



İGNİMBİRİT TAŞ ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK EPOKSI MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE HİDROFOBİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ahmet Cihat ARI^{1*}

¹Yozgat Bozok University, Akdagmadeni Vocational School, Department of Architecture and Urban Planning, 66300, Yozgat, Türkiye

Özet: Taş ocaklarında blok üretimi ve yapıların inşaatları için taşlar belirli boyutlarda kesilerek kullanılmaktadır. Bu kesim işlemleri neticesinde atık olarak ortaya taş tozu çıkmaktadır. Ancak taş işleme tesislerinde taş atıklarının giderek artması, bu atıkların düzenli olarak depolanmamasına ve doğaya bırakılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, taş atık miktarının azaltılması ve doğaya bırakılmasının önlenmesi için taş atıklarının potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Nevşehir ilinde taş kesimi sonucunda ortaya çıkan ignimbirit taş atıklarının değerlendirilmesine yönelik epoksi matrisli kompozitler üretilmiştir. Kompozitlerin üretiminde, farklı tane büyüklüğüne (63 µm, 150 µm, 250 µm, 500 µm, 1000 µm) sahip ignimbirit taş tozu (İTT) ve matris olarak ise epoksi reçine (ER) kullanılmıştır. Taş tozlarının tane boyutlarındaki değişimin, kompozitlerin mekanik ve hidrofobik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Kompozitin en uygun bileşim oranı, ağırlıkça % 30 epoksi matris ve % 70 oranında <63 µm büyüklüğüne sahip İTT ile hazırlanmıştır. Bu kompozitle, 51 MPa'ya kadar yüksek basınç mukavemeti elde edilmiştir. Ayrıca kompozitin temas açısı 102,9° değeri, orijinal ignimbirit taşının 8,5° değerinden daha yüksek olması, kompozitin ignimbirit taşına göre daha fazla hidrofobik yüzey olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, epoksi matrisli kompozit, yüksek mukavemeti ve hidrofobik özellikleriyle, binalardaki su emme problemini azaltmak üzere çeşitli uygulamalar için büyük bir potansiyel sağlar.

Anahtar kelimeler: İgnimbirit, Taş atıkları, Atıkların değerlendirilmesi, Epoksi kompozit, Hidrofobik


Investigation of Mechanical and Hydrophobic Properties of Epoxy Matrix Composites for Recycling of Ignimbrite Stone Wastes

Abstract: In quarries, stones are cut to certain sizes for block production and construction of structures. As a result of these cutting processes, stone powder is produced as waste. However, the increasing amount of stone waste in stone processing plants causes these wastes not to be stored regularly and to be released into nature. Therefore, stone waste should be recycled as a potential raw material source to reduce the amount of stone waste and prevent it from being released into nature. In this study, epoxy matrix composites were produced for the recycling of ignimbrite stone waste resulting from stone cutting in Nevşehir province. In the production of composites, ignimbrite stone powder (ISP) with different grain sizes (63 µm, 150 µm, 250 µm, 500 µm, 1000 µm) and epoxy resin (ER) were used as the matrix. The effect of the change in the particle size of stone powders on the mechanical and hydrophobic properties of the composites was investigated. The most suitable composition ratio of the composite was prepared with 30% epoxy matrix and 70% ISP with a grain size of <63 µm. High compressive strength up to 51 MPa was obtained with this composite. Moreover, the contact angle of the composite was 102.9°, which was higher than the 8.5° value of the original ignimbrite stone, indicating that the composite has a more hydrophobic surface than the ignimbrite stone. As a result, the epoxy matrix composite provides a great potential for various applications to reduce the water absorption problem in buildings with its high strength and hydrophobic properties.

Keywords: Ignimbrite, stone waste, recycling of waste, epoxy composite, hydrophobic

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yozgat Bozok University, Akdagmadeni Vocational School, Department of Architecture and Urban Planning, 66300, Yozgat, Türkiye

E mail: a.cihat.ari@bozok.edu.tr (A. C. ARI)

Ahmet Cihat ARI  <https://orcid.org/0000-0002-4690-8968>

Gönderi: 19 Eylül 2024

Kabul: 09 Aralık 2024

Yayınlanma: 15 Ocak 2025

Received: September 19, 2024

Accepted: December 09, 2024

Published: January 15, 2025

Cite as: Ari AC. 2025. Investigation of mechanical and hydrophobic properties of epoxy matrix composites for recycling of ignimbrite stone wastes. BSJ Eng Sci, 8(1): xx-xx.

1. Giriş

Doğal taşlar, tarih öncesi çağlardan günümüze kadar uzanan zaman boyunca çeşitli sektörler için en temel malzemelerden biri olmuştur. Özellikle inşaat sektöründe doğal taşların üretimi ve işleme teknolojisinin gelişmesi, yapıların mimarisinde öne çıkmasını sağlamıştır. Doğal taşların çeşitli renk, doku ve sertliklere sahip olması, yapıların iç ve dış mekânlarında estetik tasarımlarının yapılmasını mümkün kılmaktadır. Taşlar yapıların

inşaatlarında kullanırken, standartlara uygun boyut ve şekil için çeşitli cihazlarla işlenmektedir. Bu işlemler sırasında taşlarda kesim atıkları oluşmaktadır. Ayrıca taşların madencilik işlemleri sırasında da atıklar ortaya çıkmaktadır. Örneğin taşların çıkarılmasında geleneksel patlatma tekniklerinin kullanılmasıyla oluşan atıklar % 60-70 arasında iken, taşların çıkarılmasında tel testere tekniği kullanılmasıyla oluşan atıklar ise % 30-40 arasında meydana gelmektedir (Heriyanto vd., 2019). Türkiye'de 2023 yılında doğal taş üretimi 6,3 milyon ton



olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2023). Ülkenin bulunduğu konum itibarıyla Kuzey Anadolu Fay Zonunda yer alması, doğal taşların kırıklı yapı şeklinde oluşmasına neden olmaktadır. Taşların bu kırıklı yapısı, taş üretiminin her aşamasında da atıkları oluşturmaktadır. Bu durum, ülkedeki taş üretim verimini düşürmektedir. Türkiye’de taş üretim verimi ortalama % 0,5 ile % 15 arasında gerçekleşmektedir. Örneğin taş ocak veriminin % 10’da olması, bu ocakta üretilen taşın % 90’nın atık nedeniyle çevreye bırakıldığını göstermektedir (Yurdakul, 2020).

Türkiye’nin İç Anadolu bölgesinde yer alan Nevşehir ili birçok tarihi yapıları, peri bacaları ve eşsiz doğal güzellikleri nedeniyle önemli bir yerdir. Nevşehir ilindeki tarihi yapılarda ve günümüze ait yeni evlerin yapımında ignimbirit taşları kullanılmıştır. Bölgedeki ignimbiritlerin yüksek gözenek oranı, hafifliği, kolay şekillendirilebilmesi ve iyi bir ısı yalıtımı gibi özelliklere sahip olması inşaat sektöründe hafif yapı taşı malzemesi olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Ancak bu taşların büyük kısmı şekillenme sırasında küçük parçalara ayrılarak rastgele çevreye atılmaktadır (Ertek ve Öner, 2008).

Sanayileşme ve hızlı şehirleşme nedeniyle taşların üretim talebindeki artış, taş işlemeden kaynaklı atıkların da büyük miktarda artışın meydana gelmesine neden olmaktadır. Taş atık miktarlarının büyük hacimlere ulaşması sonucunda uygun bir şekilde ortadan kaldırılmamaktadır. Bu atıklar, taş işleme tesislerinde yeterli depolama alanlarının olmaması nedeniyle atık yönetiminde sorun oluşturmaktadır (Singh vd., 2016). Günümüzde bu atıkların kompozit malzemeye dâhil edilerek değerlendirilmesinin sağlanması, atık yönetimi sorununa bir çözüm önerisi olarak kabul edilmektedir. Literatürde taş atıklarının; seramiklere (Ngayakamo vd., 2022), çimentoya (Savadkoohi ve Reisi, 2020), tuğlaya (Bilgin vd., 2012) ve geopolimer harçlara (Çelikten, 2021) dâhil edildiği görülmektedir. Bu çalışmalarda taş atıkları % 80’e kadar kompozitlerin üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca bu kompozitlerde taş atıklarının değerlendirilmesi ve ekonomik katma değeri olan ürünlere dönüştürülmesi bilim adamları tarafından yapılan çalışmalarda odaklanılmıştır. Yapıların inşasında malzemenin tek başına ve doğal haliyle kullanımı istenen özelliği her zaman tam olarak karşılayamadığından kompozit malzemelere olan ihtiyacı giderek arttırmaktadır. Kompozit malzemelerle birden fazla malzemelerin en iyi özelliklerinin bir araya getirilmesiyle istenen özelliklere sahip malzemelerin üretilebilmesini sağlamaktadır. Kompozit malzemeler yapılarda; sıva, kaplama, yalıtım, onarım ve güçlendirme gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir (Mathur, 2006). Polimer matris ve doğal taş tozu esaslı olarak üretilen kompozitlerin de üstün özelliklerinin yanı sıra taş atıklarının değerlendirilmesine imkân sağlaması nedeniyle daha fazla avantajlara sahiptir (Carvalho vd., 2018). Örneğin Doan vd. (2018) yaptıkları çalışmada, mermer atıkları ve doymamış polyester reçineyle hazırlanan kompozitlerin taş atık oranının artmasıyla, su

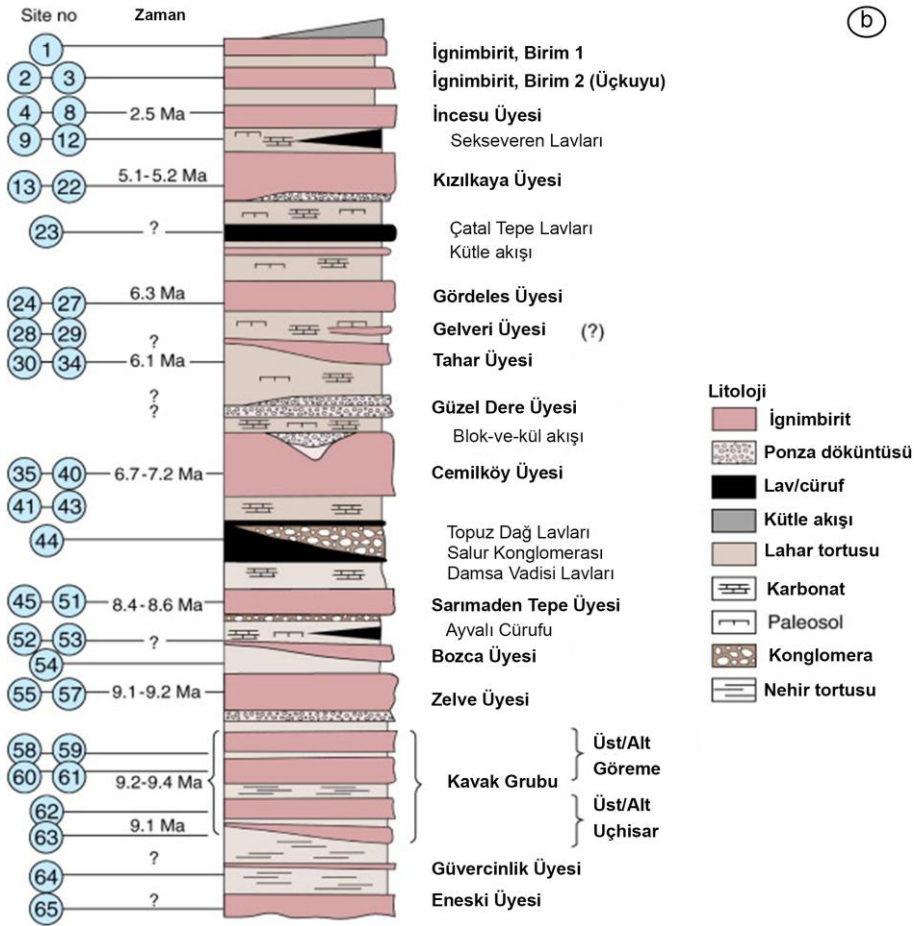
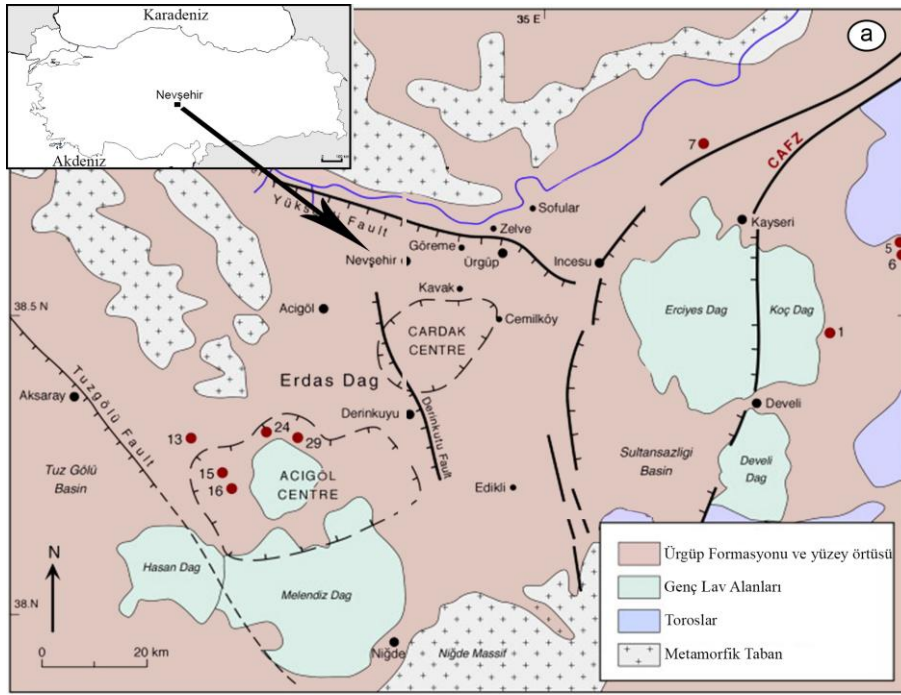
emme oranının düştüğünü ve sertliğinde ise % 80 oranında iyileştğini göstermişlerdir. Sahu vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, epoksi reçine içerisine ağırlıkça % 10, % 20, % 30 ve % 50 oranında atık taş tozlarıyla üretilen kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Taş tozu konsantrasyonunun artmasıyla, kompozitin mukavemetinin arttığı ve su emme özelliğinin ise düştüğü belirlenmiştir. Silva vd. (2023) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, granit ve cam atıklarının epoksi reçine matrisine dâhil edilmesi yoluyla üretilen kompozitlerin fiziksel, mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin kimyasal saldırılara ve dayanıklılık testlerine karşı dirençli olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu çalışmalarda polimer matrisli kompozitlerin; düşük gözenekli yapısı, hafiflikleri, yüksek mukavemeti ve suya dayanıklılığı gibi özellikleri nedeniyle inşaat sektöründe malzeme ihtiyacının karşılanmasında büyük bir potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir. Ancak bildiğimiz kadarıyla, ignimbirit taş tozu ile epoksi matris esaslı kompozitlerin üretimi, bu kompozitlerin mekanik ve hidrofobik özellikleriyle ilgili bugüne kadar herhangi bir araştırma yapılmamıştır.

Bu çalışmada ignimbirit taşına ait farklı tane büyüklüğüne (63 µm, 150 µm, 250 µm, 500 µm, 1000 µm) sahip taş tozu ve epoksi reçine kullanılarak kompozitler üretilmiştir. İgnimbirit taş atıklarında değişen ölçüdeki taneciklerin epoksi reçine ile yapışması azalabilir. Bu durum, kompozitlerin morfolojisini ve mekanik özelliklerini etkileyebilir. Bu nedenle reçine ile taş tozu arasındaki yapışmayı arttırmak için taş tozları farklı tane büyüklüklerine ayrılmıştır. Taş tozlarının tane büyüklüklerindeki değişimin, kompozitlerin mekanik ve hidrofobik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında, üstün mekanik ve fiziksel özelliklerin yanı sıra, su emme problemlerine karşı dayanıklı yeni bir kompozitin geliştirilmesi beklenmektedir. Ayrıca çalışmada hem taş atık miktarının azaltılmasına katkıda bulunmak hem de inşaat sektöründe bina uygulamaları için ekonomik katma değeri olan ürünlere dönüştürülmesi amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Nevşehir ilinden çıkarılan ignimbirit taşları Ürgüp Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Ürgüp Formasyonunda her biri ayrı adlarla anılan on bir adet ignimbirit seviyesi bulunmaktadır. Bu seviyelerin en alt kısmında ise Kavak ignimbiriti yer almaktadır (Şekil 1). Bölgedeki yapıların inşaatlarında kullanılan taşlar Kavak ignimbiritinden üretilmektedir (Kazancı ve Gürbüz, 2014). Kavak ignimbiriti sarımsı-bej renkli ve piroklastik kayaç özelliğinde olup, litik, pomza kırıntılı, biyotit, plajiyoklaz, kuvars ve fenokristalleri içermektedir (Aydar vd., 2012). Tablo 1’deki Kavak ignimbiritlerin kimyasal bileşimine göre, çoğunlukla dasit ve trakiandezit, kısmen de riyolit bileşimine sahiptir (Çiflikli, 2020).



Şekil 1. (a) Nevşehir ilindeki ignimbritlerin jeolojik haritası, (b) İğnimbritlerin stratigrafik kesiti (Piper vd., 2013'den değiştirilmiştir).

Tablo 1. Kavak ignimbiritlerin kimyasal bileşimi (Korkanç, 2007)

Oksit	Ağırlık (%)
SiO ₂	78,44
Al ₂ O ₃	13,9
Fe ₂ O ₃	0,78
MgO	0,02
CaO	0,05
Na ₂ O	0,03
K ₂ O	0,13
TiO ₂	0,23
P ₂ O ₅	0,04
MnO	<0,01
Cr ₂ O ₃	<0,001
A.K. (1000°C)	6,4
Toplam	100,05

Bu çalışmada kompozitlerin üretiminde kullanılan epoksi reçine (ER) BRTR Kimya A.Ş. (Türkiye) firmasından satın alınmıştır. Epoksi sistemlerinde reçine ve sertleştirici

birbirine karıştırılarak kullanıldığından firmadan alınan epoksida, A ve B olarak iki bileşen bulunmaktadır. A bileşeni bisfenol-A tipi kimyasal bileşiği içerirken, B bileşeninde ise cycloalifatik poliamin sertleştirici madde içermektedir. Kompozitlerin üretiminde dolgu olarak ignimbirit taş tozu (İTT) kullanılmıştır. Nevşehir ilinde taş üretimi yapan Özkapadokya Taş firmasından ignimbirit taş kesim atıkları tedarik edilmiştir. Firmadan tedarik edilen taş kesim atıklarında toz ve kırıklı taş parçaları bulunmaktadır. Bu nedenle epoksi reçine ile ignimbirit taş tozu arasındaki yapışmayı arttırmak için taş kesim atıkları farklı boyutlarda (63 µm, 150 µm, 250 µm, 500 µm, 1000 µm) elek set aparatları kullanılarak elenmiştir. Bu eleme işleminde atık taş tozunda tane büyüklüğünün dağılımları (granülometri analizi) yapılmıştır. Elek cihazındaki (Retsch AS 200) elek set aparatların her birine ignimbirit taş kesim atıkları yerleştirilerek 10 dakika boyunca sarsma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonunda istenilen boyutlara sahip ignimbirit taş tozu elde edilmiştir. Deney çalışmalarında kullanılan materyallerin bazı özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deney çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin bazı özellikleri

Kullanılan Malzemeler	Fiziksel Özellikleri	
İgnimbirit Taş Tozu (İTT)	Renk:	Sarı
	Yoğunluk (g.cm ⁻³ , 20°C'de):	1,50–1,58
	Su emme (% , 23°C'de):	24,83
	Renk ve Görünüm:	Şeffaf ve Parlak
	Yoğunluk (g.cm ⁻³):	1,10
	Karışım Oranı (A/B):	5/3
Epoksi Reçine (ER)	Viskozite (cps, 20°C'de):	520–550
	Karışım Ömrü (25°C):	30 dakika
	Kuruma Süresi (25°C):	12 saat
	Mekanik Mukavemet:	7 gün

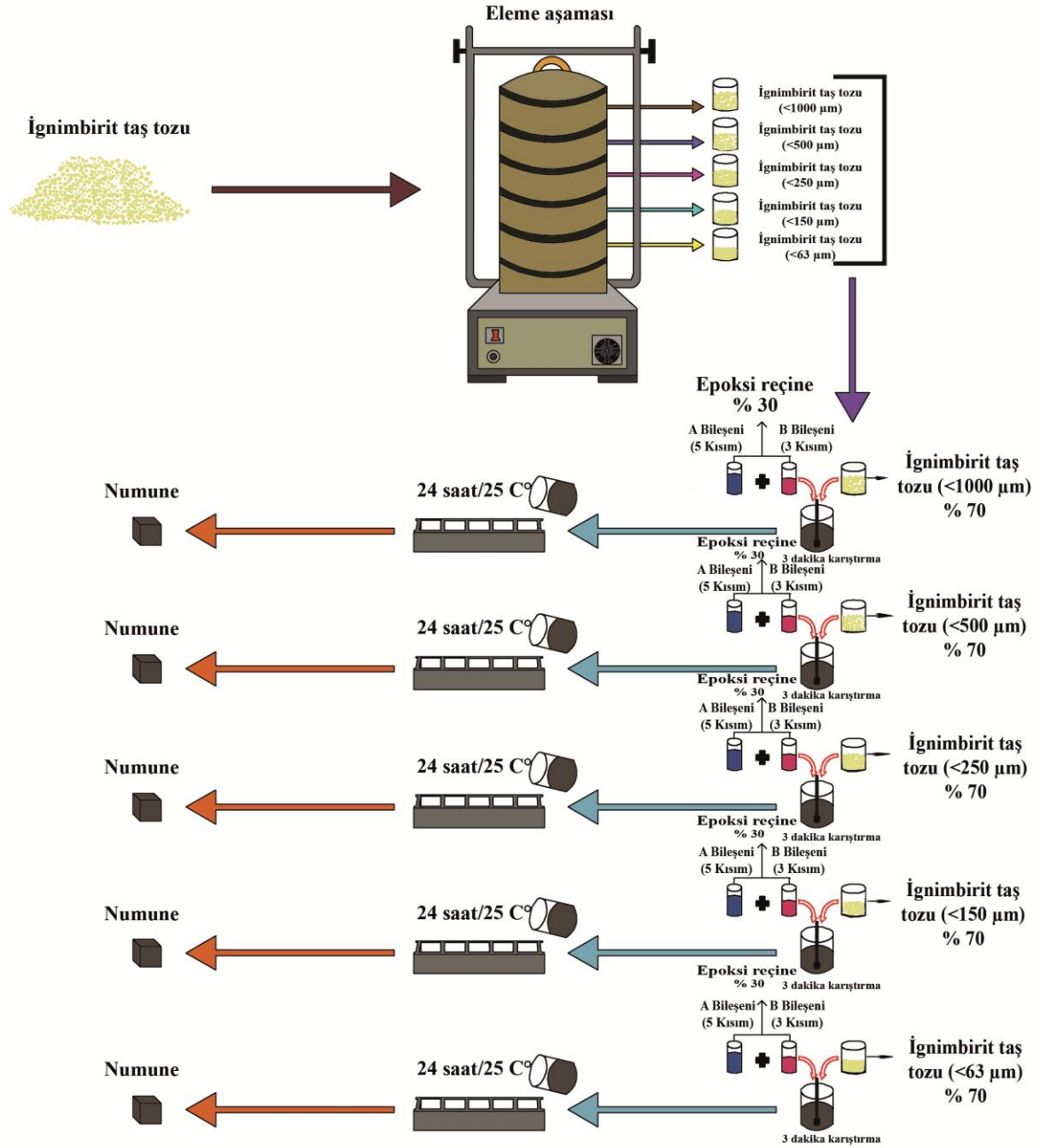
2.2. Epoksi Matrisli Kompozit Numunelerin Hazırlanması

Taş tozu atıklarının birikmesini azaltmak için mümkün olduğu kadar epoksi matrisinin yüksek oranda İTT içermesine özen gösterilmiştir. Ayrıca ticari ürün olan reçinenin üretimi taş tozu atıklarına göre daha maliyetli olduğundan minimum reçine içeriğine sahip kompozitlerin geliştirilmesi için ön çalışmalar yapılmıştır. Yapılan ön çalışmalar neticesinde, kompozitte yapı bütünlüğü sağlayan en yüksek İTT oranının ağırlıkça % 70 olduğu tespit edilmiştir. Ancak İTT oranı % 70'in üzerindeki kompozitlerde matris miktarı, numunelerin yapı bütünlüğünü korumada yetersiz olduğundan, numunelerde parçalanma gözlemlenmiştir. Bu nedenle ER/İTT kompozit numunelerinin hazırlanması için Şekil 2 ve Tablo 3' de görüldüğü gibi ağırlıkça % 30 oranında epoksi matrisi ve

% 70 oranında <63 µm büyüklüğüne sahip İTT'ler bir kaba konulduktan sonra üç dakika boyunca elle karıştırılmıştır. Bu karışımda epoksi matrisi, üretici firmanın tavsiye ettiği 5:3 karışım oranına göre hazırlanmıştır. Bileşenleri karıştırmadan önce, 5 kısım reçineye 3 kısım sertleştirici ilave edilmiştir. Daha sonra oluşan karışım üç dakika kadar tekrar karıştırılmış ve 20x20x20 mm boyutlarında polimetil metakrilat (PMMA) kalıbına dökülmüştür. Epoksi malzemeleri üreten firma sertleşme süresini 25°C'de 24 saat belirttiği için, PMMA kalıbındaki karışımlar bu süre boyunca bekletilerek sertleşmesi sağlanmıştır. Bu süre sonunda yeterince kuruyan karışım, kalıptan çıkarılarak EMK63 olarak isimlendirilen kübik şeklinde kompozit numune elde edilmiştir. Aynı işlem süreçleri epoksi matrisine, <150 µm, <250 µm, <500 µm ve <1000 µm tane büyüklüklerine sahip ignimbirit taş tozlarının ilavesi ile tekrarlanarak

sırasıyla EMK150, EMK250, EMK500 ve EMK1000 kompozit numuneler elde edilmiştir. Bu kompozit numunelerin mekanik özelliklerinin ASTM D695 (ASTM-D695-10, 2010) basınç testi standardına göre test edilebilmesi ve kompozit numunelerin ıslanabilirlik derecelerinin temas açısı ölçümüyle belirlenebilmesi için

20x20x20 mm boyutlarında kalıp kullanılmıştır. Polimer kompozitlerin üretim işlemlerine ait süreçler Şekil 2’de kısaca özetlenmiştir. Deney çalışmalarında kullanılan kalıbın ve kompozit numunelerin fotoğrafları Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Polimer kompozit numunelerin üretim aşamaları.

Tablo 3. Deney çalışması kapsamında hazırlanan polimer kompozitlerin kısaltmaları ve içerikleri

Epoksi Matrisli Kompozitlerin (EMK) Kısaltmaları	Reçine/İTT Karışım Oranı	İTT Boyutları (μm)
ER	100/0	—
EMK63	30/70	<63
EMK150	30/70	<150
EMK250	30/70	<250
EMK500	30/70	<500
EMK1000	30/70	<1000



Şekil 3. Deney çalışmalarında kullanılan kalıbın ve kompozit numunelerin fotoğrafları.

2.3. Karakterizasyon ve Deneysel Ölçümler

Kübik şeklinde kompozit numunelerin dayanımını belirlemek için basınç testi yapılmıştır. Kompozit numune türlerinin her birinden 5'er adet hazırlanarak (SHIMADZU AGS-X, Japonya) cihaza yerleştirilmiştir. Daha sonra numuneler 0,5 mm/dk. hızında ASTM D695 (ASTM-D695-10, 2010) standardına göre mekanik özellikleri test edilmiştir. İTT tane boyutunun büyüklüğündeki değişime bağlı olarak, epoksi matrisinin yapışma özellikleri ve kompozitlerin morfolojik yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) (ZEISS EVO LS10, Almanya) ile incelenmiştir. Kompozitlerin suyla ıslatılmasını nicel olarak belirlemek için temas açısı ölçümleri Attension Theta Lite Optical Tensiometer (Biolin Scientific, İsveç) cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz tarafından her bir numunenin yüzeyine bir damla su damlatılmıştır. Temas eden suyun yüzey gerilimi ile katı yüzeyi arasında belli miktarda açı oluşmaktadır. Bu açının büyüklüğündeki değişimler kompozit numunelerin ıslanabilirlik dereceleri hakkında önemli bilgiler vermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. İTT Tane Büyüklüğünün Dağılımı

İTT tane büyüklüğünün dağılımı Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4'deki verilere göre, taneciklerin yaklaşık % 35'i 63 μm boyutunun altında iken, taneciklerin yaklaşık % 10'dan azının ise 1000 μm boyutundan daha büyük olduğu belirlenmiştir. Literatürde atık taş tozunun granülometrik analizi ile ilgili çeşitli araştırmacılar tarafından çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Örneğin Ari vd. (2024) tarafından yapılan araştırmada, atık Sille taş tozu taneciklerinin yaklaşık yarısı 63 μm altı boyutunda iken, taneciklerin % 10'dan azının ise 500 μm boyutundan daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Vijayalakshmi vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, atık granit tozunun % 55'inin 150 μm altında ve taneciklerin % 31'inin 45 μm 'den küçük olduğu

belirlenmiştir. Yurt vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, atık bazalt tozunun ortalama tanecik boyutu 50 μm olarak bulunmuştur. Dolayısıyla İTT tane büyüklüğünün dağılımında iri tanecik oranı az, ince tanecik oranının yüksek olması, literatürdeki ilgili çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

3.2. Kompozitlerin SEM Analizi Bulguları

ER, EMK63, EMK150, EMK250, EMK500 ve EMK1000 numunelerine ait SEM görüntüleri Şekil 5'de gösterilmiştir. Saf epoksinin, tüm EMK numuneleriyle karşılaştırıldığında, pürüzsüz yüzeye sahip olduğu görülmüştür. Ancak epoksi matrisine İTT eklenmesiyle kompozitlerde pürüzlü yüzeyler meydana gelmiştir. Pürüzlü yüzeylerin oluşması, reçine ile taş tozu parçacıkları arasındaki bağları göstermektedir (Heriyanto vd., 2019). Kompozitlerin yüzeylerinin bazı bölgelerindeki; gözenekler, aglomerasyonlar, boşluklar, küçük oyuklar ve mikro çatlaklar gibi kusurları oluşturması, reçine ve taş tozu arasındaki bağların zayıf olduğunu göstermektedir (Ari, 2024). Ayrıca taş tozunda boyut büyüklüğünün artmasıyla kompozitlerin yüzeylerinde aglomerasyonların sayısı ve büyüklüğü artmıştır (Şekil 5b-f). Kompozitlerde meydana gelen aglomerasyonlar, reçine ile taş tozu arasında ara yüzey yapışmasını zayıflatmaktadır (Ari, 2024; Gonçalves vd., 2014). Bu aglomerasyon EMK'nın mukavemetinin bozulmasına neden olmaktadır.

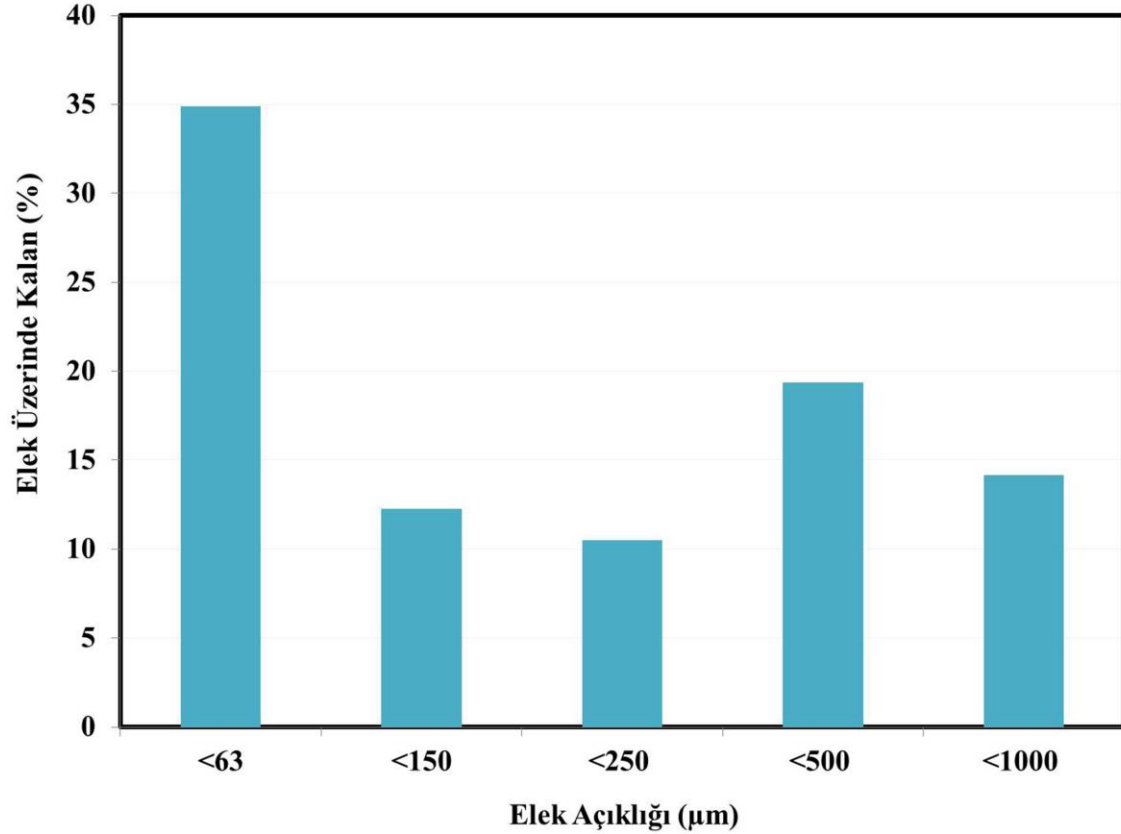
3.3. Kompozitlerin Basınç Testinin Bulguları

Kompozit numunelerin ve ignimbirit taşının basınç dayanımı Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, ER/İTT kompozitlerin ortalama basınç dayanımlarının değerleri 15,55 MPa ile 51,24 MPa arasında değişmektedir. Kompozitler arasında en yüksek ortalama basınç dayanımı 51,24 MPa değeri ile EMK63 numunesinde elde edilmiştir. Bu sonuç, epoksi matrisine <63 μm büyüklüğüne sahip İTT eklendiğinde, matris ile dolgu arasında etkileşimin güçlü olduğunu göstermektedir. Ancak tanecik boyutu her ne olursa olsun tüm kompozitlerin basınç dayanım değerleri

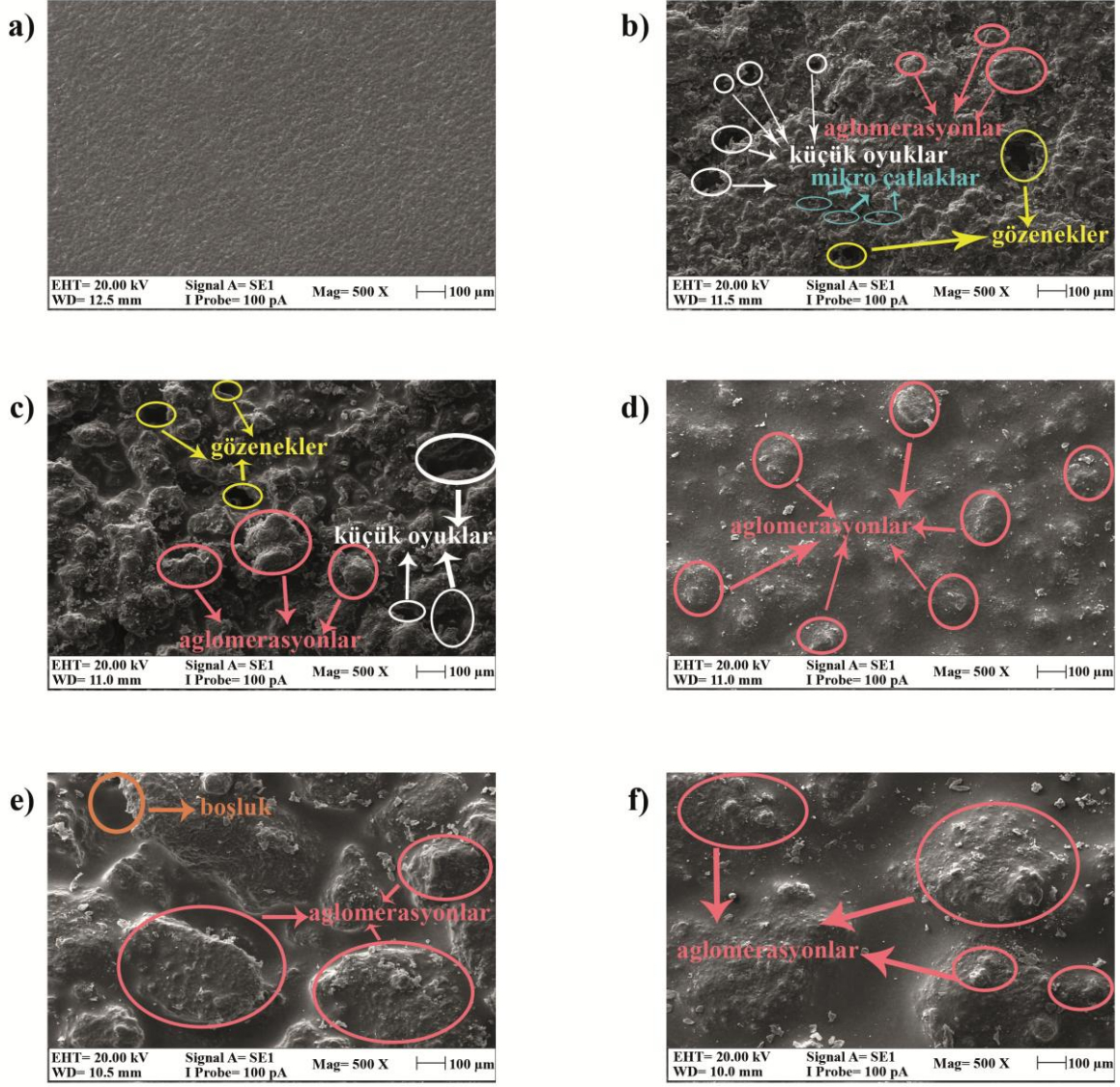
İgnimbirit taşının basınç dayanımı değerlerine göre, % 167,64 ile % 781,93 kadar daha yüksek olduğu görülmektedir. İTT'lerin boyutu 63 µm üstüne çıkarıldığında elde edilen kompozitlerin basınç değerlerinin EMK63 kompozitinin basınç dayanım değerlerine göre azaldığı tespit edilmiştir. Örneğin hazırlanan EMK150, EMK250, EMK500 ve EMK1000 kompozitlerinin basınç değerleri, EMK63 numunesinin basınç dayanım değerine göre sırasıyla yaklaşık % 34,31, % 34,97, % 61,14 ve % 69,65 azalış göstermiştir. İTT'lerin boyutu 63 µm üstüne çıkarıldığı zaman matris ile etkileşime girebilen taneciklerin yüzey alanının azalması, kompozitlerin basınç dayanım değerlerinin azalma eğilimi göstermesine neden olmuştur. ER/İTT kompozitlerinin basınç dayanım değerleri ile saf ER'nin basınç dayanım değeri karşılaştırıldığında, İTT'lerin boyutu 250 µm kadar elde edilen kompozitlerin basınç değerleri, saf ER'nin basınç dayanım değerine göre % 36,11-% 109,31 artış gösterdiği görülmektedir. Ancak İTT'lerin boyutu 250 µm üstüne çıkarıldığı zaman ise elde edilen EMK500 ve EMK1000 kompozitlerin basınç dayanım değerlerinin, saf ER'nin basınç dayanım değerine göre sırasıyla yaklaşık % 18,67 ve % 36,48 azalış göstermiştir (Şekil 6). Basınç dayanımının azalması, kompozitlerin yüzeyinde büyük miktarda oluşan aglomerasyonlar ve boşluklar ile açıklanabilir (Şekil 5e,f).

Literatürde polimer matrisli üretilen kompozitlerin

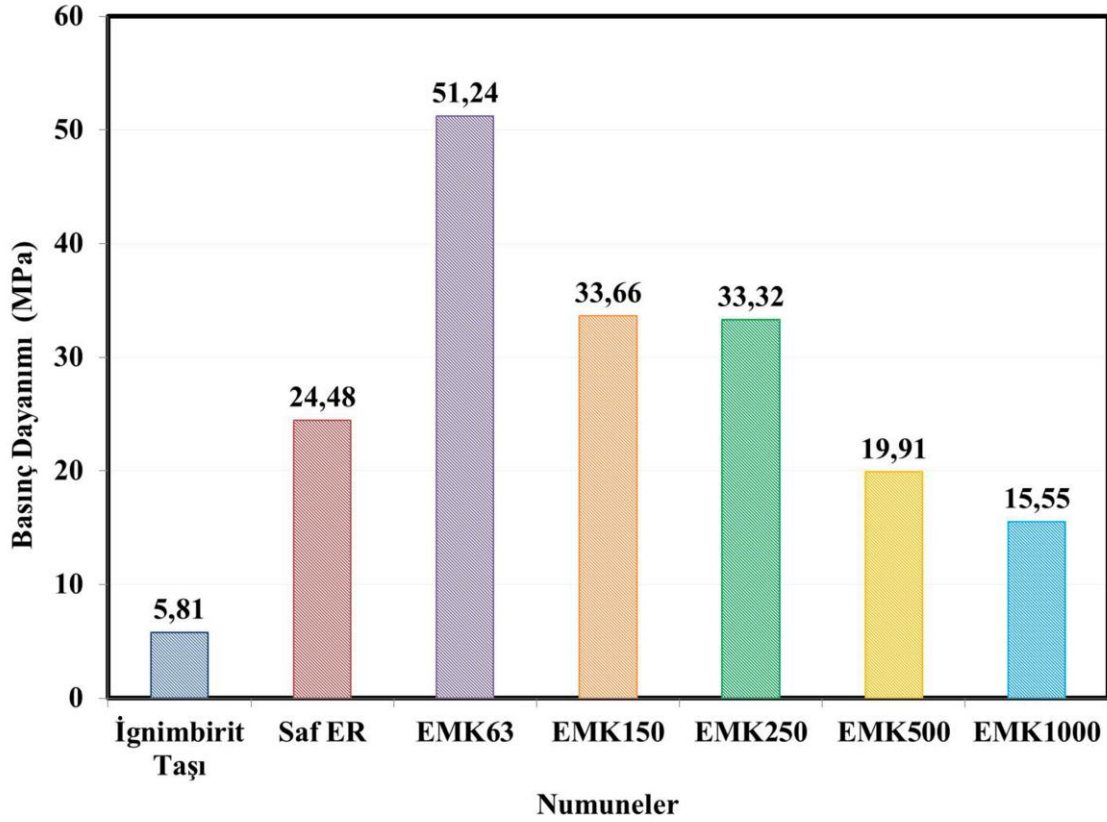
basınç dayanımlarıyla ilgili çeşitli araştırmacılar tarafından çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Örneğin, Nana vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, polimer matris ile 63, 80, 125 ve 200 µm'lik granit ve pegmatit parçacıklarıyla üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. 125-200 µm arasında tane boyutuna sahip granit ve pegmatit parçacıkları eklendiğinde, kompozitlerin basınç dayanımının arttığı belirlenmiştir. Awad vd. (2020) tarafından yapılan araştırmada, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) matris ile 75, 440, 701 ve 2300 µm'lik mermer ve granit parçacıklarıyla kompozitler üretilmiş ve bu kompozitlerde tanecik boyutunun artmasıyla, mekanik özelliklerinin azaldığı belirlenmiştir. Cota vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Portland çimentosu ve epoksi reçineyle oluşturulan polimerik faz ile 1,41-0,42 mm ve 0,42-0,15 mm aralığında steatit tanecik boyutlarıyla üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Polimer matrise 1,41-0,42 mm büyüklüğüne sahip steatit tanecikler eklendiğinde elde edilen kompozitin basınç değeri, polimer matrise 0,42-0,15 mm aralığına sahip steatit tanecikler eklendiğinde, elde edilen kompozitin basınç değerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kompozitlere daha büyük steatit taneciklerinin eklenmesi sonucunda, hacim yoğunluğunun arttığı ve basınç artışına neden olduğu gösterilmiştir.



Şekil 4. İTT'nin granülometrik analizi.



Şekil 5. Kompozit numunelerin SEM görüntüleri (Mag.: 500 X): (a) ER, (b) EMK63, (c) EMK150, (d) EMK250, (e) EMK500, (f) EMK1000.



Şekil 6. Kompozit numunelerin ve ignimbirit taşının basınç dayanımı.

3.4. Kompozitlerin İslanabilirlik Derecelerinin Bulguları

İklimsel faktörler veya nem etkisiyle oluşan suyun yapı malzemelerine nüfuz etmesiyle binaların bozulmaları hızlanmaktadır (Dinçer ve Bostancı, 2019; Erguler, 2009; İnce, 2021; Korkanç ve Solak, 2016). Bu nedenle kompozitlerin suya karşı dayanıklılığını araştıran parametrelerden biri yüzey ile su arasındaki temas açısının ölçümünün yapılmasıdır (Wu vd., 2021; Zielecka ve Bujnowska, 2006). Temas açısı ölçümü ile kompozitlerin ıslanabilirlik derecelerinin değerlendirilmesine imkân sağlanmaktadır. Cihaz tarafından incelenen yüzey üzerine bir damla su bırakılır. Suyun yüzey üzerinde yaptığı temas açısının büyüklüğüne göre, incelenen yüzeyler hidrofilik veya hidrofobik olarak sınıflandırılır. Genellikle su temas açısı, 90°'nin altındaki yüzeyler hidrofilik, su temas açısı 90°'nin üzerindeki yüzeyler ise hidrofobik olarak kabul edilir. Şekil 7'de kompozit numunelerin ve ignimbirit taşının temas açılarının ölçümündeki su damlacıklarını göstermektedir. Kompozitlerde su damlacıkları yüzeyde durabilirken, ignimbirit taşının su damlacığını kolayca emdiği görülmektedir. İgnimbirit taşının su temas açısı 8,5° ve saf ER'nin su temas açısı 81,9° olması yüzeylerin hidrofilik olduğunu göstermektedir. Tüm kompozitlerin su temas açılarının 90,2° ile 102,9° arasında olduğu görülmektedir. Bu, kompozitlerin yüzeyinin hidrofobik durum sergilediğini göstermektedir (Şekil 8).

Şekil 8'deki verilere göre, epoksi matrisli kompozitlerin su temas açısı (90,2°-102,9°) değerlerinin saf ER'nin su

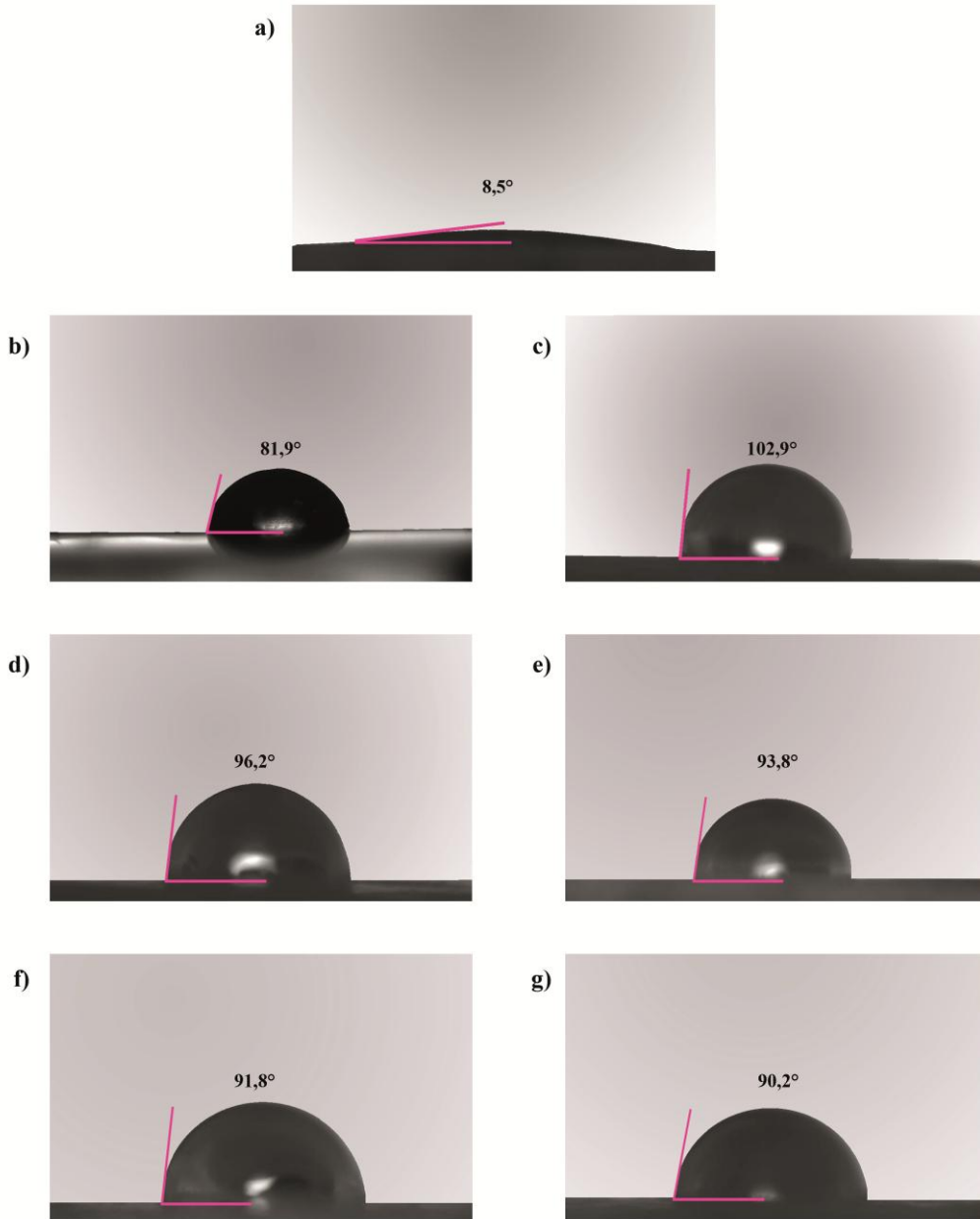
temas açısı 81,9°'dan daha yüksektir. Bu durum, epoksi matrisine İTT ilavesinin kompozitlerin ıslanabilirliğini azaltabileceğini göstermektedir. Kompozitler arasında en yüksek su temas açısı 102,9° değeri ile EMK63 numunesinin olduğu belirlenmiştir. Bu değer, ignimbirit taşının su temas açısı 8,5°'den çok daha yüksektir. İTT'lerin boyutu 63 µm üstüne çıkarıldığı zaman ise elde edilen kompozitlerin su temas açıları, EMK63 kompozitinin su temas açısına göre azaldığı belirlenmiştir. Örneğin hazırlanan EMK150, EMK250, EMK500 ve EMK1000 kompozitlerinin su temas açısı değerleri sırasıyla 96,2°, 93,8°, 91,8° ve 90,2° azalma eğilimi göstermiştir. Ayrıca bu, kompozitlerdeki İTT tanecik boyutunun büyüklüğü 63 µm üstüne çıkarıldığında kompozitlerin hidrofobikliğin azaldığını göstermektedir. Bunun nedeni, tanecik boyutu büyüklüğünün artması matris ile İTT arasında kimyasal etkileşimin azalmasıyla ilgilidir. Matris ile dolgu arasında yapışma gücündeki azalma, kompozitlerin su moleküllerine karşı dayanımını azaltır.

Literatürde polimer matrisli kompozitlerin ıslanabilirlik dereceleriyle ilgili çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Örneğin, Ari vd. (2024) tarafından yapılan araştırmada, Sille taş tozu ve polyester matrisle elde edilen kompozitin temas açısı 62,15° değerinin Sille taşının temas açısı 24,53° değerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Song vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, atık mermer tozu ilaveli polimer kompozitler üretilmiş ve bu kompozitlerde mermer tozunun artmasıyla, kompozitlerin ıslanabilirliğini azalttığı

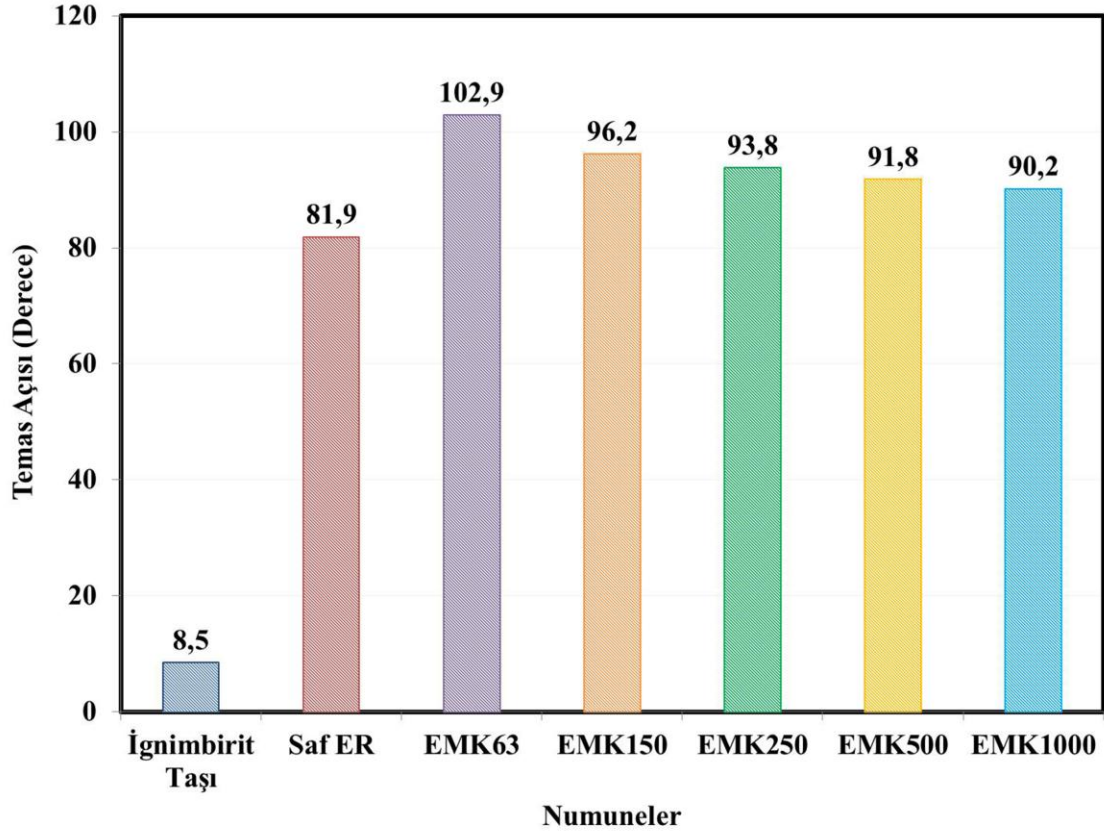
göstermiştir. Zhang vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, silika mikro tozu (SMP) ile titanat bağlayıcı madde KTTO ve polivinil klorür (PVC) kullanarak üretilen kompozitlerin su temas açısı 134° değerinde olduğu ve SMP numunesine göre daha hidrofobik yüzeyler olduğu tespit edilmiştir. Polimer matris ile SMP arasında kimyasal reaksiyon hidrofobik bir film tabaka oluşturmasına ve kompozitlerin ıslanabilirliğinde önemli azalmaya neden olmuştur. Dolayısıyla epoksi matrisli kompozitlerde hidrofobik bariyer oluşturarak suyun uzaklaştırılması, literatürdeki ilgili çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca polimer matris içindeki dolgu maddelerinin tanecik boyutunun büyüklüğüne bağlı olarak, kompozitlerin ıslanabilirlik derecelerini ölçen literatürde yeterli sayıda çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bundan dolayı bu araştırma kapsamında farklı tane büyüklüğüne sahip

ignimbirit taş tozu ($63 \mu\text{m}$, $150 \mu\text{m}$, $250 \mu\text{m}$, $500 \mu\text{m}$, $1000 \mu\text{m}$) ve epoksi matris kullanılarak üretilen kompozitler için ölçülen temas açısı değerlerinin literatüre önemli bir katkı sağlayacağı beklenmektedir.

EMK63 kompozitinin diğer kompozitlere göre matris içindeki dolgu maddelerinin tanecik boyutunun büyüklüğünün ve dağılım şeklinin homojen olması hem kompozitin basıncının artmasında hem de kompozitin daha fazla hidrofobik yüzey olmasını sağlamıştır. Epoksi reçine ve İTT arasındaki kimyasal etkileşim, $63 \mu\text{m}$ tanecik büyüklüğünde yüksek dayanıma sahip kompozit olduğunu göstermektedir. $63 \mu\text{m}$ 'nin üzerindeki tanecik büyüklüğüne sahip EMK150, EMK250, EMK500 ve EMK1000 kompozitlerinde basınç dayanımı ve hidrofobikliğinde sürekli azalma, tanecik boyutunun artmasıyla tanecik yüzeyinin azalmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 5-Şekil 8).



Şekil 7. Kompozit numunelerin ve ignimbirit taşının temas açılarının ölçümündeki su damlacıkları: (a) ignimbirit taşı, (b) saf ER, (c) EMK63, (d) EMK150, (e) EMK250, (f) EMK500, (g) EMK1000.



Şekil 8. Kompozit numunelerin ve ignimbirit taşının temas açıları.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, farklı tane büyüklüğüne sahip ignimbirit taş tozu (63 μm , 150 μm , 250 μm , 500 μm , 1000 μm) ve epoksi matris kullanılarak kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerde tanecek büyüklüğüne bağlı olarak mekanik ve hidrofobik özelliklerindeki değişimin incelenmesine odaklanılmıştır. İTT'ler epoksi matrisin içerisine ağırlıkça % 70 oranında katılmıştır. Araştırmada <63 μm tanecek büyüklüğüne sahip İTT'lerin kullanılması ile elde edilen kompozitlerin mekanik ve hidrofobik açısından en yüksek dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu kompozitle 51 MPa'ya kadar yüksek basınç mukavemeti ve 102,9° su temas açısı değeri ile diğer kompozitler arasından teknik özellikleri açısından en iyi kompozit olduğu belirlenmiştir. Taş tozunda tanecek büyüklüğünün artması, taneciğin yüzey alanının azalmasına neden olduğundan kompozitlerde basınç dayanımının ve hidrofobikliğin sürekli azaldığı tespit edilmiştir. 63 μm üstünde tanecek büyüklüğüne sahip İTT'lerin kullanılması ile hazırlanan kompozitlerin mekanik ve hidrofobik özelliklerinin, ignimbirit taşına göre daha yüksek olmakla beraber meydana gelen aglomerasyonlar ve gözenekler nedeniyle EMK63'e ait mekanik ve hidrofobik özelliklerden daha düşüktür. EMK63 kompozitinin saf ER'ye göre mekanik ve hidrofobik özellikleri açısından daha iyi olmasının yanı sıra, ağırlıkça % 70 oranında İTT kullanılmasından dolayı yapılar da epoksi reçinenin kullanıldığı alanlara göre daha ekonomiktir. Ayrıca atık taş tozunun granülometrik analizinde, <63 μm tanecek büyüklüğü toplam atık

malzemenin % 35'ini oluşturması ve bu tanecek büyüklüğüyle üretilen EMK63 kompozitinin diğer tanecek boyutlarıyla üretilen kompozitlere (EMK150, EMK250, EMK500, EMK1000) göre daha ekonomik olmasını sağlamaktadır.

Sonuç olarak, üstün mekanik ve hidrofobik özellikleri olması nedeniyle EMK63 kompozitinin, binalardaki su emme problemini azaltmak üzere çeşitli uygulamalar için önerilmektedir. Ayrıca inşaat sektöründe çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere epoksi matrisi yerine polipropilen, poliüretan ve fenolik gibi farklı polimer matrisler, farklı oranlarda ve tanecek büyüklüğüne sahip ignimbirit taş tozu kullanılarak farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip yeni kompozitler üretilebilir. Yeni kompozitler; atık ignimbirit taş tozunun değerlendirilmesine, ekonomiye kazandırılmasına ve inşaat sektöründe epoksi reçinenin kullanıldığı alanlara alternatif malzeme olarak katkı sağlayabilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	A.C.A.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Anonim. 2023. İstanbul madenler ve metaller ihracatçıları ve birliği, maden sektörü görünümü. URL: <https://imib.org.tr/wp-content/uploads/2023.pdf> (erişim tarihi: 9 Haziran 2024).
- Arı AC. 2024. Nevşehir taşlarıyla inşa edilen tarihi yapıların restorasyonuna yönelik polyester matris ve taş tozu kullanılarak üretilen kompozit harçlarda tane boyutunun dayanımına etkisinin araştırılması. *Online J Art Des*, 12(2): 144-157.
- Ari AC, Tosun M, Eker YR. 2024. Polymer matrix and stone powder based composite mortar for the restoration of sille stone structures. *Stud Conserv*, 69(1): 50-57.
- ASTM-D695-10. 2010. Standard test method for compressive properties of polymer matrix composite materials. American Society for Testing and Materials, USA, pp: 1-3.
- Awad AH, El-Gamasy R, Abd El-Wahab AA, Abdellatif MH. 2020. Assessment of mechanical properties of HDPE composite with addition of marble and granite dust. *Ain Shams Eng J*, 11(4): 1211-1217.
- Aydar E, Schmitt AK, Çubukçu HE, Akin L, Ersoy O, Sen E, Duncan RA, Atici G. 2012. Correlation of ignimbrites in the central Anatolian volcanic province using zircon and plagioclase ages and zircon compositions. *J Volcanol Geotherm Res*, 213-214: 83-97.
- Bilgin N, Yeprem HA, Arslan S, Bilgin A, Günay E, Marşoğlu M. 2012. Use of waste marble powder in brick industry. *Constr Build Mater*, 29: 449-457.
- Carvalho EAS, Vilela NdF, Monteiro SN, Vieira CMF, Silva LCd. 2018. Novel artificial ornamental stone developed with quarry waste in epoxy composite. *Mater Res*, 21: e20171104.
- Cota FP, Alves RAA, Panzera TH, Strecker K, Christoforo AL,

- Borges PHR. 2012. Physical properties and microstructure of ceramic-polymer composites for restoration works. *Mater Sci Eng A*, 531: 28-34.
- Çelikten S. 2021. Mechanical and microstructural properties of waste andesite dust-based geopolymer mortars. *Adv Powder Technol*, 32(1): 1-9.
- Çiflikli M. 2020. Hydrothermal alteration-related kaolinite/dickite occurrences in ignimbrites: an example from Miocene ignimbrite units in Avanos, Central Turkey. *Arabian J Geosci*, 13: 1044.
- Dinçer İ, Bostancı M. 2019. Capillary water absorption characteristics of some Cappadocian ignimbrites and the role of capillarity on their deterioration. *Environ Earth Sci*, 78: 7.
- Doan TTL, Brodowsky HM, Gohs U, Mäder E. 2018. Re-use of marble stone powders in producing unsaturated polyester composites. *Adv Eng Mater*, 20(7): 1701061.
- Erguler ZA. 2009. Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs. *Eng Geol*, 105(3-4): 186-199.
- Ertek N, Öner F. 2008. Mineralogy, geochemistry of altered tuff from Cappadocia (Central Anatolia) and its use as potential raw material for the manufacturing of white cement. *Appl Clay Sci*, 42(1-2): 300-309.
- Gonçalves JAV, Campos DAT, Oliveira GDJ, Rosa MdLdS, Macêdo, MA. 2014. Mechanical properties of epoxy resin based on granite stone powder from the Sergipe fold-and-thrust belt composites. *Mater Res*, 17(4): 878-887.
- Heriyanto, Pahlevani F, Sahajwalla V. 2019. Effect of different waste filler and silane coupling agent on the mechanical properties of powder-resin composite. *J Clean Prod*, 224: 940-956.
- İnce İ. 2021. Relationship between capillary water absorption value, capillary water absorption speed, and capillary rise height in pyroclastic rocks. *Min Metall Explor*, 38: 841-853.
- Kazancı N, Gürbüz A. 2014. Natural stones qualified as geological heritage in Turkey. *Geol Bull Turk*, 57(1): 19-44.
- Korkanç M, Solak B. 2016. Estimation of engineering properties of selected tuffs by using grain/matrix ratio. *J Afr Earth Sci*, 120: 160-172.
- Korkanç M. 2007. The effect of geomechanical properties of ignimbrites on their usage as building stone: Nevşehir stone. *J Geol Eng*, 31(1): 49-60.
- Mathur VK. 2006. Composite materials from local resources. *Constr Build Mater*, 20(7): 470-477.
- Nana A, Kamseu E, Akono A-T, Ngouné J, Djobo JNY, Tchakoute, HK, Bignozzi MC, Leonelli C. 2021. Particles size and distribution on the improvement of the mechanical performance of high strength solid solution based inorganic polymer composites: a microstructural approach. *Mater Chem Phys*, 267: 124602.
- Ngayakamo B, Bello A, Onwualu AP. 2022. Valorization of granite waste powder as a secondary flux material for sustainable production of ceramic tiles. *Clean Mater*, 4: 100055.
- Piper JDA, Koçbulut F, Gürsoy H, Tatar O, Viereck L, Lepetit P, Roberts AP, Akpınar Z. 2013. Palaeomagnetism of the Cappadocian Volcanic Succession, Central Turkey: Major ignimbrite emplacement during two short (Miocene) episodes and Neogene tectonics of the Anatolian collage. *J Volcanol Geotherm Res*, 262: 47-67.
- Sahu R, Gupta MK, Chaturvedi R, Tripaliya SS, Pappu A. 2020. Moisture resistant stones waste based polymer composites with enhanced dielectric constant and flexural strength. *Compos B Eng*, 182: 107656.
- Savadkoobi MS, Reisi M. 2020. Environmental protection based sustainable development by utilization of granite waste in

- Reactive Powder Concrete. *J Clean Prod*, 266: 121973.
- Silva TLDC, Carvalho EAS, Barreto GNS, da Silva TBP, da Cunha Demartini TJ, Vieira CMF. 2023. Characterization of artificial stone developed with granite waste and glass waste in epoxy matrix. *J Mater Res Technol*, 26: 2528-2538.
- Singh S, Nagar R, Agrawal V. 2016. Performance of granite cutting waste concrete under adverse exposure conditions. *J Clean Prod*, 127: 172-182.
- Song W, Wang Q, Qu L, Li X, Xu S. 2022. Study of water absorption and corrosion resistance of the mortar with waste marble powder. *Constr Build Mater*, 345: 128235.
- Vijayalakshmi M, Sekar ASS, Ganesh prabhu G. 2013. Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste. *Constr Build Mater*, 46: 1-7.
- Wu X, Yang F, Lu G, Zhao X, Chen Z, Qian S. 2021. A breathable and environmentally friendly superhydrophobic coating for anti-condensation applications. *Chem Eng J*, 412: 128725.
- Yurdakul M. 2020. Natural stone waste generation from the perspective of natural stone processing plants: An industrial-scale case study in the province of Bilecik, Turkey. *J Clean Prod*, 276: 123339.
- Yurt Ü, Çelikten S, Atabey İl. 2024. Post-fire residual mechanical and microstructural properties of waste basalt and glass powder-based geopolymer mortars. *J Build Eng*, 94: 109941.
- Zhang Y, Ding C, Zhang N, Chen C, Di X, Zhang Y. 2021. Surface modification of silica micro-powder by titanate coupling agent and its utilization in PVC based composite. *Constr Build Mater*, 307: 124933.
- Zielecka M, Bujnowska E. 2006. Silicone-containing polymer matrices as protective coatings: Properties and applications. *Prog Org Coat*, 55(2): 160-167.