bu Uygulamaların İşletmelere Getirdiği İlave Kazançlar. Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs 2001, Afyonkarahisar, Türkiye, 445-449.
- Çobanoğlu, İ. 2020. Su Yollu Yapıya Dik ve Paralel Kesilmiş Travertenlerde Kapiler Su Emme ve Basınç Dayanımı Özelliklerinin Anizotropik Değişimlerinin İncelenmesi. Journal of Scientific Reports –B, E-ISSN:2687-6167 (2), 55-67.
- Dal, M., Yılmaz, D. 2015. Su-Nemin Yapı Elemanlarına ve Yapı Konforuna Olumsuz Etkileri. International Journal Pure Applied Science (1), 89-99.
- Erdem, H. O. 2016. Koruma ve Onarım Uygulamaları Öncesinde Tarihi Taş Yapılarda Bozulmaların Teşhisi: Phrygia Hierapolis'inden Bir Örnek. Pamukkale Üniversitesi Arkeoloji Enstitüsü Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Yüksek Lisans Programı, Denizli, 169.
- Erdoğan, K. 1998. Su Yapılarındaki Betonlarda Bağlayıcı Malzeme Seçimi. Çimento ve Beton Dünyası, 2(12), 17-23.

- Gibson, G. 2017. Epoxy Resins, in: Brydson's Plastics Materials (Eighth Edition). Butterworth-Heinemann, 773-797.
- Hasbay, U., Hattap, S. 2017. Doğal Taşlardaki Bozunma (Ayrışma) Türleri ve Nedenleri. Munzur Üniversitesi, Bilim ve Gençlik Dergisi 5(1), 26-45 ISSN: 2148-0273.
- Kamacı, C. 2013. Traverten İşlenmesi Sırasında Karşılaşılan Problemler. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 97.
- MEB, 2013. Taş Bozulmalarını Teşhis Etme, İnşaat Teknolojisi, Ankara, 55.
- Öcal, A. D., Dal, M. 2012. Doğal Taşlardaki Bozulmalar, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi Yayınları, İstanbul 109.
- Öztank, N., Bacakoğlu, T. F. 2001. Mermer-Kireçtaşı ve Konglomeraların Yapılarda Kullanımını Denetleyen Parametreler. Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs 2001, Afyonkarahisar, 123-131.
- Polat, S. 2011. Türkiye'de Traverten Oluşumu, Yayılış Alanı ve Korunması. Marmara Coğrafya Dergisi 23, 389-428.
- Tayşi, Y. 2021. Otel Yapılarında Doğal Taş Bozulmalarına İlişkin Bulguların Örnekler Üzerinden İrdelenmesi ve Analizi. Işık Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İç Mimarlık Yüksek Lisans Programı, Yüksek Lisans Tezi, 151.
- Tekno Yapı Kimyasalları, 2023. Teknosil, (<https://teknoyapi.com.tr/tr/urunler/arama?q=teknosil&action=do>)
- TS EN 1925, Nisan 2000. Doğal Taşlar-Deney Metotları-Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 9.
- TS EN 12370, Mart 2020. Doğal Taşlar-Deney Metotları-Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 5.
- TS EN 13919, Şubat 2004. Doğal Taşlar-Deney Metotları-Nemli Ortamda SO<sub>2</sub> Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 7.
- TS EN 13755, Haziran 2014. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10.
- Uğurlu, A. 2003. Sulama Kanallarında Sülfat Problemleri ve Çözüm Önerileri. 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, 567-574.