



Nevşehir Taşlarıyla İnşa Edilen Tarihi Yapıların Restorasyonuna Yönelik Polyester Matris ve Taş Tozu Kullanılarak Üretilen Kompozit Harçlarda Tane Boyutunun Dayanımına Etkisinin Araştırılması

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 taşı, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde Nevşehir ilinden çıkarılan ve piroklastik kayaç türüne özgü taştır. Bu taş tarihi yapıların ve günümüz modern yapıların inşasında kullanılan bir malzemedir. Yapılar; bakımsızlık, su, nem, doğal afetler vb. çevresel ve atmosferik etkenlere bağlı olarak zamanla mukavemetini kaybetmektedir. Özellikle tarihi yapılarda bu türde oluşan hasar problemlerine karşı önlemlerin alınmaması yapıların yıkılmasına ve günümüzdeki tarihi yapıların sayılarının giderek azalmasına neden olmaktadır. Bu problemin çözümü için, yapılardaki taş malzeme türleri ülkeden ülkeye değiştiğinden malzemelerin özelliklerine göre kompozit harçların geliştirilmesi, bu harçların özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Nevşehir taşlarıyla inşa edilen tarihi yapıların restorasyonuna yönelik polyester matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlarının geliştirilmesi ve bu harçlardaki tane boyutunun dayanımına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Nevşehir taşı yapılarda kullanılırken belirli boyutlarda kesilmekte, kesim işlemi sırasında taş tozu oluşmaktadır. Bu nedenle kompozit harç karışımları içerisindeki taş tozlarının tane büyüklüğünün dayanım özelliklerini belirlemek için farklı karışımlar hazırlanmış, bu kompozit harçlarının mekanik ve hidrofilik özellikleri belirlenmiştir. Kompozit harçlar arasında en uygun harç tane büyüklüğü 150–250 µm arasında olan ve ağırlıkça % 35 polyester matris ile % 65 taş tozu kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca yapılan deneylerin sonucunda; bu kompozit harcının, Nevşehir taşının mukavemeti ve yüzey temas açısına göre önemli artış sağladığı belirlenmiştir. Bu nedenle polyester matrisli harcın, Nevşehir taşıyla yapılan tarihi yapıların korunmasına katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapı onarımı, kompozit harç, onarım harcı, Nevşehir taş tozu

Investigation of the Effect of Grain Size on the Strength of Composite Mortars Produced Using Polyester Matrix and Stone Powder for the Restoration of Historical Buildings Built with Nevsehir Stones

Abstract

Nevsehir stone is a stone unique to the pyroclastic rock type, quarried from the Nevsehir province in the Central Anatolia Region of Turkey. This stone is a material used in the construction of historical buildings and today's modern buildings. Buildings; neglect, water, humidity, natural disasters, etc. it loses its strength over time due to environmental and atmospheric factors. Failure to take precautions against such damage problems, especially in historical buildings, causes the buildings to collapse and the number of historical buildings today to gradually decrease. In order to solve this problem, since the types of stone materials in buildings vary from country to country, it is necessary to develop composite mortars according to the properties of the materials and to know the properties of these mortars. In this study, it was aimed to develop polyester matrix and stone powder based composite mortars for the restoration of historical buildings built with Nevsehir stones and to examine the effect of grain size in these mortars on their strength. While Nevsehir stone is used in buildings, it is cut into certain

sizes and stone powder is formed during the cutting process. For this reason, different mixtures were prepared to determine the strength properties of the grain sizes of stone powders in composite mortar mixtures, and the mechanical and hydrophilic properties of these composite mortars were determined. Among the composite mortars, the most suitable mortar has a grain size between 150–250 µm and was prepared by using 35% polyester matrix and 65% stone powder wt. Additionally, as a result of the experiments; it was determined that this composite mortar provided a significant increase in the strength and surface contact angle of Nevşehir stone. Therefore, it was concluded that polyester matrix mortar contributed to the protection of historical buildings built with Nevşehir stone.

Keywords: Historical building repair, composite mortar, repair mortar, Nevşehir stone powder

1. GİRİŞ

Doğal taşlar, medeniyetin başlangıcından itibaren günümüze değin çeşitli şekillerde yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Günümüzde duvar ve döşeme kaplama olarak da kullanılan doğal taşların; mekanik, fiziksel ve mineralojik özellikleri yönünden çeşitleri bulunmaktadır. Doğal taş çeşitlerine; bazalt, granit, traverten, andezit, mermer, ignimbirit vb. örnek verilebilir. Bu taşlardan bazıları çıkarıldığı yerlere göre (Ankara taşı, Afyon kaymağı, Ahlat taşı, Elazığ vişnesi, Nevşehir taşı ve Midyat taşı gibi) farklı isimlerle bilinmektedir (Şimşek, 2022). Ayrıca bu taşlardan ignimbiritler Nevşehir, Çanakkale ve Bitlis gibi ülkemizin farklı iklim bölgelerinden çıkarıldığı gibi (Dinçer vd., 2012; Dönmez vd., 2005; Kazancı ve Gürbüz, 2014) aynı zamanda İtalya, Hindistan ve Avustralya gibi farklı ülkelerde de bulunmaktadır (McPhie, 1983; Mukhopadhyay vd., 2001; Polacci vd., 2003).

İç Anadolu Bölgesinde Nevşehir ilinden çıkarılan ignimbiritler piroklastik kayacın bir çeşididir. İgnimbiritler, volkanik kökenli patlama ile çıkan lavların yamaç boyunca akması yaklaşık 500-700°C sıcaklıktaki piroklastik malzemenin volkan bacası eteklerinde birikmesiyle oluşur. Birikimleri sırasındaki sıcaklık koşulları ve depolanma ortamındaki örtü yükü basınçları ignimbiritlerin kaynaşma derecesi üzerinde etkili olmaktadır (Dinçer vd., 2012; Moon, 1993). Bu taş geçmiş dönemlerde tarihi yapıların ve az katlı binaların inşasında kullanılırken, günümüzde ise süsleyici görünüme sahip olması nedeniyle yapıların dış cephe kaplamasında, merdiven, yer döşemesi, korkuluk, havuz ve kenarları, kemer, sütun, şömine balkon süslemeleri ve restorasyon çalışmalarının kullanımında yaygınlık kazanmaktadır (Korkanç, 2007). Nevşehir taşıyla inşa edilmiş yapılara örnek olarak; Elmalı Kilisesi (12. yüzyıl), Uçhisar Kalesi (14. yüzyıl), Bektaş Efendi Türbesi (1603), Damat İbrahim Paşa Camii (1727) gibi tarihi yapılar gösterilebilir. İgnimbirit tabakalarının oluşturduğu Kapadokya, doğal ve tarih değeri önemli bir bölgedir. Nevşehir ilinin içinde yer alan Kapadokya bölgesi, yüzey şekilleri volkanizmaya, tektonizmaya veya aşınmaya bağlı olarak gelişmiştir. Kapadokya bölgesindeki peribacaları bu aşınmalara bağlı olarak oluşmuştur. Peribacaları ve ignimbirit kütleleri oyularak eski dönemlerde yerleşme biçimi olarak kullanılmıştır (Dirik, 2009). Bu bölge doğal oluşumları ve estetik özellikleri nedeniyle kültürel mirasın önemli bir parçasıdır. Ayrıca Kapadokya bölgesinin 1985 yılında UNESCO tarafından dünya miras listesi içerisinde yer alması, bu bölgenin tarihi ve kültürel değer özelliklerinin korunmasındaki önemini arttırmaktadır.

Çevresel ve atmosferik etkenler sonucu doğal taşlarda deformasyonlar oluşmaktadır. Taşların içerisine giren su, nem ve ısı değişimleri nedeniyle taşlarda hasarlar oluşmaktadır. Özellikle gözenek oranları yüksek olan taşlarda, nem miktarındaki artış ve suyun buharlaşmasıyla ortaya çıkan erimiş tuz taşın yüzeyinde birikmektedir. Atmosferik etkiler nedeniyle oluşan bu olay, taşlarda bozulmayı hızlandırmaktadır (Blows vd., 2003). Ayrıca yapılarda, bakımsızlık, doğal afetler ve taş malzemelerin zamanla mukavemetini kaybetmesi, hasar problemlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu problemlerin çözümü için, yapılardaki taş malzeme türleri ülkeden ülkeye değiştiğinden malzemelerin özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu durum yapıların onarımlarına ilişkin

yöntemlerin farklılaşmasına neden olmaktadır. Yapı taşı olarak kullanılan ignimbiritlerin bünyesine giren su çevresel koşullardaki ısı değişimleriyle taşın yüzeyinde kireç ve tuz kristallerinin oluşmasına sebep olduğu yapılan çalışmalarda araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Şimşek ve Erdal, 2004; Temel vd., 1998). Erguler (2009) yaptığı çalışmada, yapı taşı olarak ignimbiritlerin kullanıldığı bazı binalarda ve peribacalarında, suyun kılcal etki ile hareketinin önemli deformasyonlara yol açtığını ifade etmiştir. Aynı çalışmada tarihi yapıların ve peribacalarının bazı kısımlarında suyun kapilarite hareketinin 1 metre kadar olduğu belirtilmiştir. Kazancı ve Gürbüz (2014) yaptıkları çalışmada, Nevşehir ignimbiritlerinin gözenekli yüzey özelliklerinin çevresel koşullardaki değişimler nedeniyle, taşların basınç kuvvetinin düşmesine, yüzey kayıplarının yanı sıra genleşme ve büzülme gibi hacimlerinde değişimlere neden olabileceğini ifade etmişlerdir. Nevşehir ignimbiritlerinin farklı yörelerden temin edilen örnekler üzerinden yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir (Ceylan, 2016; Kemikkiran, 2019). Ancak bu taşların, yapıların onarımına yönelik harçlarının geliştirilmesiyle ilgili literatürde bugüne kadar herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Taş malzemeyle inşa edilen tarihi yapıların hasarlarının restorasyonunda yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri onarım harçlarıdır. Onarım harçları, taş yüzeyindeki eksik parçaların tamamlanmasında veya çatlakların onarımlarında kullanılmaktadır. Tarihi yapıların restorasyonunda kullanılırken onarım harçlarının özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Onarım harçlarının özelliklerinin bilinmeden kullanılması; taşlarda tuz kristalleşmesine, çatlamalara, kabuklanma ve taş kaybı gibi hasarlarının oluşmasına neden olmaktadır (Szemerey-Kiss ve Török, 2017). Bu nedenle yeni geliştirilen onarım harçlarının; mukavemet, dayanıklılık ve hidrofilik özellikleri tarihi yapıların korunmasını sağlaması açısından önemli olmaktadır. Ayrıca harçların gözenekliliği ve su emme oranları harçların onarım malzemesine yapışma mukavemetini etkilemektedir. Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların, su emmeye karşı dayanıklı ve onarımın estetik görünümünün bozulmaması için dikkat edilmesi gerekmektedir (Klisińska-Kopacz vd., 2010). Onarım harçlarının özelliklerini etkileyen diğer unsurlar, harçların içeriğinde kullanılan agrega ve bağlayıcılarıdır. Farklı tane boyutlarındaki agrega ve bağlayıcılarla elde edilen harçların, neme karşı dirençlerinin ve mekanik özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır (Pozo-Antonio, 2015).

Günümüzde malzeme biliminin gelişmesiyle polimer matrisli bağlayıcılar, onarım harçlarının kullanımında giderek önem kazanmaktadır. Polimer matrisli bağlayıcıyla yapılan harçlar, yapılarda oluşan bozulmaların onarımını ve yapının inşasında kullanılan malzemelerin korunmasını sağlamaktadır (Faria vd., 2008). Ayrıca polimer harçlar; yüksek mukavemet, korozyon direnci, termal stabilite, hızlı sertleşme özellikleriyle birlikte formülasyon ve işlemede çok yönlü olması, onarım malzemelerinin tercih edilmesini sağlayan avantajlardır (Bignozzi vd., 2000). Literatürde tarihi yapıların onarımına yönelik farklı özelliklere sahip polimer matrisli bağlayıcı harçlarla ilgili çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Iucolano vd. (2013) yaptıkları çalışmada, tarihi yapıların restorasyonu için hidrolik kireç bazlı harçlara elyaf ve polimer esaslı lateks eklenmesi, katkısız kireç bazlı harçlara göre, gözenek oranlarında azalma ve çatlama sonrası davranışta iyileşmeler olduğunu belirlemişlerdir. Klimek ve Grzegorzczak-Frańczak (2021) yaptıkları çalışmada, farklı tane boyutlu kumtaşının içine vinil asetat-etilen kopolimeri ile metilselüloz hidroksit polimer katkı ilave edilerek hazırlanan harçları tarihi yapıların onarımı için incelemişler, bu harçların dona ve tuz kristalleşmesine karşı dirençli olduğunu tespit etmişlerdir. Mercuri vd. (2023), tarihi yağma binaların restorasyonuna yönelik polivinil polimer ilaveli kireç bazlı harçlar geliştirmişler, polimer malzemeler ekleyerek harçların mekanik özelliklerini arttırdığını belirlemişlerdir. Literatür araştırmasına göre, kompozit harçlara polimer malzemelerin eklenmesi; harçların mekanik özelliklerinde iyileşme sağlamasıyla birlikte taşların su emme miktarlarını azaltarak, havanın olumsuz etkilerine karşı daha dirençli olmasını sağlamıştır. Ancak polimer matris bağlayıcı onarım harcının tarihi yapıların restorasyonunda kullanımıyla ilgili literatürde yeterli sayıda çalışmanın olmadığı görülmektedir.

Nevşehir taşı yapıların inşasında kullanılmadan önce belirli boyutlarda kesilmekte ve bu kesim işlemi sırasında taş tozları ortaya çıkmaktadır. Kesim işlemi sırasında oluşan taş tozlarının düzenli olarak toplanmaması ve depolama alanındaki yetersizlikler çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle taş tozlarının, doğal kaynakları ve çevrenin korunmasını sağlayacak şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Taş tozlarının kompozit malzemenin üretiminde kullanılması; atık ürünlerinin değerlendirilmesinde, ham madde maliyetlerinin düşmesinde, çevrenin ve doğanın kirliliğinin önlenmesinde alternatif çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Nevşehir taş tozunu kullanarak, düşük maliyetli ve yüksek mukavemetli sürdürülebilir kompozit harçlarının üretilmesiyle ilgili araştırma yapılarak literatüre katkıda bulunulacağı beklenmektedir.

Bu çalışma, Nevşehir taş tozu ve polyester reçine esaslı onarım harçlarının geliştirilmesi bu harçların tane boyutunun hidrofilik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi nedeniyle özgünlük taşımaktadır. Geliştirilen bu harçların, Nevşehir'deki tarihi yapıların onarımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kompozit harçların mekanik özelliklerini basınç testi ile hidrofilik özellikleri ise temas açısı deneyiyle tespit edilmiştir. Ayrıca kompozit harçların morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

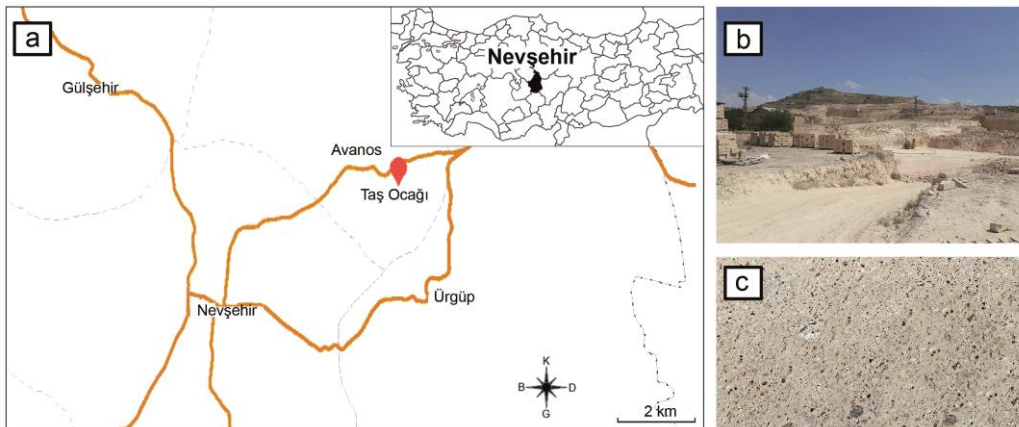
Bu bölümde, kompozit harçların yapımında kullanılan malzemeler ve özellikleri açıklanmaktadır. Ayrıca kompozit harçların; mekanik, hidrofilik ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler hakkında bilgi verilmektedir.

2.1. Kompozit Harçlarının Yapımında Kullanılan Malzemeler

Kompozit harçlarının yapımında kullanılan malzemelerin, temin edilen yerleri ve bu malzemelerin bazı özellikleri hakkında bilgi aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Nevşehir Taş Tozu (NTT)

Kompozit harçlarının üretiminde kullanılan NTT, Nevşehir ilinde taş üretimi yapan Öz Kapadokya Doğal Sarıtaş Üretim Paz. Ltd. Şti. taş ocağı firmasından temin edilmiştir (Şekil 1). Bu taşların işlenmesi sırasında biriken taş tozları bu çalışma kapsamında deney çalışmaları için değerlendirilmek amacıyla ocaktan toplanarak tedarik edilmiştir. Deney çalışmalarında kullanılan NTT'nin bazı fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. (a) Kompozit harçlarının üretiminde kullanılan Nevşehir taşının üretildiği ocağın konumu, (b) ocağın görünümü, (c) Nevşehir taşının yüzey görünümü

2.1.2. Polyester Reçine (PR)

Kompozit harçlarda bağlayıcı olarak kullanılan polyester reçine (PR) Kompozit Pazarı (Türkiye) firmasından alınmıştır. PR'nin içinde ağırlıkça % 0,2 oranında % 6'lık Kobalt oktoat hızlandırıcı bulunmaktadır. PR'yi sertleştirmek için metil etil keton peroksit (MEK-

P) (Kompozit Pazarı, Türkiye) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan PR'nin bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney çalışmaları kapsamında kullanılan NTT ve PR'nin bazı fiziksel özellikleri (Url-1; Url-2)

Kullanılan Malzemeler	Fiziksel Özellikleri
Nevşehir Taş Tozu (NTT)	Renk : Sarı
	Yoğunluk (g.cm ⁻³ , 20°C'de) : 1,50-1,58
	Su emme (% , 23 °C'de) : 24,83
	Erime noktası : 1280°C
Polyester Reçine (PR)	Renk : Sarımsı
	Yoğunluk (g.cm ⁻³ , 20°C'de) : 1,12-1,14
	Viskozite(cps, 20°C'de) : 550-650
	Jelleşme zamanı : 4-8 dakika
	Ekzotermik ısınma : 160-200°C
Kaynama noktası : 145,2°C	

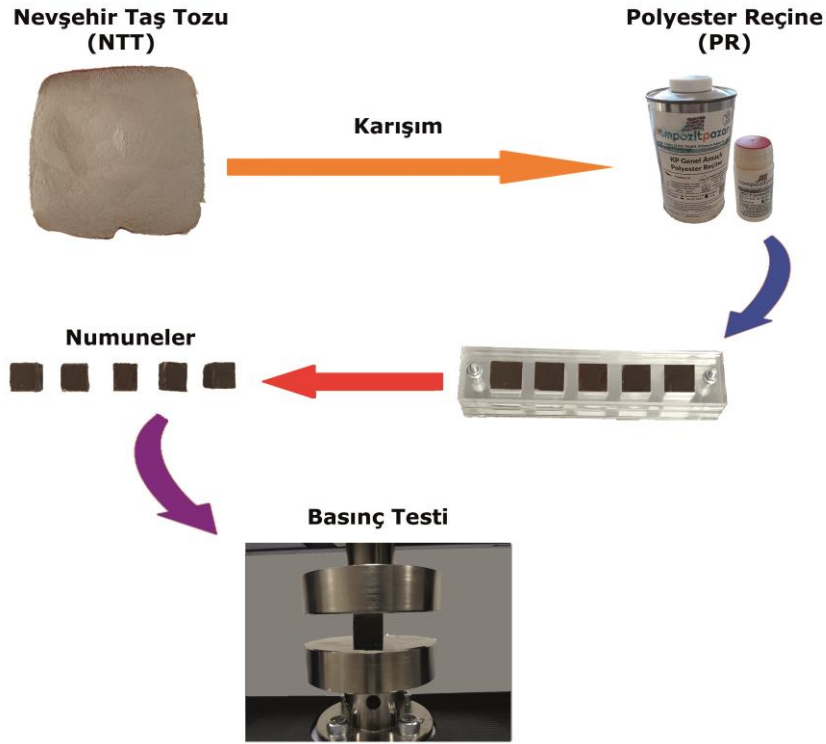
2.2. Metot

Kompozit harçlarının; mekanik, hidrofilik ve morfolojik özelliklerini belirlemek için yapılan numunelerin hazırlanma yöntemi ve bu kompozit numuneler üzerinde yapılan deneyler ile ilgili bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1. Kompozit Numunelerin Hazırlanması

Taş ocağından temin edilen NTT'nin tane boyutunu belirlemek için elek analizi yapılmıştır. Taş tozu farklı boyutlardaki eleklerle (63, 150, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 µm) Retsch AS 200 marka elek cihazı kullanılarak elenmiştir. Eleklerin açıklık boyut büyüklüğüne göre büyükten küçüğe doğru alt alta gelecek şekilde yerleştirilmiştir. NTT'den 100 gr tartılarak elek setinin en üstüne koyulmuştur. Daha sonra elek kapağı kapatılarak 10 dakika boyunca cihaz tarafından sarsma işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucunda her bir elek aparatlarında kalan toz miktarı hassas terazi ile tartılarak kaydedilmiştir. En yüksek NTT miktarı 63 µm'nin altındaki eleklerde bulunduğundan, taş tozu ile matris arasında hangi oranda bütünlük sağladığının belirlenebilmesi amacıyla, ilk kompozitlerde bu tane boyutu ile numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra kompozit harçların tane boyut büyüklüğüne bağlı olarak hidrofilik, mekanik ve morfolojik özelliklerini araştırmak için numuneler yapılmıştır.

Kompozitlerin harç serisinde sertleştirilmiş saf PR ve PR katkılı iki tipte kompozit numuneler yapılmıştır. İlk tip kompozit olan sertleştirilmiş saf PR numunelerin hazırlanması için kobalt oktoat hızlandırıcı içeren PR'ye, ağırlıkça % 1,5 oranında bir metil etil keton peroksit sertleştirici eklenmiştir. Daha sonra bu karışım 3 dakika boyunca elle karıştırılmıştır. İkinci tip kompozit olan PR katkılı numunelerin hazırlanması için NTT ile saf PR 3 dakika boyunca elle karıştırılmıştır. Elde edilen karışıma ağırlıkça % 1,5 oranında bir metil etil keton peroksit sertleştirici ilave edilmiştir. Daha sonra her iki tipteki kompozit karışımlar polimetil metakrilat (PMMA) kalıbına dökülerek, 20x20x20 mm numune boyutlarında küp numuneler elde edilmiştir. Bu küp numuneler kompozitlerin her bir türü için 5 adet hazırlanmıştır. Üretilen tüm kompozit numuneler PMMA kalıbında 25±1°C'de 24 saat kürleşmesi için bekletilmiştir (Şekil 2). Son olarak kompozit numuneler, mekanik mukavemetini 7 günde tamamladıktan sonra basınç testi ve temas ölçümleri yapılmıştır. Kompozit harçların kısaltmaları, içerikleri ve bileşimleri hakkında detaylı bilgi Tablo 2'de verilmiştir. NTT, Nevşehir taşının kesim atığı olduğundan, ticari ürünler olan reçineye göre üretiminde maliyet harcanmamaktadır. Ayrıca en yüksek NTT oranı, Nevşehir taşına en yakın örnek bileşimi verebilmesi açısından yarar sağlamaktadır. Bu nedenle bu çalışma sırasında en yüksek NTT oranına sahip kompozit harçların geliştirilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 2. Kompozit harçların üretim aşamaları ve numunelere basınç testinin yapılması

Tablo 2. Kompozit harçların kısaltmaları, içerikleri ve bileşikleri

Kompozit Harç (KH) Kısaltmaları	Reçine /NTT Karışım Oranı	NTT Boyutları (µm)
PR	100/0	—
KH1	35/65	<63
KH2	35/65	<150
KH3	35/65	<250
KH4	35/65	<500
KH5	35/65	<1000

2.2.2. Kompozit Harçlarının Mekanik, Morfolojik ve Hidrofilik Özelliklerinin Belirlenmesi için Yapılan Deneyler

Kompozit harçların mekanik, morfolojik ve hidrofilik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler aşağıda açıklanmıştır.

2.2.2.1. Basınç Testi

Kompozit harçlarının mukavemet ve dayanımını belirlemek için basınç testi yapılmıştır. Kompozit harç türlerinin her birinden 5 adet hazırlanan kübik numunelerin basınç testi SHIMADZU AGS-X (Japonya) marka cihazı kullanılarak 0,5 mm/dk hızında ASTM D695 (ASTM-D695-10, 2010) standardına göre test edilmiştir.

2.2.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

PR/NTT yapışma özelliklerini ve kompozitlerin tane boyutunun büyüklüğüne bağlı olarak malzemelerin morfolojik yapısında meydana gelen değişimi belirlemek için numuneler taramalı elektron mikroskobu (ZEISS GeminiSEM 500) ile karakterize edilmiştir.

2.2.2.3. Temas Açısı

Kompozitlerin ıslanabilirlik derecelerini temas açısı ölçümleri (Biolin Scientific Attention-Theta Lite) ile belirlenmiştir. Kompozitlerin temas açısı ölçümleri için cihaz tarafından her

bir numunenin yüzeyine bir damla su damlatılmıştır. Yüzeğe damlatılan su ile numunenin yüzeyi arasındaki açı temas açısını oluşturmaktadır. Bu açının büyüklüğündeki değişimler kompozitlerin hidrofilik özelliği hakkında önemli bilgiler vermektedir.

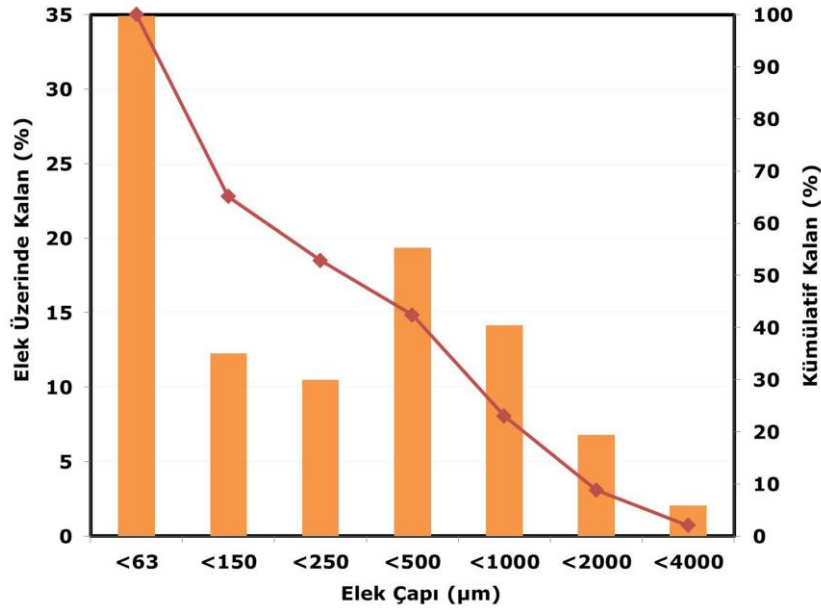
3. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. NTT'nin Elek Analiz Sonuçları

NTT'nin taneciklerin yaklaşık % 35'i 63 µm boyutunun altında iken, taneciklerin % 10'dan azının ise 1000 µm boyutundan daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3 ve Şekil 3). Bu nedenle polyster reçine karışımında 63 µm NTT'li numuneler hazırlanarak yapılmıştır.

Tablo 3. NTT'nin elek analiz değerleri

Elek Çapı (µm)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Elek Üzerinde Geçen (%)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen (%)
<4000	2,04	97,96	2,04	97,96
<2000	6,79	93,21	8,83	91,17
<1000	14,16	85,84	22,99	77,01
<500	19,36	80,64	42,35	57,65
<250	10,48	89,52	52,83	47,17
<150	12,26	87,74	65,09	34,91
<63	34,91	65,09	100	0



Şekil 3. NTT'nin elek analizi

3.2. Kompozit Harçlarda NTT Oranına Bağlı Olarak Numunelerin Yapısal Bütünlüğünün Değerlendirme Sonuçları

Tarihi yapılarda kullanılacak onarım harcında Nevşehir taşının en yakın bileşime sahip olması için mümkün olduğu kadar NTT oranının yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle % 35, %45, % 55, % 65 ve % 70 NTT oranlarına sahip kompozitler hazırlanarak, kübik numunelerin bütünlüğü değerlendirilmektedir. NTT oranı % 65'in altında olduğunda tüm numuneler kübik şeklini korumuştur (Tablo 4). Ancak % 70 NTT ile hazırlanan kompozitte matris miktarı numune bütünlüğünü korumak için yetersiz kaldığından numunede parçalanma gözlemlenmiştir (Şekil 4). Bu nedenle kompozit harçlarının basınç testi için ağırlıkça % 35 polyster matris % 65 NTT seçilmiştir. Bu polimer oranı, literatürde yapılan çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir. Örneğin Doan vd. (2018) yaptıkları çalışmada, % 65 mermer tozunun içerisine eklenen polyster matrisli kompozitler mekanik testler için optimize edilmiş numunelerdir.

Tablo 4. NTT içerisine farklı oranlarda PR eklendiğinde kompozit harçlarının numunelerinde yapısal bütünlüğün incelenmesi (— dağılan numuneler için, + bütünlüğü korunan numuneler için)

NTT Boyutları (μm)	NTT (%)	PR (%)	Numune Bütünlüğü
<63	70	30	—
<63	65	35	+
<63	55	45	+
<63	45	55	+
<63	35	65	+

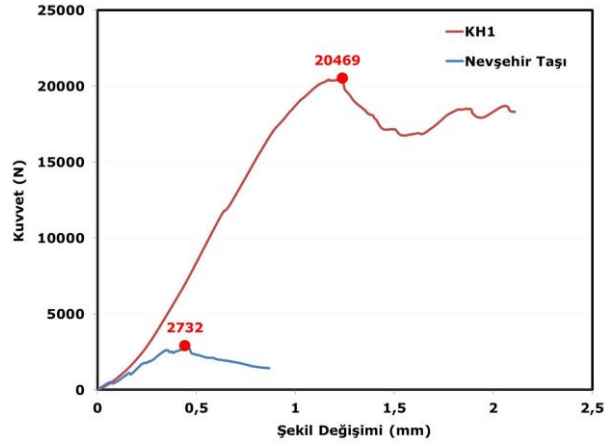


Şekil 4. % 70 NTT ile hazırlanan kompozitte matris miktarının numune bütünlüğünü korumada yetersiz kalması

3.3. Kompozit Harçlarının Basınç Testi Sonuçları

Basınç testi, iki plakalar arasında kübik kompozit numune yerleştirilerek ve bu plakalar numune dağılıncaya kadar birbirine sabit hızla (0,5 mm/dk) yaklaşmasıyla yapılmaktadır. Her bir numunenin basınç kuvveti, iki plakanın numuneyi zıt taraflardan içeri doğru kuvvetle sıkıştırması, uygulanan kuvvet karşındaki numunedeki genişlemenin ölçülmesi yoluyla belirlenmektedir. Basınç kuvveti numunenin kesitinde artan şekil değişimini ve aynı zamanda kompozit numune tarafından absorbe edilebilecek enerjiyi göstermektedir. Kompozit numunelerin en yüksek kuvvetleri şekil değişim-kuvvet grafik eğrisinde kırmızı nokta ile gösterilmiştir (Şekil 5).

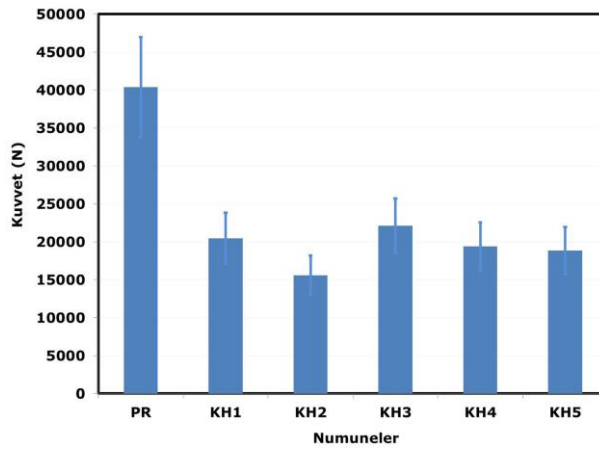
Basınç testinde, kompozit harç numuneleriyle karşılaştırma yapılabilmesi için Nevşehir taşının basınç kuvveti ölçülmüştür. Şekil 5'de, Nevşehir taşının en yüksek basınç kuvveti, yaklaşık olarak 3 kN ve 0,5 mm şekil değişikliğine sahip iken, KH1 kompozitinin ise en yüksek basınç kuvveti, yaklaşık olarak 21 kN ve 1,3 mm şekil değişikliğinin olduğu görülmektedir. Bu sonuç, Nevşehir taşının kırılğan bir malzeme olduğunu, kompozitlerin ise daha esnek bir davranış gösterdiğini ifade etmektedir. Diğer bir şekilde KH1 kompozitinin basınç kuvveti Nevşehir taşının basınç kuvvetinden % 649 daha yüksektir. Ayrıca kompozitin 2 mm'lik şekil değişiminden sonra bile malzeme deformasyona dayanabilmektedir. Kompozit harcının deformasyona dayanımının yüksek olması, yapılarda deprem sırasında oluşabilecek şekil değişikliğine bağlı hasarların daha az olmasını sağlaması açısından önemlidir (Bertolesi vd., 2020; Mammoliti vd., 2021; Yao vd., 2021). Polyester reçine ilavesiyle, kompozitte ince gözeneklere nüfuz ederek matris ile taş tozu arasındaki bağ kuvvetinin arttırması, literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğunu göstermektedir (Ribeiro vd., 2017).



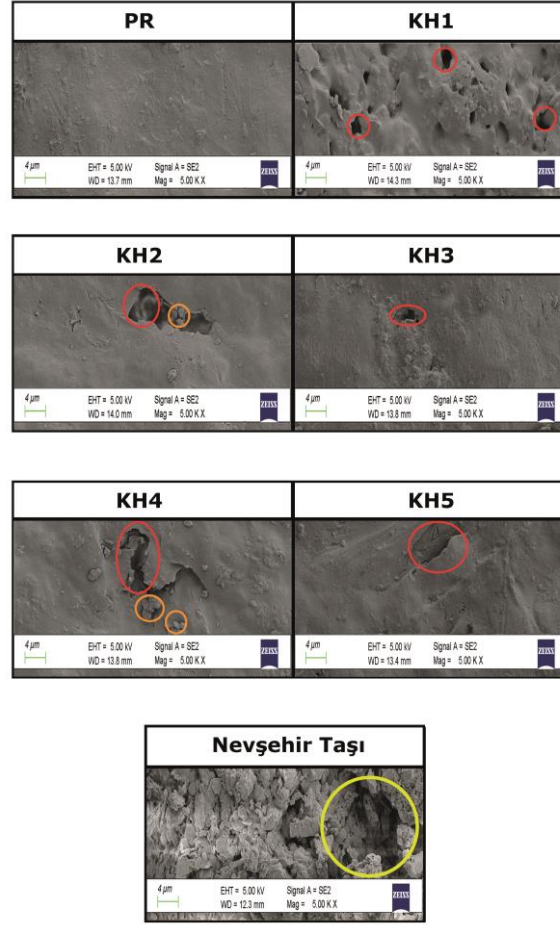
Şekil 5. KH1 kompozit harcının ve Nevşehir taşının basınç testinin sonuçları

3.4. Kompozit Harçlarda NTT'nin Farklı Tane Boyutunun Basınç Testine Ait Sonuçları

Kompozit harçlarının mekanik özellikleri açısından dayanımında matris ve dolgu arasındaki bağ kuvvetinin gücü etkili olmaktadır. Tanecik boyutu küçültülerek matris ve dolgu arasındaki etkileşimin yüzey alanı artırılabilir. Bu nedenle NTT'nin farklı tanecik boyutuna sahip numuneleri hazırlanarak, kompozit harçların mekanik özellikleri araştırılmıştır. 150, 250, 500 ve 1000 μm tanecik boyutlarıyla hazırlanan kompozitlerin en yüksek basınç kuvvetleri farklı davranışlar göstermektedir (Şekil 6). Şekil 6'da kompozit harçlar arasında en yüksek mukavemet yaklaşık 22 kN ile KH3 kompozit iken, en düşük mukavemet ise 16 kN ile KH2 kompozitine ait olduğu görülmektedir. Bu durum NTT'nin tanecik boyutu 250 μm olduğunda matris ile dolgu malzemesi arasındaki etkileşimin daha güçlü olduğunu göstermektedir. Ayrıca KH3 kompozitinin basınç kuvveti Nevşehir taşının basınç kuvvetinden % 709 daha yüksektir. Nevşehir taşının makroporları mukavemetinin azalmasına neden olmaktadır (Şekil 7). Öte yandan NTT'nin tanecik boyutu 150 μm olduğunda polyester matris ve dolgu maddesi arasında oluşan aglomerasyon, kompozitin mukavemetinin düşmesine neden olmaktadır. Saf PR numunesinin mukavemetinin kompozitlerin mukavemetinden daha yüksek olmasında, kompozitlerin yüzeylerinde oluşan porlardan kaynaklanmaktadır (Şekil 7). Polyester matris ile NTT'nin tane boyutunun 250 μm üzerindeki karışımlarla elde edilen KH4 ve KH5 kompozitlerinin mukavemetindeki azalmanın nedeni, matris ile etkileşime girebilen taneciklerin yüzey alanının azalması etkili olmaktadır.



Şekil 6. NTT'nin farklı tanecik boyutuyla hazırlanan kompozit harçlarının ve PR matrisinin basınç test değerleri



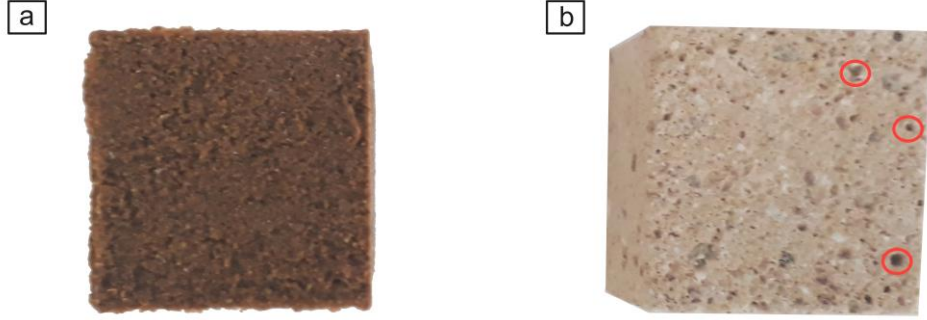
Şekil 7. Kompozitlerin, PR ve Nevşehir taşının SEM yüzey görüntüleri (Mag.: 5 KX, ölçek çubuğu 4 µm) (Porlar kırmızı renkli daireler içinde, aglomerasyon turuncu renkli daireler içinde ve makropor sarı renkli daire içindedir.)

3.5. Kompozit Harçlarının İslanabilirlik Derecelerine Ait Sonuçlar

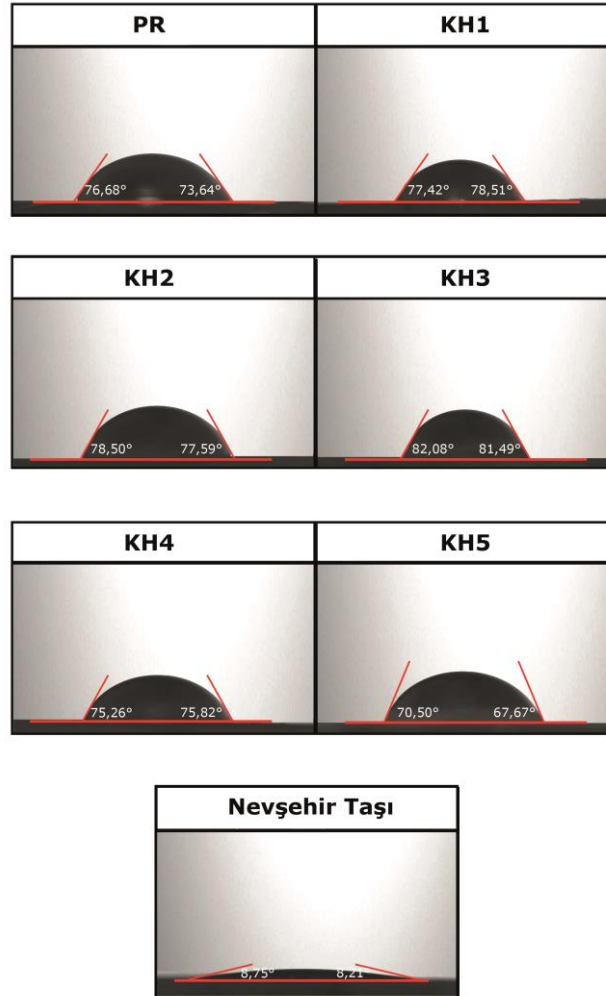
Atmosferik etkilerle oluşan yağışlar ve nem nedeniyle taş malzemeye inşa edilen tarihi yapılarda bozulmalar artmaktadır (Dinçer ve Bostancı, 2019; Garcia-Vallès vd., 2003; Topal ve Doyuran, 1997; Topal ve Doyuran, 1998). Bu nedenle kompozit harcının suya ve neme karşı dayanıklılığında önemli parametrelerden biri, yüzey ile sıvı arasındaki etkileşimin incelenmesidir (Andreotti vd., 2018; Fruth vd., 2021). Kompozitlerin temas açısının ölçülmesi, malzemenin ıslanabilirlik derecelerinin belirlenmesini sıvı ve kompozitin yüzeyi arasındaki etkileşimin değerlendirmesini sağlamaktadır. Temas açısının ölçümü için cihaz tarafından önceden belirlenen hacimde bir damla su, numunenin yüzeyi üzerine bırakılmaktadır. Numunenin yüzeyi ile sıvının iç teğet arasındaki açı 90°'nin altındaysa yüzey hidrofilik, 90°'nin üzerindeyse yüzey hidrofobik olarak kabul edilmektedir. Açı büyüklüğündeki değişimler numunelerin ıslanabilirlik özelliği hakkında bilgi vermektedir.

Taşın oksit dayanımında yüzey yapısı ile su molekülleri arasındaki etkileşim önemli olmaktadır. Ayrıca taşın yüzeyindeki makro gözeneklerinden giren sular, yüzeyden iç noktalara girerek nem oluşturmaktadır (Şekil 8). Bu nem ile oluşan kapillarite etkisi taşta hacim artışına ve aşınmalara neden olabilmektedir. Nevşehir taşının yüzeyinin suyla temas açısı yaklaşık 9° olması taşın hidrofilik özelliğinin yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 9). Şekil 9'da kompozit harçlarının her bir türünün ve saf PR'nin yüzeylerinin suyla temas açıları yaklaşık 70° ile 82° arasında açı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu açı değerleri 90°'nin altında olduğundan kompozit harçların ve saf PR'nin hidrofilik yüzeyler olduğu anlamına gelmektedir. Kompozit harçlar arasından KH3 kompozitinin

yüzeyinin suyla temas açısı yaklaşık 82° ile en yüksek temas açısı iken, KH5 kompozitinin yüzeyinin suyla temas açısı yaklaşık 70° ile en düşük temas açısı olduğu görülmektedir. Ayrıca polyester matris ile NTT'nin tane boyutunun $250\ \mu\text{m}$ altındaki karışımlarla elde edilen KH1, KH2, KH3 kompozitlerinin yüzeylerinin suyla temas açı değerleri, saf PR'nin yüzeyinin suyla temas açı değeri olan yaklaşık 76° 'den daha yüksektir. Ancak tanecik boyutu ne olursa olsun tüm kompozitlerin yüzeylerinin suyla temas açılarının değeri, Nevşehir taşının yüzeyinin suyla temas açı değeri olan 9° 'den daha yüksektir. Literatürde daha önceki çalışmalarda da ifade edildiği gibi, Nevşehir taşıyla yapılan tarihi yapıların nem nedeniyle oluşabilecek bozulmalara karşı korunmasında polimer esaslı kompozit harç (KH3) kullanılması önerilebilir (Giuntoli vd., 2012; Sabatini vd., 2018).



Şekil 8. (a) Polyester matris ve NTT içeren KH3 kompoziti, (b) Nevşehir taşı (Makroporlar kırmızı daire içindedir)



Şekil 9. Kompozitlerin, PR ve Nevşehir taşının temas açı ölçümleri

4. SONUÇLAR

Bu makale, Nevşehir taşıyla inşa edilen tarihi yapıların restorasyonuna yönelik polimer matrisli kompozit harçların üretimine ve bu kompozit harçlarının mekanik, fiziksel ve morfolojik özelliklerinin incelenmesine odaklanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerden elde edilen verilere dayanarak sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- Kompozit harç üretimi için ağırlıkça % 35 polyester matris ve % 65 NTT optimum bileşim oranı olarak belirlenmiştir.
- PR esaslı kompozit harçlarının mekanik özellikleri açısından mukavemeti, Nevşehir taşının mukavemetinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- NTT'nin farklı tanecik boyutuna sahip kompozit harçları arasında KH3 kompozitinin, en yüksek basınç kuvvetine sahip olduğu belirlenmiştir.
- Kompozit harçlarının temas açısı ölçümünde KH3 kompozitinin Nevşehir taşından daha hidrofobik olduğu tespit edilmiştir. Polyester matris ve NTT esaslı kompozitlerin, Nevşehir taşıyla yapılan tarihi yapıların su ve neme karşı daha dirençli olacak şekilde optimize edilmiştir.

Sonuç olarak, mekanik özellikleri yüksek ve suya karşı dayanıklı olması nedeniyle KH3 kompozitinin, Nevşehir taşıyla inşa edilen tarihi yapıların restorasyonu için önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Andreotti, S., Franzoni, E., Esposti, M. D., Fabbri, P. (2018). Poly (hydroxyalkanoate) s-based hydrophobic coatings for the protection of stone in cultural heritage. *Materials*, 11 (1), 165.
- ASTM-D695-10. (2010). Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials. *American Society for Testing and Materials*. West Conshohocken, PA.
- Bertolesi, E., Buitrago, M., Giordano, E., Calderon, P. A., Moragues, J. J., Clementi, F., Adam, J. M. (2020). Effectiveness of textile reinforced mortar (TRM) materials in preventing seismic-induced damage in a U-shaped masonry structure submitted to pseudo-dynamic excitations. *Construction and Building Materials*, 248, 118532.
- Bignozzi, M., Saccani, A., Sandrolini, F. (2000). New polymer mortars containing polymeric wastes. Part 1. Microstructure and mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31 (2), 97-106.
- Blows, J., Carey, P., Poole, A. (2003). Preliminary investigations into Caen Stone in the UK; its use, weathering and comparison with repair stone. *Building and Environment*, 38 (9-10), 1143-1149.
- Ceylan, A. B. (2016). *Nevşehir yöresi ignimbiritlerinin doğal yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Dinçer, İ., Bostancı, M. (2019). Capillary water absorption characteristics of some Cappadocian ignimbrites and the role of capillarity on their deterioration. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-18.
- Dinçer, İ., Özvan, A., Mutluhan, A., Tapan, M., Vural, O. (2012). İgnimbiritlerin kapiler su emme potansiyellerinin değerlendirilmesi: Ahlat Taşı örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17 (2), 64-71.
- Dirik, K. (2009). Kapadokya Bölgesi'nin jeolojisi, jeomorfolojisi ve bunların bölgedeki medeniyetler üzerindeki etkisi. *1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, 30, 6-9.
- Doan, T. T. L., Brodowsky, H. M., Gohs, U., Mäder, E. (2018). Re-use of marble stone powders in producing unsaturated polyester composites. *Advanced Engineering Materials*, 20 (7), 1701061.
- Dönmez, M., Akçay, A. E., Genç, Ş. C., Acar, Ş. (2005). Biga Yarımadasında Orta-Üst Eosen Volkanizması Ve Denizel İgnimbiritler. *MTA Dergisi*, 131, 49-61.
- Erguler, Z. A. (2009). Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs. *Engineering Geology*, 105 (3-4), 186-199.

- Faria, P., Henriques, F., Rato, V. (2008). Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 9 (3), 338-346.
- Fruth, V., Todan, L., Codrea, C. I., Poenaru, I., Petrescu, S., Aricov, L., Ciobanu, M., Jecu, L., Ion, R. M., Predoana, L. (2021). Multifunctional composite coatings based on photoactive metal-oxide nanopowders (MgO/TiO₂) in hydrophobic polymer matrix for stone heritage conservation. *Nanomaterials*, 11 (10), 2586.
- 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.
- Giuntoli, G., Rosi, L., Frediani, M., Sacchi, B., Frediani, P. (2012). Fluoro-functionalized PLA polymers as potential water-repellent coating materials for protection of stone. *Journal of applied polymer science*, 125 (4), 3125-3133.
- Iucolano, F., Liguori, B., Colella, C. (2013). Fibre-reinforced lime-based mortars: A possible resource for ancient masonry restoration. *Construction and Building Materials*, 38, 785-789.
- Kazancı, N., Gürbüz, A. (2014). Jeolojik miras nitelikli Türkiye doğal taşları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57 (1), 19-44.
- Kemikkiran, Ö. F. (2019). *Nevşehir yöresindeki ignimbiritlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile p-dalga hızı arasındaki ilişkilerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Klimek, B., Grzegorzczak-Frańczak, M. (2021). Properties of Mortars with Recycled Stone Aggregate for the Reconstruction of Sandstone in Historic Buildings. *Sustainability*, 13 (3), 1386.
- Klisińska-Kopacz, A., Tišlova, R., Adamski, G., Kozłowski, R. (2010). Pore structure of historic and repair Roman cement mortars to establish their compatibility. *Journal of Cultural Heritage*, 11 (4), 404-410.
- Korkanç, M. (2007). İgnimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı olarak kullanımına etkisi: Nevşehir taşı. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31 (1), 49-60.
- Mammoliti, E., Ferretti, A., Malavolta, M., Teloni, R., Ruggeri, P., Roselli, G. (2021). Defining a non-destructive in situ approach for the determination of historical mortar strength using the equotip hardness tester. *Applied Sciences*, 11 (11), 4788.
- McPhie, J. (1983). Outflow ignimbrite sheets from Late Carboniferous calderas, Currabubula Formation, New South Wales, Australia. *Geological Magazine*, 120 (5), 487-503.
- Mercuri, M., Vailati, M., Gregori, A. (2023). Lime-based mortar reinforced with randomly oriented polyvinyl-alcohol (PVA) fibers for strengthening historical masonry structures. *Developments in the Built Environment*, 14, 100152.
- Moon, V. G. (1993). Microstructural controls on the geomechanical behaviour of ignimbrite. *Engineering Geology*, 35 (1-2), 19-31.
- Mukhopadhyay, J., Ray, A., Ghosh, G., Medda, R. A., Bandyopadhyay, P. P. (2001). Recognition, characterization and implications of high-grade silicic ignimbrite facies from the paleoproterozoic bijli rhyolites, Dongargarh Supergroup, central India. *Gondwana Research*, 4 (3), 519-527.
- Polacci, M., Pioli, L., Rosi, M. (2003). The Plinian phase of the Campanian Ignimbrite eruption (Phlegrean Fields, Italy): evidence from density measurements and textural characterization of pumice. *Bulletin of Volcanology*, 65, 418-432.
- Pozo-Antonio, J. (2015). Evolution of mechanical properties and drying shrinkage in lime-based and lime cement-based mortars with pure limestone aggregate. *Construction and Building Materials*, 77, 472-478.
- Ribeiro, C. E. G., Rodriguez, R. J. S., de Carvalho, E. A. (2017). Microstructure and mechanical properties of artificial marble. *Construction and Building Materials*, 149, 149-155.
- Sabatini, V., Cattò, C., Cappelletti, G., Cappitelli, F., Antenucci, S., Farina, H., Ortenzi, M. A., Camazzola, S., Di Silvestro, G. (2018). Protective features, durability and



- biodegradation study of acrylic and methacrylic fluorinated polymer coatings for marble protection. *Progress in Organic Coatings*, 114, 47-57.
- Szemerey-Kiss, B., Török, Á. (2017). The effects of the different curing conditions and the role of added aggregate in the strength of repair mortars. *Environmental Earth Sciences*, 76, 1-15.
- Şimşek, O. (2022). Nevşehir (Kavak) Yöresi Vişne Renkli İgnimbiritin Duvar Kaplamasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 25 (1), 281-289.
- Şimşek, O., Erdal, M. (2004). Investigation of some mechanical and physical properties of the Ahlat stone (Ignimbrite). *Gazi University Journal of Science*, 17 (4), 71-78.
- Temel, A., Gündoğdu, M., Gourgaud, A., Le Pennec, J.-L. (1998). Ignimbrites of Cappadocia (central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1-4), 447-471.
- 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.
- Url-1. <https://www.kompozitpazari.com/urun/kp-genel-amacli-polyester-recine> (Erişim tarihi:21.09.2023).
- Url-2. <https://www.ozkapadokya.com.tr/tas-ocaklari-teknik-yapi#:~:text=Sar%C4%B1ta%C5%9F%20%C3%9Cretim%20Paz.-,Ltd.%C5%9Eti,Stok%20Alan%C4%B1m%C4%B1z&text=Firmaya%20ait%20ta%C5%9F%20ocaklar%C4%B1%3B%20Karayaz%C4%B1,yoldan%20200%20metre%20gidince%20ula%C5%9F%C4%B1l%C4%B1r>. (Erişim tarihi:21.09.2023).
- Yao, X., Guo, Z.-X., Basha, S. H., Huang, Q. (2021). Innovative seismic strengthening of historic masonry walls using polymer mortar and steel strips. *Engineering Structures*, 228, 111507.