

## YÜZEY KORUYUCU REÇİNEİNİN KAPİLER SU EMME ÖZELLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ: NEVŞEHİR İGNİMBİRİTİ ÖRNEĞİ

Ogün Ozan VAROL \*

Alınma: 06.08.2024; düzeltme: 04.11.2024; kabul: 06.02.2025

**Öz:** Doğal taşların su emme özelliklerinin yanı sıra kılcal su emme özellikleri de bozunma üzerinde oldukça etkilidir. Kılcal su emme derecesi, doğal taşların gözenek boyutu ve gözeneklerin birbirleriyle bağlantısıyla doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, Nevşehir ilinde bulunan sarı (SR), bej (BJ) ve gülkurusu (GK) olmak üzere üç farklı renk ve dokuya sahip ignimbirit kullanılmıştır. İlk olarak, örneklerin kapiler su emme katsayıları su ve  $MgSO_4$  çözeltisi içerisinde belirlenmiştir. Daha sonra, ignimbiritlere yüzey kaplama malzemesi uygulanmış ve aynı koşullarda kapiler su emme katsayıları tekrar belirlenmiştir. İgnimbiritlerin malzeme özelliklerini belirlemek için kimyasal, mineralojik-petrografik analizler ve fizikomekanik deneyler yapılmıştır. Çalışma neticesinde SR ignimbiritinin su içerisinde kılcal su emme kapasitesi  $114,03 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$ , magnezyum sülfat çözeltisi içerisinde  $101 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  olarak tespit edilmiştir. BJ ignimbiritlerinin su içindeki kılcal su emme potansiyeli  $115,71 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  olarak belirlenirken,  $MgSO_4$  içeren çözeltide  $112,16 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  olarak belirlenmiştir. İgnimbiritlere yüzey kaplama reçinesi uygulandıktan sonra, SR ignimbiritinin su içerisinde kılcal su emme kapasitesi  $6,54 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  ve  $MgSO_4$  çözeltisi içerisinde  $0,07 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  olarak belirlenmiştir. BJ ignimbiriti için su içinde kılcal su emme kapasitesi  $0,08 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  ve  $MgSO_4$  çözeltisi içerisinde  $1,27 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, GK ignimbiriti için su içinde kılcal su emme kapasitesi  $0,08 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  ve  $MgSO_4$  çözeltisi içerisinde  $0,79 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  olarak ölçülmüştür. Yüzeyleri koruyucu kimyasal ile kaplanan ignimbirit örneklerinde kılcal su emme özelliklerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İgnimbirit, Kılcal su emme, Yüzey kaplama reçinesi, Kapadokya.

### Investigation of the Effect of Surface Protective Resin on the Capillary Water Absorption Properties of Ignimbrites: A Case Study of Nevşehir Ignimbrite

**Abstract:** In this study, three different colors and textures of ignimbrite, namely yellow (SR), beige (BJ), and pinkish-grey (GK), were utilized in Nevşehir province. Initially, the capillary water absorption coefficients of the samples were determined in water and  $MgSO_4$  solution. Subsequently, a surface coating material was applied to the ignimbrites, and under the same conditions, the capillary water absorption coefficients were reassessed. Chemical, mineralogical-petrographic analyses, and physico-mechanical experiments were conducted to determine the material properties of the ignimbrites. As a result of the study, the capillary water absorption capacity of SR ignimbrite was determined to be  $114.03 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in water and  $101 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in magnesium sulfate solution. While the capillary water absorption potential of BJ ignimbrites in water was determined as  $115.71 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$ , it was found to be  $112.16 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in the solution containing  $MgSO_4$ . After the application of surface coating resin to the ignimbrites, the capillary water absorption capacity of SR ignimbrite was determined as  $6.54 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in water and  $0.07 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in  $MgSO_4$  solution. The capillary water absorption capacity for BJ ignimbrite was determined as  $0.08 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in water and  $1.27 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in  $MgSO_4$  solution. Similarly, for GK ignimbrite, the capillary water absorption capacity was measured as  $0.08 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in water and  $0.79 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  in  $MgSO_4$  solution. It was observed that the capillary water absorption properties were significantly reduced in the ignimbrite samples coated with the protective chemical.

**Keywords:** Ignimbrite, Capillary water absorption, Surface coating resin, Cappadocia.

\* Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, TÜRKİYE  
İletişim Yazarı: Ogün Ozan VAROL (ogunozanvarol@yyu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

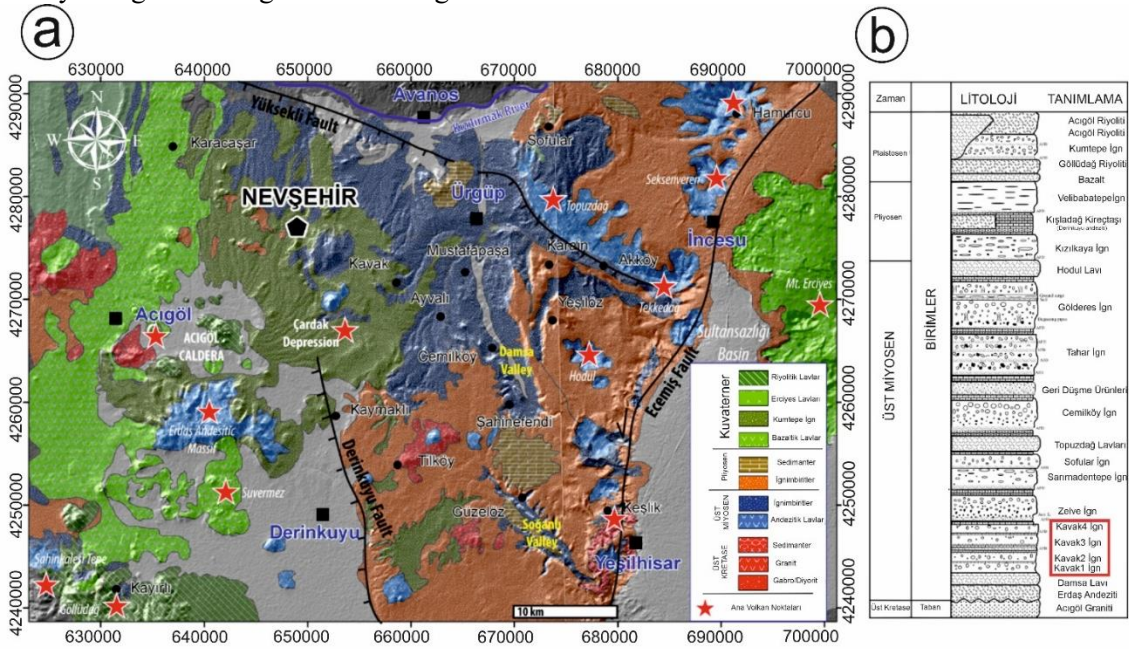
Doğal taşlar, geçmişten günümüze kadar yapısı ve sunduğu farklı renk skalası ile kendine farklı uygulama alanları bulmuştur. Doğal taşlar zamanla atmosferik etkilere maruz kalarak bozunmaya uğramaktadırlar. Doğal taşların bozunma mekanizmalarında suyun önemli bir rolü vardır (Mosquera vd., 2000). Suyun doğal taş içerisindeki hareketinin bilinmesi, doğal taşlarda meydana gelebilecek bozunmaları anlamak açısından büyük öneme sahiptir (Dinçer vd., 2012). Doğal taşlar yapı malzemesi olarak kullanıldığında, kapiler su emme kinetiği, gözeneklerin geometrisi ve birbirleriyle olan bağlantıları gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Doğal taşlar, yağmur ve yüzey suyu gibi faktörlerle temas ettiğinde kapilarite yoluyla suyu bünyelerine alırlar (Benavente vd., 2002; David vd., 1993; Leventis vd., 2000). Literatürde, birçok araştırmacı doğal taşlarda kapiler su emme mekanizmasını incelemiş ve kapiler su emmenin doğal taşların petrografik özellikleri ve içerdikleri gözenek yapıları ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Cueto vd., 2009; Çelik ve Kaçmaz, 2016; Çelik ve Yılmaz, 2018; Karagiannis vd., 2016; Nicholson, 2001). Özellikle şehirlerde endüstrileşmesinin artmasıyla birlikte, sanayiden kaynaklı kirlilikle birlikte atmosferik kirlilikte doğru orantılı olarak artmakta ve bu durum doğal taşların farklı yollarla bozunmasına neden olmaktadır. Doğal yapı taşlarındaki bozunmalar; çevresel faktörlere, antropojenik faktörlere ve bitki organizmalarının etkilerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu bozunma etkileri arasında çevresel koşullar önemli bir yere sahiptir. Su, doğal yapı taşlarının bozunmasında en önemli etkidir. Özellikle yüksek gözenekliliğe sahip doğal yapı taşlarında, su kapiler etkiyle yapıya girer ve bozunmaya neden olur (Çelik vd., 2019). Su, kapiler etkiyle doğal taşlara girdikten sonra, doğal taşın üst bölgelerine yükselir ve buharlaşma sonrasında tuz kristalleşmesine yol açabilir (Coussy, 2006). Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklarının yüksek olduğu bölgelerde, doğal taşın bünyesine giren tuz kristalleri, mevsimsel farklılıklardan kaynaklanan döngüler nedeniyle büyümeye meyilli olabilir. Gözeneklerde büyüyen tuz kristalleri doğal taşlarda mikro çatlaklar oluşturabilir. Tuz nedeniyle doğal taşlardaki bozunmanın derecesi, tuz kristalleri tarafından gözeneklerin ne kadar dolu olduğu ve bu kristaller tarafından uygulanan basınç miktarına bağlı olarak değişmektedir. (Derluyn vd., 2014; Thaulow ve Sahu, 2004). Literatürde de ignimbiritlerin bozunması ve bozunma mekanizmaları üzerine yürütülen birçok çalışma mevcuttur (Akın vd., 2016; Korkanç, 2013; Korkanç vd., 2021; Özvan vd., 2015; Topal ve Doyuran, 1997; Topal ve Sözmen, 2003; Tosunlar vd., 2018). Yapılan çalışmalar sonucunda, yüksek tarihi ve sanatsal değere sahip yapı taşlarının yüzeylerinin kapilarite etkisiyle su ve nemden dolayı bozulduğu belirlenmiştir (Dinçer vd., 2012; Erguler, 2009; Özdemir, 2002). Tarihi yapılarda kullanılan doğal taşların su emme özelliğinin azaltılması, yapının içinde oluşabilecek bozunmayı önlemek için önemli bir durumdur. Doğal taşların su emme özelliklerini azaltmak için reçine bazlı yüzey koruyucular tercih edilmektedir. Ayrıca literatürde, doğal yapı taşlarının yüzeylerinin çeşitli kimyasallar ile kaplanarak su emme özelliklerinin incelendiği çalışmalar da bulunmaktadır (Colangiuli vd., 2015; Gomes vd., 2017; Kılıç ve Gültekin, 2009; Sbardella vd., 2020; Tulliani vd., 2014).

Çalışma kapsamında Nevşehir ilinde bulunan ignimbiritlerin kapiller su emme potansiyeli ve davranışları hem suda hem de tuzlu suda ( $MgSO_4$ ) değerlendirilmiştir. Ayrıca, kapiler su emme deneyleri, ignimbiritlerin yüzeylerine koruyucu renksiz, silikon bazlı, su itici reçine sürülerek aynı koşullarda tekrar edilmiştir. Bu araştırmanın temel amacı, Nevşehir ilinde yaygın olarak kullanılan üç farklı ignimbirit çeşidinin kapiler su emme özelliklerini belirlemek ve yüzey koruyucu kimyasal kullanarak ignimbiritlerin yüksek kapiler su emme özelliklerini en az seviyeye indirerek, kapiler su emmeden kaynaklı meydana gelebilecek bozunmaları en az seviyeye indirgeyerek tarihi yapıların korunmasına katkı sağlamaktır.

## 2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Kapadokya bölgesi, Orta Anadolu Volkanik Bölgesi'nde (OAVB) piroklastik depozitler, karasal sedimanlar ve yerel lav akıntılarından oluşan benzersiz bir manzaraya sahiptir (Aydar vd.,

2012). Bölgenin jeolojik bileşimi çeşitli birimlerden oluşmaktadır. Orta Anadolu Volkanik Bölgesi'nin (OAVB) jeolojik bileşimi, Kretase dönemine dayanan granitik ve gabroyik formasyonlardan oluşan Pre-Neojen taban kayalarından oluşmaktadır. Ayrıca bölgede kırmızı çamurlar, kumtaşları ve konglomeralardan oluşan Neojen çökelleri de bulunmaktadır. Bölge, tuf tabakaları ile karakterize Neojen volkanosedimanter birimleri de içermektedir. Ayrıca, miyosen-holosen yaşlı ignimbiritler, andezitler ve bazaltlar gibi Kuvaterner döneme ait volkanik kayalar da mevcuttur. Aydar vd. (2012), Kapadokya bölgesinde, Orta Anadolu Volkanik Bölgesine ait Miyosen-Holosen yaşlı ignimbiritlerin stratigrafisini jeokronolojik veriler kullanarak belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Le Pennec vd. (1994) tarafından belirlenen terminolojiye uygun olarak, ignimbiritler, en yaşlı olandan en gence doğru stratigrafik sıralamalarıyla şu şekilde sıralanabilir: Kavak, Zelve, Sarımadentepe, Sofular, Cemilköy, Tahar, Gördeles, Kızılıkaya, Valibabatepe ve Kumtepe (Şekil 1). Aydar vd. (2012) tarafından yapılan bu özeti temel amacı, Kapadokya bölgesindeki ignimbirit stratigrafisini sunmaktır.



Şekil 1:

Çalışma alanının (a) detaylı jeolojik haritası, (b) Kapadokya bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafik dikey sütunu (Aydar vd., 2012)

Kavak ignimbiritleri, Şekil 1b'de gösterilen, Kapadokya Volkanik Bölgesi'ndeki en erken piroklastik çökelleri temsil etmektedir. Bu çökeller, birden fazla patlama olayını gösteren sedimanlarla iç içe geçmiştir. İgnimbiritler, Şekil 1b'de belirtildiği gibi Kavak-1, Kavak-2, Kavak-3 ve Kavak-4 olmak üzere dört farklı sekansta gelen püskürme ürünleridir. Özellikle, Kavak-1 alt birimi, pembe renkli ve püskürük zengini ters tabakalı akışlarıyla belirgindir ve üzerini örten Kavak-2 biriminden sedimanlarla ayrılmıştır. Kavak-2 birimi, lityum zengini akış çökellerini içeren tuf zengini tabakalar içerir. Kavak-3 alt biriminde ise, birkaç pembe renkli piroklastik zengini tabaka bir kül matrisi içinde konsolide edilmiştir ve bunun üzerine Kavak-4 birimi gelir. İgnimbirit, soluk pembe renkte ve bir kül zengini matris içinde yerleşmiş lityum parçaları içerir ve piroklastik akış çökellerini gösterir (Aydar vd., 2012; Dinçer ve Bostancı, 2019).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Kapadokya Volkanik Bölgesi'ndeki örnekleme alanı, önemli ve yaygın Üst Miyosen-Kuvaterner piroklastik çökellerle karakterizedir. Bu çökeller, parçalanmış volkanik malzemelerin tabakalarından oluşmaktadır. Özellikle Ürgüp formasyonu, dünya çapında peri bacaları olarak bilinen benzersiz jeolojik oluşumlarıyla dikkat çekmektedir. Bu formasyonu oluşturan kayalar, özellikle kolay kazılabilir olmaları nedeniyle Kapadokya'da bulunan kayadan oyma yapılar için iyi bir seçenektir (Dinçer ve Bostancı, 2019; Korkanç, 2007). Bu çalışma, Atabey (1989) tarafından Kavak üyesi olarak, Aydar ve diğ. (2012) tarafından Kavak-3 ve Kavak-4 üyesi olarak adlandırılan ignimbiritlerine odaklanmaktadır. Bu kaya birimleri, Kapadokya'da bulunan peri bacaları ve yeraltı şehirleri gibi önemli ve karakteristik jeolojik yapıların ana ev sahipleridir. Bu birimlere odaklanmak, bölgeyi şekillendiren jeolojik süreçler ve tarihin daha kapsamlı anlaşılmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada, Nevşehir'de binalarda yapı taşı olarak tercih edilen ignimbiritler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere ocaktan çıkarılan ignimbirit bloklarından, kesim atölyelerinde 70 x 70 x 70 mm<sup>3</sup> boyutlarında toplam 36 küp numune hazırlanmıştır. Kapiler su emme deneyleri için hazırlanan çözeltiye MgSO<sub>4</sub> tuzu kullanılmış ve tuz kristalizasyon standardında belirtildiği gibi ağırlıkça %14 tuz içeren çözelti hazırlanmıştır (TS EN 12370, 2001). Su itici kimyasal ürün olarak ticari olarak satışı yapılan Teknosil-W marka şeffaf, silikon bazlı ticari jel kullanılmıştır.

#### 3.2. Yöntem

Nevşehir ignimbiritlerinin kapiler su emme özelliklerinin yüzey koruyucu reçine ile değişimine yönelik deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Yüzey koruyucu reçine ignimbirit yüzeylerine fırça ile tek kat halinde uygulanmış ve kuruması için oda koşullarında 24 saatlik kurlenme süresine tabi tutulmuştur. İlk olarak, deneylerde kullanılan ignimbirit numunelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. İgnimbiritlerin kimyasal içeriğini belirlemek için X-ışınları Floresans spektroskopisi (XRF) analizleri, kristallografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesi için ise X-ışını kırınım (XRD) analizleri gerçekleştirilmiştir. İgnimbirit örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 1'de sunulan standartların önerileri doğrultusunda belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, ise ignimbirit numunelerinin su ve tuzlu içerisinde kapiler su emme potansiyelleri belirlenmiştir. İgnimbiritlerin su emme özelliklerini yüzeylerini koruyucu reçine ile kaplayarak azaltmak için her küp numunenin yüzeyine fırça yardımıyla yüzey koruyucu reçine uygulanmış ve jelin gözeneklere tamamen nüfuz etmesi için 48 saat beklenmiştir. Kapiler su emme deneyleri aynı ortamlarda hem yüzeyleri doğal halde bulunan ignimbirit numuneleri için hem de yüzey koruyucu reçine uygulanan numuneler için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

**Tablo 1. İgnimbirit örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan standartlar.**

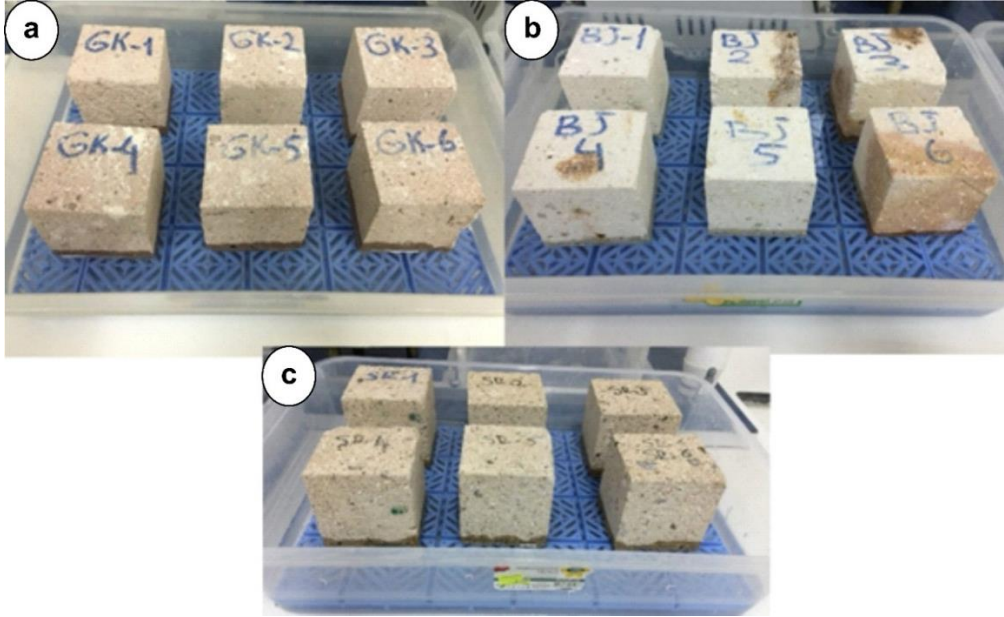
| Deney                                                 | Kullanılan Standart |
|-------------------------------------------------------|---------------------|
| Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )              | TS EN 1936 (2010)   |
| Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)                    | TS EN 1926 (2013)   |
| Ultrasonik Dalga Hızı (m/s)                           | TS EN 14579 (2006)  |
| Ağırlıkça Su Emme (%)                                 | TS EN 13755(2014)   |
| Gözeneklilik (%)                                      | TS EN 1936 (2010)   |
| Kapiler Su Emme (kg/m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> ) | TS EN 1925 (2000)   |

### 3.2.1. Kapiler su emme deneyi

Su ile temas eden ortamlarda kullanılacak yapı taşlarının kılcal su emme özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, TS EN 12925 (TS EN 12925, 2000) standardında önerildiği üzere, kenar uzunluğu  $70 \pm 5$  mm olan numuneler kullanılmıştır. Kılcal su emme deneyleri, her grup ignimbirit numunesi için 6 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. İgnimbirit numunelerinin etüv kurusu ağırlıkları ölçüldükten sonra numunelerin taban alanları belirlenmiş ve su ile temas edecek şekilde,  $3 \pm 1$  mm derinliğe sahip test çözeltisine (su ve  $MgSO_4$  çözeltisi) yerleştirilmiştir (Şekil 2). İgnimbirit numuneleri, hazırlanan test çözeltilerinde 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 ve 4320 dakika süreyle bekletilmiştir. Belirtilen her sürenin sonunda çözeltilerden çıkarılan numunelerin yüzeyleri kurutulmuş ve hassasiyeti 0,01 g olan tartı ile tartılarak su emme miktarları belirlenmiştir. Deney sonucunda, kılcal su emme katsayısı (C) Eş. 1'de sunulan formül ile belirlenmiştir.

$$C = \frac{m_i - m_d}{A \cdot \sqrt{t}} \quad (1)$$

Burada,  $m_i$ : su emen numunenin ağırlığı (g),  $m_d$ : kuru örnek ağırlığı (g), A: numunenin su ile temas eden yüzey alanı ( $m^2$ ), t: numunenin test çözeltisinde kalma süresi (s) olarak ifade edilmektedir.



**Şekil 2:**

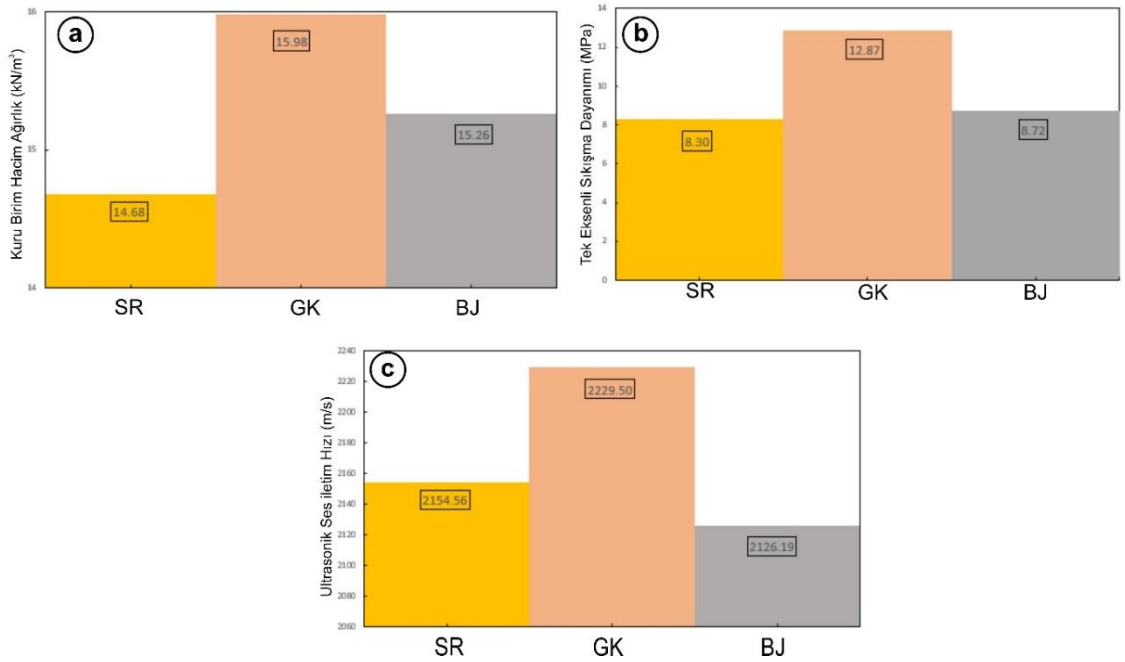
*Kapiler su emme deneyinde kullanılan ignimbirit örnekleri. a)GK, b)BJ, c)SR.*

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. İgnimbiritlerin fiziksel ve mekanik özellikleri

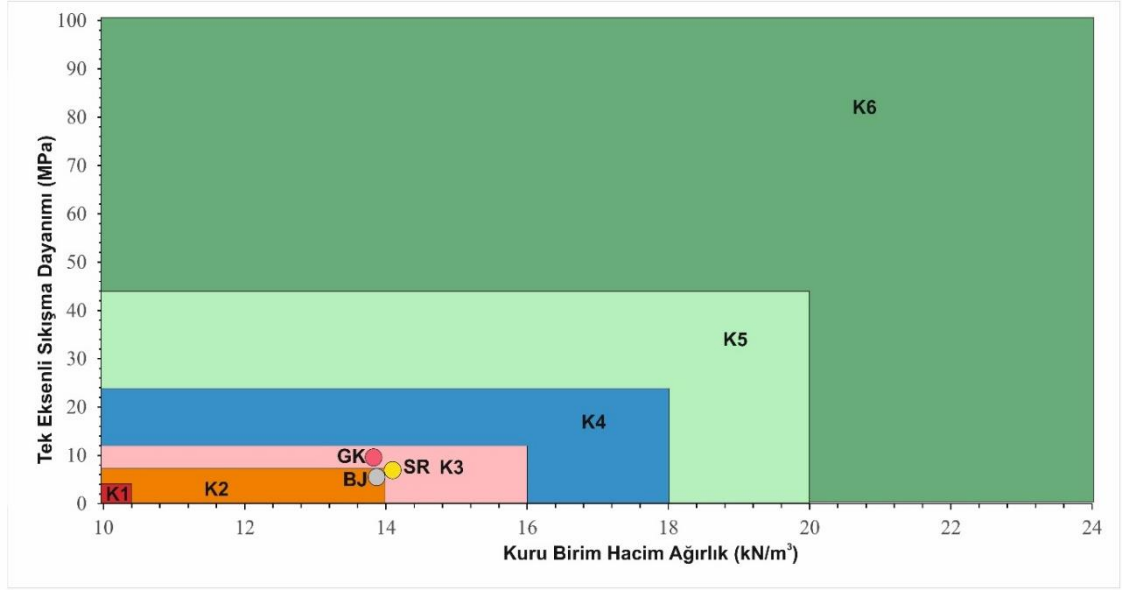
Ulusay ve Aydan (2018), Kapadokya bölgesindeki çeşitli ignimbiritlerin indeks özelliklerini kapsamlı bir şekilde analiz etmiş ve materyal karakteristiklerini kısa ve uzun vadeli bağlamda detaylı bir şekilde tanımlamıştır. Bu çalışmanın odak noktası, Kavak ignimbiritlerinin yüzey koruyucu reçine ile kapiler su emme özelliklerinin nasıl değiştiğini değerlendirmektir. Her çalışmada olduğu üzere bu çalışmaya başlanırken de çalışmaya konu olan indeks özelliklerini belirlemek için Tablo 1'de sunulan deneyler gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya konu olan

İgnimbiritler,  $14,34 \text{ kN/m}^3$  ile  $16,02 \text{ kN/m}^3$  arasında değişen kuru birim ağırlıklarına sahiptir (Şekil 3-a). Benzer kuru birim hacim ağırlıkları Tablo 2’de sunulan daha önce yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir (Aydan ve Ulusay, 2013; Dinçer ve Bostancı, 2019; Kasmer ve Ulusay, 2013). NBG (1985) tarafından yapılan değerlendirmeye göre, tüm İgnimbirit örneklerinin yüksek ile çok yüksek düzeylerde poroziteye sahip olduğu tespit edilmiştir. P-dalga hızı  $1912.568 \text{ m/s}$  ile  $2364.865 \text{ m/s}$  arasında değişirken (Şekil 3-b), tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri  $7,43 \text{ MPa}$  ile  $13,67 \text{ MPa}$  arasında değiştiği belirlenmiştir. (Şekil 3-c). Deere ve Miller (1966) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, İgnimbiritler nispeten “düşük dayanıma” sahiptir. ISRM (1981) tarafından geliştirilen sınıflandırma sistemi temel alındığında, incelenen İgnimbirit örnekleri "az bozunmuş" olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, numunelerde gözlenen bozunma derecesine dayanmaktadır ve kaya malzemelerinin fiziksel özelliklerini ve davranışını değerlendirirken önemli bir faktördür. Bozunma derecesi doğal yapı taşlarının, mineralojik, porozite ve diğer fiziksel özelliklerini değiştirebilmekte ve böylece mukavemet, dayanıklılık ve diğer mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. İgnimbirit örneklerinde gözlenen bozunma derecesi, doğal bozunma süreçlerine maruz kalmış olabileceklerini ancak hala büyük ölçüde sağlam olduklarını ve çoğu orijinal fiziksel özelliklerini koruduklarını göstermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan ve renklerinden dolayı bej (BJ), sarı (SR), gül kurusu (GK) olarak isimlendirilen İgnimbiritler Akın ve diğ. (2023) tarafından önerilen kaynaşma derecesine göre sınıflandırılmışlardır. Bu sınıflamaya göre en üst seviyede yer alan BJ İgnimbiriti en düşük kaynaşma seviyesine sahipken, orta seviyede yer alan GK İgnimbiriti ve en altta yer alan SR İgnimbiriti ise “az oranda kaynaşmış” olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Bu kaynaşma oranları İgnimbiritlerin kapiler su emme özelliklerini ve donma-çözülme, tuz kristalizasyonu neticesinde bozunmalarını da doğrudan etkileyen parametreler arasında yer almaktadır.



**Şekil 3:**

Çalışmada kullanılan İgnimbirit numunelerinin, a) Kuru birim hacim ağırlıkları ( $\text{kN/m}^3$ ), b) Tek eksenli sıkışma dayanımları (MPa), c) Ultrasonik ses iletim hızları ( $\text{m/s}$ ).



Şekil 4:

İgnimbirit numunelerinin kaynaşma derecesi Akın ve diğ. (2023)'ten değiştirilmiştir.

Tablo 2. Kapadokya ignimbiritlerinin indeks özellikleri.

| Deney                                     | Ulusay ve diğ.(2006) | Tuncay (2009)     |                   |                   | Kaşmer ve Ulusay (2013) | Aydan ve Ulusay (2013) | Ulusay ve diğ. (2013) | Dinçer ve Bostancı (2019) |           |       |                     | Akın vd. (2023)     | Bu çalışma              |
|-------------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------|-------|---------------------|---------------------|-------------------------|
|                                           | KI                   | KI                | KZI               | CI                | ZI                      | GI                     | KTa                   | KI                        | ZI        | SI    | TI                  | KI                  | KI                      |
| Kuru birim hacim ağırlık (kN/m³)          | 12,4-14,4            | 13,3<br>-<br>14,3 | 12,2<br>-<br>14,4 | 11,2<br>-<br>14,6 | 11,9<br>-<br>14,6       | 13,7<br>-<br>15,9      | 8,5<br>-<br>10,6      | 15,98<br>-<br>11,43       | 14,7      | 18,20 | 17,26<br>-<br>18,68 | 13,86<br>-<br>14,08 | 15,10<br>-<br>15,38     |
| Gözeneklilik (%)                          | -                    | 21<br>-<br>27     | 27<br>-<br>37     | 28<br>-<br>35     | 19,52<br>-<br>41,10     | -                      | -                     | 18,28<br>-<br>35,14       | 26,5      | 20,23 | 17,18<br>-<br>18,40 | 28,22<br>-<br>36,67 | 24,77<br>-<br>30,36     |
| Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)          | 1236 - 2299          | -                 | -                 | -                 | -                       | 1500<br>-<br>2200      | 900<br>-<br>1340      | 1237<br>-<br>2789         | 1425      | 3158  | 1902<br>-<br>2689   | 692<br>-<br>1670    | 1912,56<br>-<br>2364,86 |
| Kütlece su emme oranı (%)                 | 2,3 – 9,1            | -                 | -                 | -                 | 13,70<br>-<br>33,21     | -                      | -                     | 11,52<br>-<br>28,03       | 17,7<br>6 | 10,78 | 8,84<br>-<br>10,39  | 23,94<br>-<br>33,8  | 15,88<br>-<br>19,72     |
| Doygun tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa) | -                    | 1,10<br>-<br>1,56 | 3,27<br>-<br>3,88 | 0,44<br>-<br>0,52 | 0,67<br>-<br>0,92       | 3,1<br>-<br>4,9        | 1,12<br>-<br>1,45     | 2,86<br>-<br>31,74        | 9,54      | 74,29 | 12,85<br>-<br>23,36 | -                   | -                       |
| Kuru tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)   | 2,3 – 9,1            | 3,6<br>-<br>5     | 1,2<br>-<br>2,2   | 1,2<br>-<br>2,2   | 3,85<br>-<br>6,32       | 7,9<br>-<br>10,3       | 1,97<br>-<br>2,45     | 5,91<br>-<br>32,56        | 13,3<br>6 | 78,65 | 18,91<br>-<br>28,99 | 6,64<br>-<br>11,78  | 7,43<br>-<br>13,67      |

\*KI: Kavak ignimbiriti, Kta: Kavak ignimbiritinin yan ürünü, ZI: Zelve ignimbiriti, SI: Sarımadentepe ignimbiriti, TI: Tahar ignimbiriti, GI: Gördeles ignimbiriti, KZI: Kızılkaaya ignimbiriti, CI: Cemilköy ignimbiriti.

#### 4.2. İgnimbiritlerin kimyasal ve mineralojik özellikleri

Çalışmada kullanılan ignimbiritlerin XRF analiz sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. XRF sonuçları incelendiğinde her üç ignimbiritin de benzer kimyasal içeriğe sahip olduğu görülmektedir. İgnimbirit örneklerinin kimyasal içeriğine bakıldığında, üç ignimbiriti de oluşturan ana oksitlerin  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  olduğu belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan ignimbirit örnekleri, Le Bas et al, (1992) tarafından önerilen ve ignimbiritlerde belirlenen sodyum-potasyum toplamının silis içeriğine karşı grafiğinde ignimbiritlerin yeri belirlenerek kökenleri tespit edilmiştir. Yapılan sınıflamaya göre SR kodlu ignimbiritin dasit-riyolit kökenli olduğu, GK kodlu ve BJ kodlu ignimbiritlerin riyolit kökenli oldukları belirlenmiştir (Şekil 5-a). İgnimbiritlerin bozunma derecelerini belirlemek için Nesbitt ve Young (1982) tarafından Eş 2.'de sunulan denklem kullanılmıştır. Nesbitt ve Young (1982) tarafından sunulan kimyasal alterasyon indeksi, bir kayadaki minerallerin kimyasal değişikliğini belirlemek için kullanılan bir indekstir. Kimyasal Alterasyon İndeksi (KAİ):

$$\text{KAİ} = [(\text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100 \quad (2)$$

Burada,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$ , kaya örneğinin kimyasal bileşenlerini temsil eder. Hesaplama sonucunda KAİ değeri elde edilir ve bu değer kaya örneğinin kimyasal bozunma oranını yüzdeye ifade eder.

$$\text{KAİ}_{(\text{SR})} = [(14,57) / (14,57 + 0,1 + 0,07 + 0,32)] \times 100$$

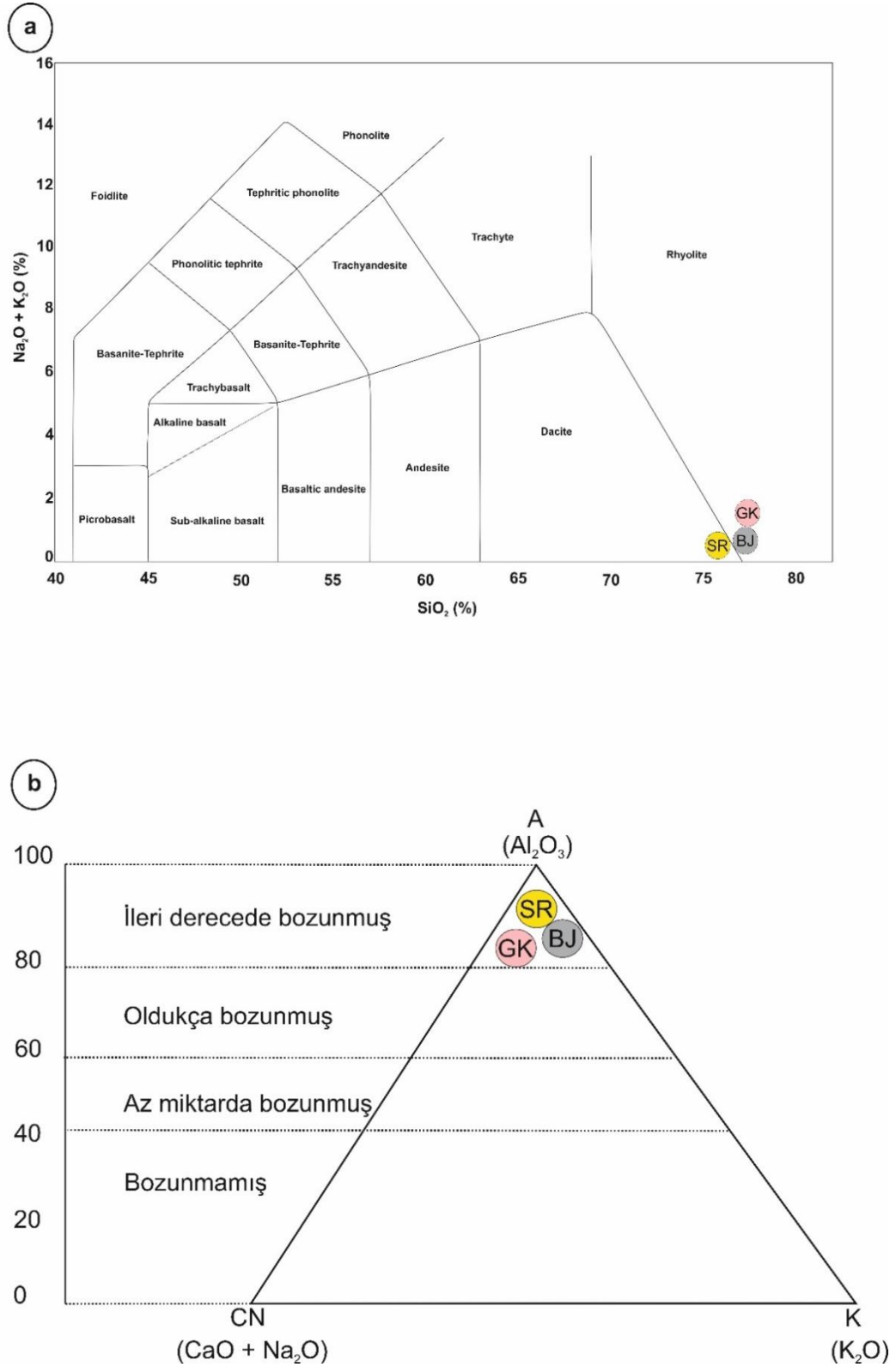
$$\text{KAİ}_{(\text{GK})} = [(13,25) / (13,25 + 0,12 + 0,07 + 0,5)] \times 100$$

$$\text{KAİ}_{(\text{BJ})} = [(15,64) / (15,64 + 0,09 + 0,07 + 0,38)] \times 100$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda, elde edilecek KAİ değeri  $< 50$  ise kayanın bozunmadığını,  $50 < \text{KAİ} < 60$  kayanın az miktarda bozunduğunu,  $60 < \text{KAİ} < 80$  kayanın oldukça bozunmuş olduğunu ve  $\text{KAİ} > 80$  olduğunda ise kayanın ileri derecede bozunduğu ifade etmektedir. Eş. 2'de verilen denklem neticesinde SR kodlu ignimbiritin KAİ değeri 96,75, GK kodlu ignimbiritin KAİ değeri 95,05, BJ kodlu ignimbiritin KAİ değeri ise 96,66 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu verilere göre her üç ignimbirit de “ileri derecede bozunmuş” sınıfına girmektedir. Bozunma yoğunluğu Şekil 5-b'de sunulan Shao ve diğ. (2012) tarafından önerilen A-CN-K diyagramı ile gösterilmektedir. Eş. 2'den elde edilen sonuçlar diyagramda yerine konduğunda çalışmaya konu olan ignimbiritlerin “ileri derecede bozunmuş” olduğu görülmektedir. ISRM (1981) tarafından önerilen bozunma sınıflandırma sistemine göre ignimbirit örnekleri "az bozunmuş" olarak tanımlanmasına rağmen Shao ve diğ. (Shao vd., 2012) tarafından önerilen diyagramda “ileri derece bozunmuş” oldukları tespit edilmiştir. Bu farklılığın sebebi ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflama sistemi gözlemsel bir sınıflama sunarken, Shao ve diğ. (2012) tarafından önerilen sınıflamanın kayaçların kimyasal içeriğinden yola çıkılarak belirlenmesinden dolayıdır.

**Tablo 3. Çalışmada kullanılan ignimbiritlerin jeokimyasal bileşimleri (%).**

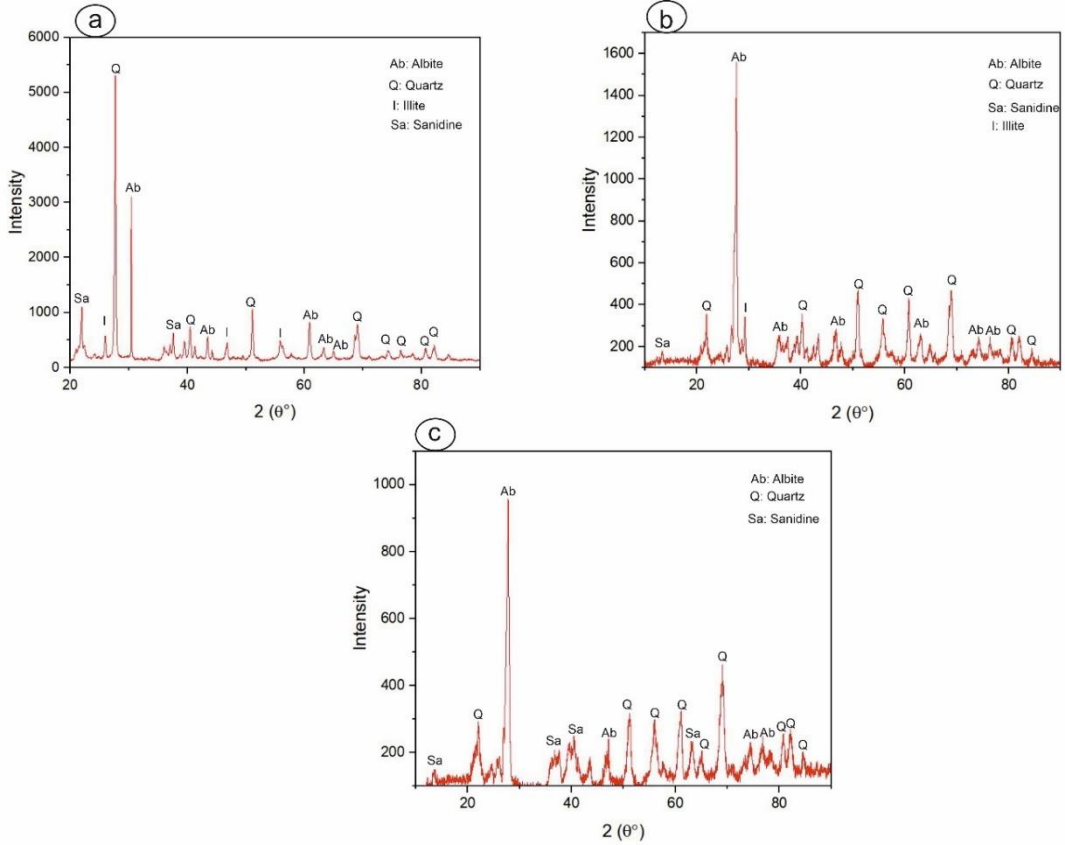
| Ana Oksitler (%)               | SR     | GK     | BJ     |
|--------------------------------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 76,93  | 77,85  | 76,94  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14,57  | 13,25  | 15,64  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,26   | 1,56   | 0,70   |
| MgO                            | 0,08   | 0,22   | 0,11   |
| CaO                            | 0,10   | 0,12   | 0,09   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,07   | 0,07   | 0,07   |
| K <sub>2</sub> O               | 0,32   | 0,50   | 0,38   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,19   | 0,19   | 0,19   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,05   | 0,04   | 0,03   |
| MnO                            | <0,01  | <0,01  | <0,01  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,002 | <0,002 | <0,002 |



**Şekil 5:**

Çalışmada kullanılan ignimbiritlerin a) silis içeriğine karşılık toplam sodyum-potasyum oranı (Le Bas vd., 1992), b) A-CN-K diyagramı (Shao vd., 2012)'den değiştirilmiştir.

Kavak ignimbiretleri üzerinde yapılan XRD analizlerine göre, çalışmaya konu olan her üç ignimbirit numunesinde albit ve kuvars pikleri belirlenmiş ve çalışmaya konu olan kavak ignimbiritlerinde hakim alterasyon mineralinin kaolin grubu olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 6), Benzer ignimbiritler üzerinde yürütülen XRD analizlerine bakıldığında, Topal ve Doyuran (1997) ile Dinçer ve Bostancı'da (2019) benzer pikler elde etmişlerdir.



Şekil 6:

Çalışmada kullanılan kavak ignimbiritlerinin XRD pik desenleri, a)SR, b) GK, c)BJ.

#### 4.3. İgnimbiritlerin kapiler su emme katsayısının belirlenmesi

İgnimbirit numunelerinin kapiler su emme katsayısı, hem doğal halde hem de ignimbiritlerin tüm yüzeylerine koruyucu reçine uygulanarak belirlenmiştir. Bu kapsamda doğal yüzeyli ignimbirit numunelerinden SR, GK ve BJ kodlu ignimbiritlerin kapiler su emme katsayıları sırası ile 114,03 g/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup>, 87,39 g/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup>, 115,71 g/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup> olarak belirlenmiştir. Öte yandan, yüzey koruyucu reçine uygulanan ignimbirit örneklerinde kapiller su emme değerleri sırasıyla 6,54 g/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup>, 0,08 g/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup> ve 0,08 g/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup> olarak belirlenmiştir (Şekil 7-a). Kapiler su emme deneyi sonuçları, yüzey koruyucu reçinenin ignimbiritlerin su emme kapasitesi üzerinde önemli bir rol oynadığını ve ignimbiritlerde bulunan boşlukları etkin bir şekilde doldurarak ignimbiritlerin yüzeyini hidrofobik hale getirdiğini göstermektedir.

Çalışmanın bir diğer aşamasında ise, ignimbirit numunelerinin MgSO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde kapiler su emme özellikleri belirlenmiştir. Bunun nedeni ise, çok gözenekli yapı taşlarında tuz kristallenmesinin ileri derecede bozunmalara yol açmasıdır (Ruedrich ve Siegesmund, 2007).

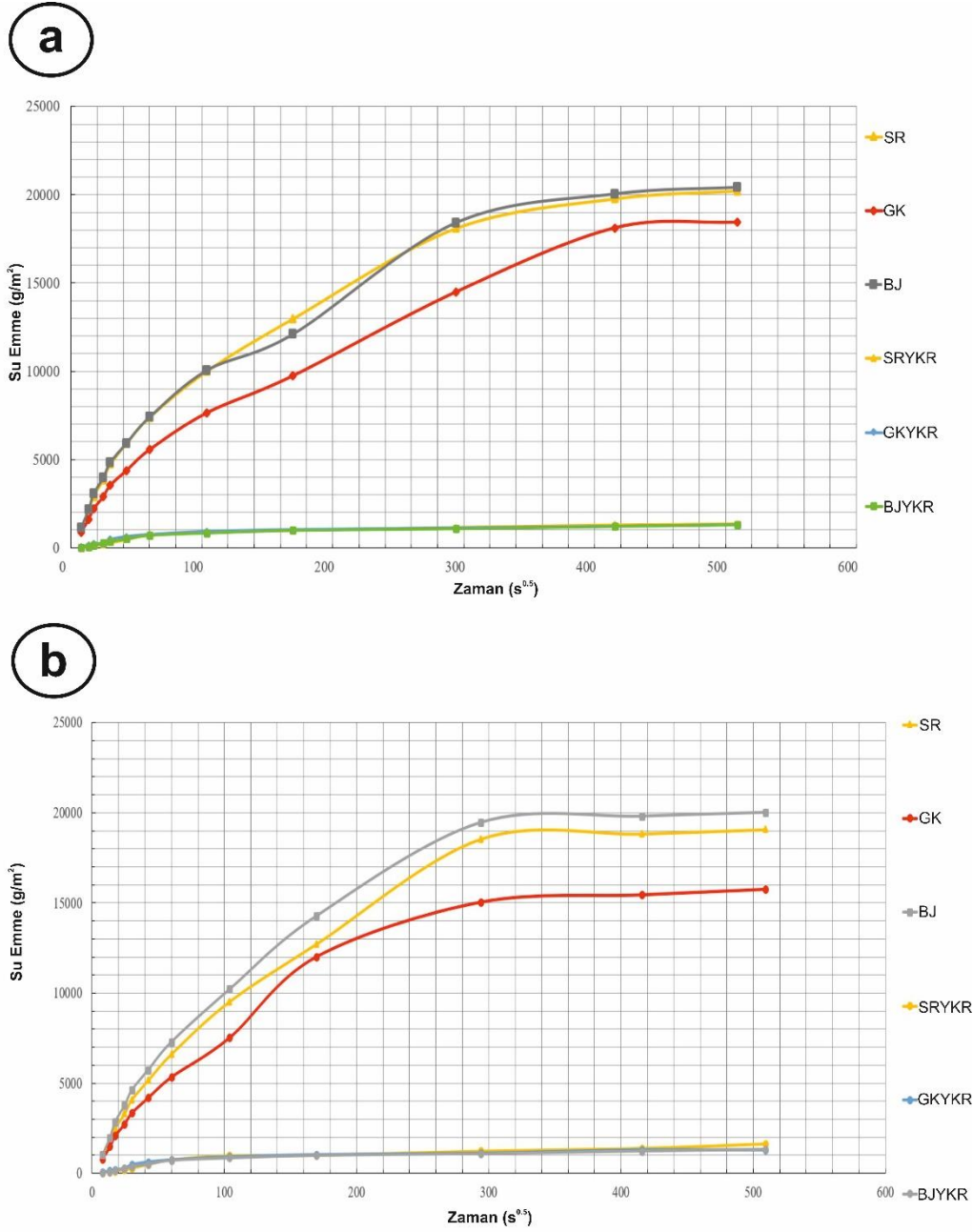
Tuzlar kayacın bünyesine kapiler yollarla girmektedir (Arnold, 1990). Kayacın bünyesine giren tuz kristalleri zamanla yapı taşıyı bozunmaya uğratmaktadır. İgnimbiritlerin tuzlu su emme

kapasitesini belirlemek amacıyla TS EN 12370 (2001) önerileri doğrultusunda %14'lük  $MgSO_4$  çözeltisi hazırlanmıştır. Yürütülen deneyler neticesinde SR, GK ve BJ kodlu iğnimbirit numunelerinin  $MgSO_4$  çözeltisinde kapiler su emme katsayıları sırasıyla  $101 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$ ,  $84,20 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  ve  $112,16 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  olarak belirlenmiştir. Yüzey koruyucu uygulanarak  $MgSO_4$  çözeltisine tabii tutulan numunelerin ise kapiler su emme katsayıları sırasıyla  $0,07 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$ ,  $0,79 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  ve  $1,27 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  olarak belirlenmiştir (Şekil 7-b). SR, GK ve BJ kodlu iğnimbirit numunelerinin su ve  $MgSO_4$  çözeltisi içerisinde hem yüzey koruyucu sürülmüş halde hem de doğal halde belirlenen kapiler su emme katsayıları Tablo 4'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, iğnimbiritlerin yüzeyine koryucu reçine sürüldükten sonra hem su da hem de  $MgSO_4$  çözeltisinde kapiler su emme katsayılarının dikkate değer ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

**Tablo 4. Kapiler su emme deneyi sonucunda elde edilen kapiler su emme katsayıları ( $\text{g/m}^2\text{s}^{0,5}$ ).**

| Kapiler su emme katsayısı ( $\text{g/m}^2\text{s}^{0,5}$ ) |        |       |          |       |
|------------------------------------------------------------|--------|-------|----------|-------|
| Numune Kodu                                                | Saf Su |       | $MgSO_4$ |       |
| SR                                                         | 114,03 | 6,54* | 101      | 0,07* |
| GK                                                         | 87,39  | 0,08* | 84,20    | 0,79* |
| BJ                                                         | 115,71 | 0,08* | 112,16   | 1,27* |

\*Yüzey koruyucu kimyasal reçine sürülmüş.



**Şekil 7:**  
*İgnimbiritlerin kütlece su emme miktarlarının zamanın karekökü ile olan ilişkisi. a) Su, b)  $MgSO_4$  çözeltisi*

## 5. SONUÇ

Boşluklu yapı malzemelerinde su emme sürecini ve suyun yapı malzemeleri içindeki hareketini anlamak, yapı malzemelerinin duraylılıklarını ve bozunma mekanizmalarını değerlendirmek için oldukça önemlidir. İnşaat endüstrisinde boşluklu doğal malzemeler üzerine yapılan araştırmalar da bu durumun önemini vurgulamaktadır (Çelik ve Kaçmaz, 2016; Sengün vd., 2015). Kapadokya bölgesinde yaygın olarak bulunan ignimbiritler, oluşum mekanizmaları

nedeniyle heterojen bir yapıya sahiptir. Özellikle tarihi yapılar için kullanılan ve çevresel etkilere maruz kalan ignimbiritler önemli tehdit altındadır. Birçok yapıda kullanılan doğal taşların yüksek gözeneklilik ve yüksek kapiler su emme potansiyeli, yapıların bütünlüğünü tehlikeye sokmaktadır. Doğal taşların kullanım alanları belirlenirken, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini bilmek önemlidir. Özellikle tarihi binalarda, doğal taşların fiziksel-mekanik özellikleri ve kapiler su emme potansiyellerini bilmek yapı taşlarında meydana gelebilecek bozunma mekanizmalarını daha iyi anlamak için oldukça önemlidir. Bu çalışmada incelenen ignimbiritlerin kuru birim ağırlığı  $14,34 \text{ kN/m}^3$  ile  $16,02 \text{ kN/m}^3$  arasında değişmektedir. Ayrıca, P-dalga hızı  $1912.568 \text{ m/s}$  ile  $2364.865 \text{ m/s}$  arasında değişirken, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri  $7,43 \text{ MPa}$  ile  $13,67 \text{ MPa}$  arasında değişmektedir. Literatürde, ignimbiritlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişkenlikler belirtilmiştir. Bu değişkenlikler, ignimbiritlerin farklı soğuma dereceleri ve gözenek geometrisinin farklı özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Nevşehir bölgesinde yaygın olarak bulunan ve peri bacalarını da oluşturan farklı renk ve doku özelliklerine sahip üç farklı tip ignimbirit incelenmiştir. İgnimbiritlerin kapiler su emme katsayılarının, su içinde  $87,39 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  ile  $115,71 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  arasında değiştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, yüzey koruyucu reçine uygulanan örneklerde kapiler su emme değerleri yaklaşık %95 oranında azaldığı tespit edilmiştir. İgnimbiritlerin  $\text{MgSO}_4$  çözeltisi içindeki kapiler su emme katsayıları,  $84,20 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  ile  $112,16 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  arasında değiştiği belirlenmiştir. Yüzey koruyucu reçine uygulanan örneklerde kapiler su emme değerlerinin ise  $0,07 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  ile  $1,27 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bölgedeki ignimbiritlerin kapiler su emme özellikleri değişkenlik göstermekle birlikte bölgede bulunan ignimbiritler genel olarak yüksek kapiler su emme kapasitesine sahiptirler. Bu durum Kapadokya Bölgesi'nde birçok kültürel ve doğal miras yapısının bozunmasına neden olmaktadır. Yüzey koruyucu reçine uygulamasının ignimbiritlerin kapiler su emme katsayısını  $1 \text{ g/m}^2\text{s}^{0,5}$  seviyesinin altına düşürdüğü tespit edilmiştir. Yüzey koruyucu reçine uygulaması, tarihi yapılarda kullanılan yapı taşları üzerindeki kapiler su emme nedeniyle meydana gelen bozunmaları etkili bir şekilde azaltarak, mimari mirasın korunmasına katkıda bulunması açısından dikkate değer bir uygulamadır. Ayrıca, uygulamanın rengi su ile temas halinde değişmeden kaldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, araştırmaya konu olan ignimbiritlerde yüzey koruyucu kimyasalların kullanımının kapiler su emme değerlerinde önemli azalmalara yol açtığı ortaya belirlenmiştir. Ancak, bu kimyasalların görünür yüzeyler üzerinde koruyucu özellikleri olsa da zeminle doğrudan temas halinde su emilimini engellemeyebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle, zemin kaynaklı su emiliminin önlenmesi gereken durumlarda yüzey koruyucu kimyasalların uygun bir yöntem olmayabileceği dikkate alınmalıdır. Bu çalışmanın en önemli bulgularından biri, Kapadokya bölgesindeki tarihi yapıların servis ömrünü uzatmanın ve bu yapıların atmosferik bozunmalarını etkin bir şekilde önlemenin doğal taşların yüzeylerine koruyucu reçine uygulanarak mümkün olabileceğidir. Öte yandan yüzey koruyucu kimyasal reçine kullanımının diğer atmosferik bozunmalar üzerindeki etkisinin de detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje no: FHD-2022-10257).

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadır.

## YAZAR KATKISI

Ogün Ozan VAROL: Numune Temini, Metodoloji, Deneysel çalışmalar, Verilerin analizi ve yorumlanması, Makale Yazımı, Son Okuma bölümlerine katkı sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Akin, M., Dinçer, İ., Özvan, A., Oyan, V., ve Tapan, M. (2016). İgnimbiritlerdeki kılcal su emme özelliğinin Ahlat Selçuklu mezar taşlarının bozunmasındaki rolü. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 40(2), 149-166. doi:10.24232/jeoloji-muhendisligi-dergisi.295428
2. Akin, M., Topal, T., Dinçer, İ., Akin, M. K., Özvan, A., Orhan, A., and Orhan, A. (2023). A new quantitative welding degree classification for ignimbrites. *Environmental Earth Sciences*, 82(13), 345. doi:10.1007/s12665-023-11026-7
3. Arnold, A. (1990). Salt weathering on monuments. The conservation of monuments in the Mediterranean Basin, 31-58.
4. Atabey, E. (1989). 1:100,000 Scale Geological Maps of Turkey, Kayseri H19 (K33) Sheet.
5. Aydan, Ö., and Ulusay, R. (2013). Geomechanical Evaluation of Derinkuyu Antique Underground City and its Implications in Geoengineering. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(4), 731-754. doi:10.1007/s00603-012-0301-7
6. Aydar, E., Schmitt, A. K., Çubukçu, H. E., Akin, L., Ersoy, O., Sen, E., Duncan, R. A., and Atici, G. (2012). Correlation of ignimbrites in the central Anatolian volcanic province using zircon and plagioclase ages and zircon compositions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 213, 83-97. doi:/10.1016/j.jvolgeores.2011.11.005
7. Benavente, D., Lock, P., Ángeles García Del Cura, M., and Ordóñez, S. (2002). Predicting the Capillary Imbibition of Porous Rocks from Microstructure. *Transport in Porous Media*, 49(1), 59-76. doi:10.1023/A:1016047122877
8. Colangiuli, D., Calia, A., and Bianco, N. (2015). Novel multifunctional coatings with photocatalytic and hydrophobic properties for the preservation of the stone building heritage. *Construction and Building Materials*, 93, 189-196. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.05.100
9. Coussy, O. (2006). Deformation and stress from in-pore drying-induced crystallization of salt. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 54(8), 1517-1547. doi:10.1016/j.jmps.2006.03.002
10. Cueto, N., Benavente, D., Martínez-Martínez, J., and García-del-Cura, M. A. (2009). Rock fabric, pore geometry and mineralogy effects on water transport in fractured dolostones. *Engineering Geology*, 107(1), 1-15. doi:0.1016/j.enggeo.2009.03.009
11. Çelik, M. Y., and Kaçmaz, A. U. (2016). The investigation of static and dynamic capillary by water absorption in porous building stones under normal and salty water conditions. *Environmental Earth Sciences*, 75(4), 307. doi:10.1007/s12665-015-5132-x
12. Çelik, M. Y., Murat, S., and Arsoy, Z. (2019). Yüzey Koruyucu Reçinenin Döğer Tüfö Ve İscehisar Andezitinin Kılcal Su Emme Potansiyeli Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(3), 319-338. doi:10.17482/uumfd.476527
13. Çelik, M. Y., ve Yılmaz, S. (2018). Statik, tuzlu ve asidik sulu ortamların poroziteli yapıtaşlarının kapiler su emme potansiyeline etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2018(2018). doi:10.17341/gazimmfd.416369
14. David, C., Darot, M., and Jeannette, D. (1993). Pore structures and transport properties of sandstone. *Transport in Porous Media*, 11(2), 161-177. doi:10.1007/BF01059632
15. Deere, D. U., and Miller, R. (1966). Engineering classification and index properties for intact rock. *Illinois Univ At Urbana Dept Of Civil Engineering*.

16. Derluyn, H., Moonen, P., and Carmeliet, J. (2014). Deformation and damage due to drying-induced salt crystallization in porous limestone. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 63, 242-255. doi:10.1016/j.jmps.2013.09.005
17. Dinçer, İ., and Bostancı, M. (2019). Capillary water absorption characteristics of some Cappadocian ignimbrites and the role of capillarity on their deterioration. *Environmental Earth Sciences*, 78(1), 7. doi:0.1007/s12665-018-7993-2
18. Dinçer, İ., Özvan, A., Akin, M., Tapan, M., ve Oyan, V. (2012). İğnimbiritlerin Kapiler Su Emme Potansiyellerinin Değerlendirilmesi: Ahlat Taşı Örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(2).
19. Erguler, Z. A. (2009). Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs. *Engineering Geology*, 105(3-4), 186-199. doi:10.1016/j.enggeo.2009.02.003
20. Gomes, V., Dionísio, A., and Pozo-Antonio, J. S. (2017). Conservation strategies against graffiti vandalism on Cultural Heritage stones: Protective coatings and cleaning methods. *Progress in Organic Coatings*, 113, 90-109. doi:10.1016/j.porgcoat.2017.08.010
21. ISRM, E. (1981). Rock characterization, testing and monitoring—ISRM suggested methods. İçinde Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses (ss. 3-52). Pergamon Oxford.
22. Karagiannis, N., Karoglou, M., Bakolas, A., and Moropoulou, A. (2016). Effect of temperature on water capillary rise coefficient of building materials. *Building and Environment*, 106, 402-408. doi:10.1016/j.buildenv.2016.07.008
23. Kasmer, Ö., and Ulusay, R. (2013). Effects of geo-engineering characteristics of the soft tuffs and environmental conditions on the rock-hewn historical structures at Zelve open air museum, Cappadocia, Turkey. *Environmental ve Engineering Geoscience*, 19(2), 149-171. doi:10.2113/gseegeosci.19.2.149
24. Kılıç, İ., and Gültekin, A. H. (2009). Effects of surface protection resin on water absorption and strenght of sandstone. 5th International Advanced Technologies Symposium, Karabük University (Vol. 2196, p. 2199).
25. Korkanç, M. (2007). İğnimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı olarak kullanımına etkisi: Nevşehir taşı. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31(1), 49-60.
26. Korkanç, M. (2013). Deterioration of different stones used in historical buildings within Nigde province, Cappadocia. *Construction and Building materials*, 48, 789-803. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.07.033
27. Korkanç, M., İnce, İ., Hatır, M. E., and Tosunlar, M. B. (2021). Atmospheric and anthropogenic deterioration of the İvriz rock monument: Ereğli-Konya, Central Anatolia, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80, 3053-3063. doi:10.1007/s10064-021-02105-9
28. Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., and Woolley, A. R. (1992). The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. *Mineralogy and petrology*, 46(1), 1-22.
29. Le Pennec, J.-L., Bourdier, J.-L., Froger, J.-L., Temel, A., Camus, G., and Gourgaud, A. (1994). Neogene ignimbrites of the Nevşehir plateau (Central Turkey): Stratigraphy, distribution and source constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63(1-2), 59-87.

30. Leventis, A., Verganelakis, D. A., Halse, M. R., Webber, J. B., and Strange, J. H. (2000). Capillary Imbibition and Pore Characterisation in Cement Pastes. *Transport in Porous Media*, 39(2), 143-157. doi:10.1023/A:1006687114424
31. Mosquera, M. J., Rivas, T., Prieto, B., and Silva, B. (2000). Capillary Rise in Granitic Rocks: Interpretation of Kinetics on the Basis of Pore Structure. *Journal of Colloid and Interface Science*, 222(1), 41-45. doi:10.1006/jcis.1999.6612
32. Nesbitt, Hw., and Young, G. M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *nature*, 299(5885), 715-717.
33. NGB. (1985). Norwegian group of rock mechanics: Handbook in engineering geology—Rock. Norwegian rock mechanics group (s. 140).
34. Nicholson, D. T. (2001). Pore properties as indicators of breakdown mechanisms in experimentally weathered limestones. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(8), 819-838. doi:10.1002/esp.228
35. Özdemir, A. (2002). Capillary water absorption potential of some building materials. *Geological Engineering*, 26(1), 19-32.
36. Özvan, A., Dinçer, İ., Akın, M., Oyan, V., and Tapan, M. (2015). Experimental studies on ignimbrite and the effect of lichens and capillarity on the deterioration of Seljuk Gravestones. *Engineering geology*, 185, 81-95. doi:10.1016/j.enggeo.2014.12.001
37. Ruedrich, J., and Siegesmund, S. (2007). Salt and ice crystallisation in porous sandstones. *Environmental Geology*, 52, 225-249. doi:10.1007/s00254-006-0585-6
38. Sbardella, F., Bracciale, M., Santarelli, M., and Asua, J. M. (2020). Waterborne modified-silica/acrylates hybrid nanocomposites as surface protective coatings for stone monuments. *Progress in Organic Coatings*, 149, 105897. doi:10.1016/j.porgcoat.2020.105897
39. Sengün, N., Demirdag, S., Akbay, D., Ugur, I., and Altindag, R. (2015). The effect of rock properties on the capillary water absorption coefficients of the different natural stone types. *ISRM Regional Symposium-EUROCK 2015*.
40. Shao, J., Yang, S., and Li, C. (2012). Chemical indices (CIA and WIP) as proxies for integrated chemical weathering in China: Inferences from analysis of fluvial sediments. *Sedimentary Geology*, 265, 110-120. doi:10.1016/j.sedgeo.2012.03.020
41. Thaulow, N., and Sahu, S. (2004). Mechanism of concrete deterioration due to salt crystallization. *Materials Characterization*, 53(2), 123-127. doi:10.1016/j.matchar.2004.08.013
42. Topal, T., and Doyuran, V. (1997). Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff. *Engineering Geology*, 47(1-2), 175-187.
43. Topal, T., and Sözmen, B. (2003). Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument. *Engineering Geology*, 68(3-4), 201-223. doi:10.1016/S0013-7952(02)00228-4
44. Tosunlar, M. B., Hatır, M. E., İnce, İ., Bozdağ, A., and Korkanç, M. (2018). The Determination of Deteriorations on the Mısırlıoğlu Bridge (Konya, Turkey) by Non-Destructive Techniques (NDT). *ICONARP International Journal of Architecture and Planning*, 6(2), Article 2. doi:10.15320/ICONARP.2018.60
45. TS EN 1925. (2000). Doğal Taşlar- Deney metotları-Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
46. TS EN 1926. (2013). Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.

47. TS EN 1936. (2010). Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Porozite Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
48. TS EN 12370. (2001). Doğal Taşlar-Deney Metotları-Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
49. TS EN 13755. (2014). Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
50. TS EN 14579. (2006). Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
51. Tulliani, J.-M., Serra, C. L., and Sangermano, M. (2014). A visible and long-wavelength photocured epoxy coating for stone protection. *Journal of cultural heritage*, 15(3), 250-257. doi:10.1016/j.culher.2013.07.003
52. Tuncay, E. (2009). Rock rupture phenomenon and pillar failure in tuffs in the Cappadocia region (Turkey). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(8), 1253-1266. doi:10.1016/j.ijrmms.2009.01.011
53. Ulusay, R., and Aydan, Ö. (2018). The 2016 Hans Cloos lecture: Geo-engineering aspects on the structural stability and protection of historical man-made rock structures: An overview of Cappadocia Region (Turkey) in the UNESCO's World Heritage List. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77(2), 457-488. doi:10.1007/s10064-017-1190-5
54. Ulusay, R., Aydan, Ö., Geniş, M., and Tano, H. (2013). Stability Assessment of Avanos Underground Congress Centre (Cappadocia, Turkey) in Soft Tuffs Through an Integrated Scheme of Rock Engineering Methods. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(6), 1303-1321. doi:10.1007/s00603-012-0363-6
55. Ulusay, R., Gokceoglu, C., Topal, T., Sonmez, H., Tuncay, E., Erguler, Z. A., and Kasmer, O. (2006). Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Urgüp (Cappadocia), Turkey. *Environmental Geology*, 50(4), 473-494. doi:10.1007/s00254-006-0222-4