


YÜZEY KORUYUCU REÇİNEİNİN DÖĞER TÜFÜ VE İSCEHİSAR ANDEZİTİNİN KILCAL SU EMME POTANSİYELİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa Yavuz ÇELİK * 

Murat SERT ** 

Zeyni ARSOY ** 

Alınma: 30.10.2018 ; düzeltme: 22.04.2019 ; kabul: 18.11.2019

Öz: Doğal taşlarda ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve tuz kristallenmesine bağlı ayrışmanın önemli faktörlerinden birisi sudur. Su, değişik yollarla doğal yapı taşları bünyesine nüfuz etmektedir. Absorbsiyonun yanı sıra kılcal su emme mekanizması bu ayrışmalarda büyük önem taşımaktadır. Kılcal su emme miktarı, doğal yapı taşlarının gözeneklilik boyut dağılımına bağlıdır. Bu çalışmada, Afyonkarahisar yöresinde doğal yapı taşı olarak kullanılan Döğer tüfü ve İscehisar andezitinin, değişik tuzlu ortamlarda kılcal su emme potansiyeline yüzey koruyucu reçine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla önce deneylerde kullanılan yapı taşlarının malzeme karakterizasyonu yapılarak, kimyasal, petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, XRD), gözenek çapı dağılımı ve fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise sodyum sülfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve sodyum klorür (NaCl) sulu çözeltilerinden kılcal su emme özelliklerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Aynı deneyler yüzey koruyucu reçine sürülmüş örnekler üzerinde de tekrarlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Döğer tüflerinin kılcal su emme potansiyeli saf suda $14,70 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$, sodyum sülfatlı çözeltide $15,26 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ ve sodyum klorürlü sulu çözeltide $15,68 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$, andezitlerin kılcal su emme potansiyeli sırasıyla 1,75; 3,04 ve 2,77 $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olarak bulunmuştur. Yüzey koruyucu reçine sürülmüş örneklerde aynı değerler önemli ölçüde azalarak 1 $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ değerinin altında ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Döğer tüfü, İscehisar andeziti, Doğal yapı taşları, Kılcal su emme, Yüzey koruyucu reçine

Investigation of the Effects of Surface Protection Resin on Capillary Water Absorption of Döğer Tuff and İscehisar Andesite

Abstract: Water is one of the important factors of deterioration due to wetting-drying, freezing-thawing and salt crystallization in natural stones. Water enters into natural building stones in different ways. In addition to water absorption, the capillary water absorption mechanism is of great importance in these deteriorations. The amount of capillary water absorption depends on the pore size distribution of the natural building stones. In this study, the effect of surface protection resin on the capillary water absorption potential of İscehisar andesite and Döğer tuffs in Afyonkarahisar region was investigated. For this purpose, chemical, petrographic-mineralogical (polarizing microscope, XRD), pore size distribution and physico-mechanical properties of the building stones used in the experiments have been determined. In the second stage, experimental studies were carried out to determine the capillary water absorption properties in sodium sulfate ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) and sodium chloride (NaCl) solution water. The same experiments were repeated on treated samples with water-repellent chemicals. As a result of these studies,

* Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, ANS Kampüsü, 03200, Afyonkarahisar

** Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, ANS Kampüsü, 03200, Afyonkarahisar

İletişim Yazarı: Mustafa Yavuz ÇELİK (mycelik@hotmail.com)

water adsorption potential was found of the tested samples the values of $14.70 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ in normal water, $15.26 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ in sodium sulphate solution and $15.68 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ in sodium chloride solution, the capillary water absorption potential of andesites was 1.75, 3.04 and $2.77 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$. The same values were significantly reduced and measured below $1 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ which the samples of the treated by surface protective resin.

Keywords: Döğer tuff, İschehisar andesite, natural building stones, salt crystallization, surface protection resin

1. GİRİŞ

Doğal yapı taşları antik dönemlerden beri kullanılmaktadır. Tarihi dönemlerde inşa edilen yapılarda yapı malzemesi olarak doğal taşların kullanıldığı, günümüze kadar gelen ve varlığını sürdürmekte olan tarihi kültürel varlıklardan anlaşılmaktadır. Estetik renk ve desen güzelliğinin yanı sıra sağlamlık, dayanıklılık, çok bulunurluğun ve şekillendirme özelliğinin yüksek olmasından dolayı bu yapılarda doğal yapı taşları tercih edilmiştir. Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde yoğun bir şekilde tercih edilen tüflerin, çok bulunurluğu ve kolay şekillendirilmesi bu tercihte önemli bir rol oynamıştır. Tarihi yapılarda traverten, kireçtaşı, mermer, granit, kumtaşı ve volkanik kayaçların sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Afyonkarahisar'ın jeolojik özelliğinden dolayı volkanik kayaçlar geniş alanlarda yayılım göstermiştir. Bu yaygın bulunuş, bölgedeki tarihi ve kültürel miras örneklerinde volkanik kayaçların kullanımını getirmiştir. Trakit, traki-andezit, bazalt ve tuf gibi volkanik kayaçlar bu yapıların değişik yerlerinde değişik amaçlar için kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan Döğer tufü ve İschehisar andezitinin kullanıldığı Afyonkarahisar yöresindeki tarihi ve kültürel miras örnekleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1:

İschehisar andeziti ve Döğer tufünün kullanıldığı Afyonkarahisar yöresindeki tarihi ve kültürel miras örnekleri. İschehisar Roma köprüsü (MÖ 321-301) (a), Afyon Lisesi (1894) (b), İmaret Cami (1472) (c), Döğer Kervansarayı (1440'lı yıllar) (d).

Doğal yapı taşları, sağlam ve dayanıklı olmasına rağmen zaman içerisinde çevresel ve atmosferik şartlara bağlı olarak az ya da çok ayrışmaya başlamaktadır. Ayrışma sonucunda doğal yapı taşlarının cinslerine göre fiziksel ve mekanik özelliklerinde olumsuz yönde değişimler ortaya çıkmaya başlamaktadır. Ayrışmalar sonucunda ortaya çıkan bu değişimler özellikle tarihi yapılarda önemli restorasyon ve konservasyon işlemlerini gerektirmesi bakımından son derece büyük önem taşımaktadır.

Bütün varlıklar üzerindeki olumsuz etkileri bilinen ve endüstriyel ve kent bölgelerinde yüksek oranlarda bulunan bazı atmosferik kirlenmeler, bazı atmosferik faktörler (yağmur, sis, nem, rüzgâr, sıcaklık ve güneş ışığı) ile birleştiğinde yapılarda kullanılan doğal taşları, farklı biçimlerde etkiler ve taşın özelliklerine bağlı olarak da çeşitli hasar ve bozulmaları ortaya çıkartır (Gökaltun, 1999). Doğal taşlardaki bozulma kayaç türüne, çevresel koşullara, insan ve bitkisel organizmaların etkilerine göre farklı olur. Doğal taşların kullanıldığı yerde ayrışmasına etken olan faaliyetlerin başında çevresel koşullar gelmektedir. Doğal taşlarda meydana gelen tahribatların en önemli sebeplerinden birisi de sudur. Yüksek gözenekli yapı taşlarının bünyesine “absorpsiyon” veya “kılcal emme” yoluyla giren su gerek sıvı gerekse katı fazda tahribata yol açmaktadır (Chen ve diğ., 2004).

Su gerek tek başına ıslanma-kuruma ve donma-çözünme gibi atmosfer olaylarına bağlı olarak gerekse de çözünebilir tuzların malzeme içerisinde taşınarak tuz kristallenmesine yol açması nedeniyle yapı taşları için önemli bir ayrışma faktörü olarak görülmektedir. Su, bir taşın gözenek sistemine girdiğinde, su içinde taşınan çeşitli tuzlu çözeltiler, genellikle buharlaşma nedeniyle tuz kristallenmesine neden olabilir (Coussy, 2006). Sıcaklık farklılıklarının olduğu gece-gündüz boyunca veya iklimsel farklılıklara bağlı olarak tekrarlanan döngüler, tuz kristallerinin büyümesine neden olabilir. Bu durumda yüksek tuz konsantrasyonuna sahip olan çözeltilerde büyük miktarlarda tuz kristalleri oluşabilir (Thaulow ve Sahu, 2004). Kapalı gözenekler içinde tuz kristallenmesi kaynaklı yüksek basınçlar nedeniyle mikro çatlaklar oluşabilir. Yapı malzemelerinde tuz hasarı riski, kristallerin gözenek doldurma derecesine ve kristallenme basıncının büyüklüğüne bağlıdır (Derluyn ve diğ., 2014). Doğal yapı taşlarının ayrışmasında etkin olan faktörlerden birisi de donma-çözülme olaylarıdır. Doğal taşların çatlakları veya boşlukları içerisine su emme veya kılcal yollarla giren sular, sıfırın altındaki sıcaklıklarda hacmini yaklaşık %9 arttırarak donmaktadır. İklimin soğuk olduğu bölgelerde defalarca tekrarlanan bu olaylar sonucunda gözenek basıncı yoluyla çatlak oluşumu başlamakta ve sonuç olarak da parçalanma ve dağılımlar meydana gelmektedir (Chen ve diğ., 2004).

Doğal taşların içine suyun nüfuz etmesini, değerlendirme yöntemlerinden birisi, kılcal su emme potansiyelidir (Peruzzi ve diğ., 2003). Yüzeysel veya zemin suları, gözenekli olan doğal yapı taşlarına temas ettiği zaman, gözeneklilik durumuna göre kılcal emme kuvveti etkisiyle malzeme içerisinde yükselme eğilimi göstermektedir. Bu olay doğal taşların gözenek sisteminin geometrisine, büyüklüğüne ve gözeneklerin birbiri ile bağlantılı olup olmamasına bağlıdır. Kılcal su emme mekanizması, doğal taşların içindeki gözeneklerin kontrol ettiği kılcal emme kuvveti ile ilişkilidir (Siegesmund ve Dürrast, 2011). Yüksek gözenekliliğe bağlı olarak gelişen kılcal su emme olayı, birçok doğal taş için fiziksel ve mekanik özelliklerde olumsuz etki yaratmaktadır. Özellikle kılcal su emmeye bağlı olarak emilen sular soğuk iklimlerde donarak buza dönüşmektedir. Buz kristallerinin büyümesi ve artan hacmi nedeniyle boşluklarda basınç oluşturarak taşın dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum, suyla beraber doğal taşların içine giren çözünebilir tuzların kristalleşmesi için de geçerlidir (Tomašić ve diğ., 2011).

Kılcal su emme mekanizması ve değişik kayaçların su emme potansiyelleri hakkında çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Suyun kılcal akış mekanizması ilk defa Washburn (1921) tarafından araştırılmıştır. Birçok araştırmacı, doğal yapı taşlarının dokusal ve yapısal özelliklerinin, suyun kılcal su emme özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, kılcal su emilimi için önemli olan doğal taşların gözenek boyutu, petrografik ve yapısal özelliklerini tanımlamak için çalışmışlardır (Ordoñez ve diğ., 1997; Iñigo ve diğ., 2000; Mosquera ve diğ., 2000; Nicholson 2001; Chabas ve Jeannette 2001; Peruzzi ve diğ., 2003; Karoglou vd. 2005; Moreno ve diğ., 2006; Ioannou ve Holf, 2009; Vázquez ve diğ., 2010; Tomašić ve diğ., 2011; Juhász ve diğ., 2014; Çobanoğlu, 2015; Çelik ve Kaçmaz, 2016; Karagiannis ve diğ., 2016; Çelik ve Yılmaz, 2018)

Günümüze kadar gelmiş olan doğal yapı taşları, atmosferik ve çevresel şartlara bağlı olarak ayrışmaktadır. Tarihi yapılarda kullanılan doğal yapı taşlarının su emilimini azaltarak korunması amacıyla restorasyon ve konservasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda

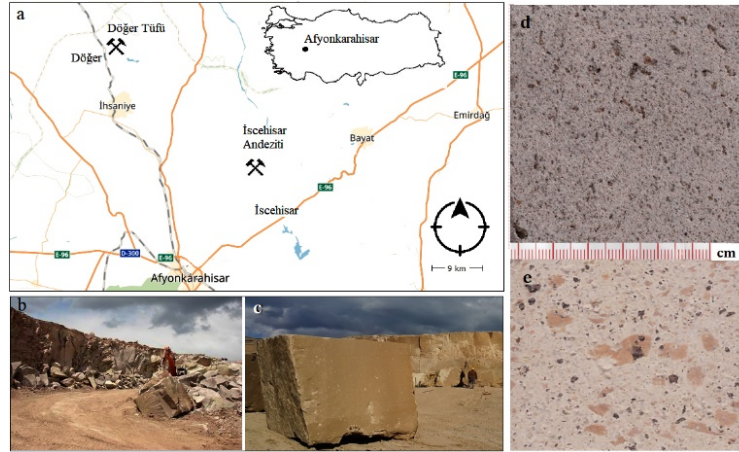
reçine esaslı yüzey koruyucu kimyasal maddeler de kullanılmaktadır. Literatürde laboratuvar ortamında koruyucu kimyasal maddeler kullanılarak doğal yapı taşlarının su emilimini inceleyen çalışmalar yer almaktadır (Ioannou, 2008; Kılıç ve Gültekin, 2009; Thomachot-Schneider ve diğ., 2011; Pinna ve diğ., 2011; Licchelli ve diğ., 2013; Pérez ve diğ., 2014; Tulliani ve diğ., 2014).

Yapı taşı olarak kullanılan doğal taşların su emmeden kaynaklanan hasarların etkisini azaltmak amacıyla su emme miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Döğer tüfü ve andezitin saf su ve tuzlu (Na_2SO_4 ve NaCl) sularda kılcal su emme potansiyellerini değerlendirmek amacıyla laboratuvarda deneyler yapılmıştır. Aynı deneyler su emme miktarını azaltmayı hedefleyen yüzey koruyucu reçine sürülmüş örneklerde de tekrarlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Deneylerde kullanılmak üzere Afyonkarahisar yöresinde üretilen ve tarihi zamanlardan beri yapı taşı olarak kullanılan Döğer tüfü ve İscehisar andeziti seçilmiştir. Söz konusu örneklerin alındığı ocakların lokasyonu Şekil 2’de verilmiştir. Ocaklardan alınan bloklardan deneylerde kullanılmak üzere 5x5x5 cm boyutlu küp örnekler hazırlanmıştır. Deneylerde tuzlu çözeltiler için NaCl ve $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzları kullanılmıştır. Tuzlu su için tuz kristallenme standardında öngörüldüğü şekilde ağırlıkça %14 NaCl ve Na_2SO_4 içeren tuzlu çözeltiler kullanılmıştır. Su itici kimyasal madde olarak Teknosil marka şeffaf, siloksan esaslı, solvent bazlı ticari kimyasal madde kullanılmıştır.



Şekil 2:

Deneylerde kullanılan volkanik yapı taşı örneklerinin alındığı ocakların lokasyon haritası (a), ocakların görünümü; İscehisar andeziti (b) ve Döğer tüfü (c), andezitin (d) ve Döğer tüfünün (e) yüzey görünümü.

2.2. Yöntem

Yüzey koruyucu reçinenin Döğer tüfü ve andezitin kılcal su emme potansiyeli üzerine etkisinin incelenmesi üzerine gerçekleştirilen deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada deneylerde kullanılan yapı taşlarının malzeme karakterizasyonu yapılmıştır. Kılcal su emme olayının açıklanması ve değerlendirilmesi amacıyla örneklerin kimyasal, mineralojik-petrografik (polarizan mikroskopi, XRD), gözenek boyut dağılımı ve bazı fiziko-mekanik özellikler belirlenmiştir. İkinci aşamada ise kılcal su emme deneyleri, değişik sulu ortamlarda (saf, tuzlu ve sülfatlı sular) normal ve yüzey koruyucu reçineli örneklerle uygulanmıştır. Deneylerde su emme miktarını azaltma amaçlı yüzey koruyucu

reçine, kübik örneklerin her yüzeyine fırça ile tatbik edilmiş ve polimerizasyonu için 48 saat beklendikten sonra kullanılmıştır.

Kimyasal analizler Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarında Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazı, ince kesitler üzerindeki petrografik incelemeler Nikon Eclipse 2V100POL mikroskobu, XRD analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) Shimadzu marka XRD-6000 cihazı ve gözenek boyut dağılımı Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazı ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan yapı taşlarının bazı fiziko-mekanik özellikleri Tablo 1'de belirtilen ilgili standartlara göre her bir deney için 6 adet 5x5x5 cm boyutlu örnekler kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 1. Fiziko mekanik deneylerde kullanılan ilgili standartlar

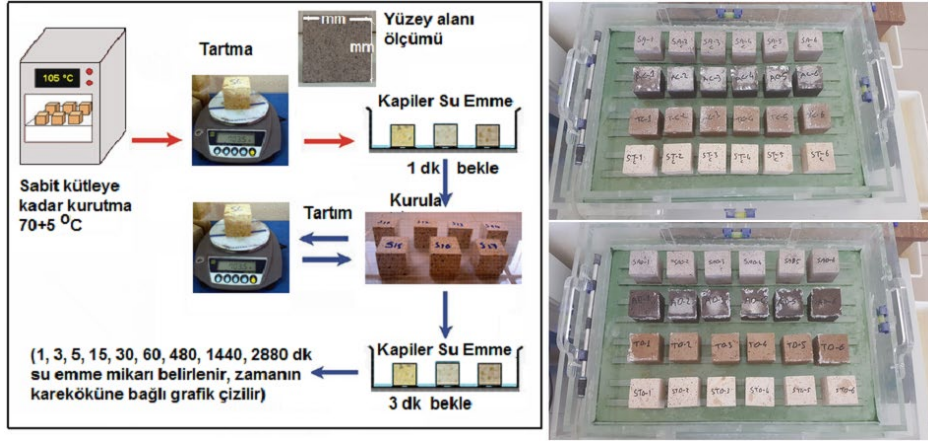
Testler	İlgili standart
Yoğunluk (kg/m ³)	TS EN 1936
Ağırlıkça su emme (%)	TS EN 13755
Gözeneklilik (%)	TS EN 1936
Ultrasonik dalga hızı (km/s)	TS EN 14579
Basınç dayanımı (MPa)	TS EN 1926
Kılcal su emme (kg/m ² s ^{0.5})	TS EN 1925

2.2.1. Kılcal Su Emme Deneyleri

Kılcal su emme deneyleri, TS EN 1925 standardına göre her bir kayaç ve çözelti için 6'şar adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kılcal su emme deney prosedürü ve örneklerin görünümü Şekil 3'de verilmiştir. Kuru ağırlığı tartılan örneklerin taban alanları ölçülerek 3,00±1 mm derinliğinde suya temas edecek şekilde deney sıvısı içerisine yerleştirilmiştir. 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 ve 4320 dakika suya temas eden örnekler, bekleme süresi sonunda alınarak yüzeyi kurulanmış ve her bir örnek 0,01 gr hassasiyetle tartılarak zaman aralığına bağlı olarak emdikleri su miktarları belirlenmiştir. Tuzlu çözeltilerde buharlaşmayı önlemek için deney kaplarının yüzeyi kapatılmış ve çökelmeyi önlemek için zaman zaman karıştırılmıştır. Denklem 1'de verilen formüle göre kılcal su emme katsayısı (C) hesaplanmış olup sonuçlar, zamanın kareköküne karşı grafik olarak çizilmiştir.

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

Burada; m_i : su emmiş numune ağırlığı (g), m_d : kuru numune ağırlığı (g), A: suya temas eden yüzey alanı (m²) ve t_i : zaman (s) olarak verilmiştir.



Şekil 3:

Deneylerde kullanılan volkanik yapı taşı örneklerine uygulanan TS EN 1925 deney prosedürü ve örneklerin görünümü.

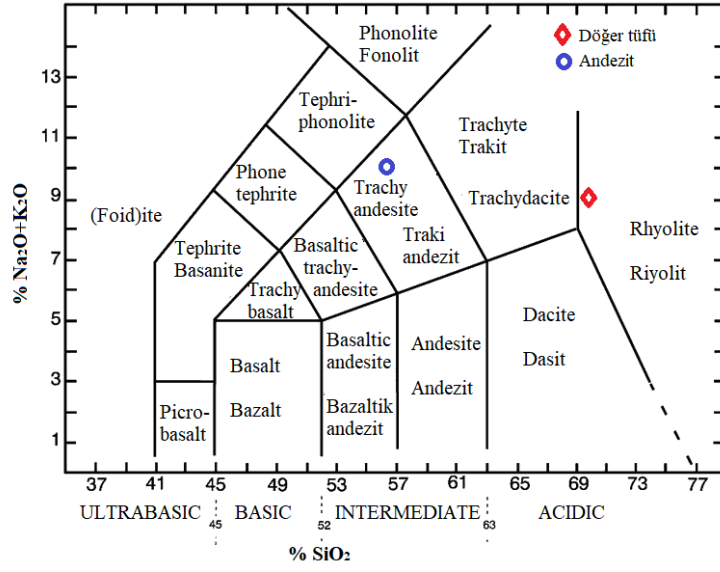
3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1. Döğler Tüfü ve İschehisar Andezitinin Kimyasal Analizi

Deneylerde kullanılan Döğler tüfü ve andezit örneklerinin XRF yöntemiyle yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Her iki örneğin de en büyük kimyasal bileşimini SiO₂ oluşturmaktadır. Bunu Al₂O₃ ve K₂O izlemektedir. Volkanik kayaların kökenini bulmak amacıyla TAS (toplam alkali-silis) diyagramları kullanılmaktadır. Le Bas ve diğ., (1992) tarafından önerilen TAS diyagramı kullanılarak andezitin traki-andezit ve Döğler tüfünün riyolit kökenli magmadan oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 4).

Tablo 2. Deneylerde kullanılan volkanik yapı taşı örneklerinin kimyasal analizleri

Kimyasal bileşim (%)	Andezit	Döğler tüfü
SiO ₂	56,70	70,36
Al ₂ O ₃	16,10	13,53
Fe ₂ O ₃	5,39	1,43
MgO	2,10	0,15
CaO	5,40	1,65
Na ₂ O	2,80	2,34
K ₂ O	7,09	6,85
TiO ₂	1,19	0,05
P ₂ O ₅	1,00	0,01
SrO	0,13	0,006
A.Z.	1,47	3,18



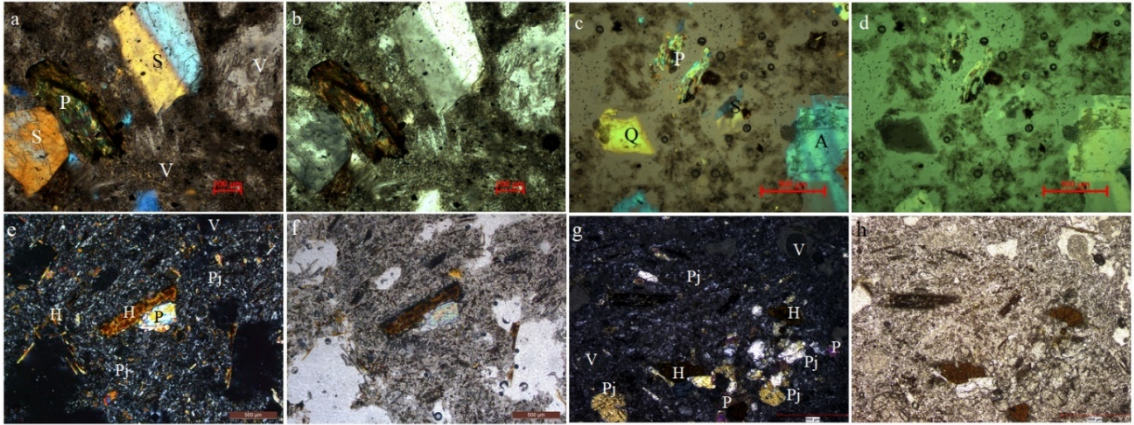
Şekil 4:

Deneylerde kullanılan volkanik yapı taşı örneklerinin toplam alkali içeriğine karşı silis Le Bas ve diğ., (1992) diyagramında sınıflandırılması.

3.2. Petrografik ve Mineralojik Analizler

3.2.1. Döğer Tüfü ve İncehisar Andezitinin Polarizan Mikroskop Analizi

Deneyisel çalışmalarda kullanılan Döğer tüfü ve andezitin petrografik özelliklerini belirlemek üzere hazırlanan ince kesitler üzerinde polarizan mikroskop çalışmaları yapılmış olup elde edilen resimler Şekil 5’de verilmiştir. Döğer tüfü kuvars, plajiyoklaz, sanidin, piroksen ve volkanik camdan meydana gelmiştir. Söz konusu mineraller feno kristal olarak gözlenmektedir. Sanidin ve piroksen mineralleri yer yer ayrışma izleri taşımaktadır. Matriks, ince kıymıklar şeklinde olup yer yer kayaç parçaları da içermektedir.



Şekil 5:

Deneylerde kullanılan volkanik yapı taşı örneklerinin ince kesit görüntüleri Döğer tüfü; (a, c) çift nikol, (b, d): tek nikol. S: sanidin, Pj: plajiyoklaz, Q: kuvars, P: piroksen, V: volkan camı.
İncehisar andeziti; (e, g) çift nikol, (f, h) tek nikol. H: hornblend, P: piroksen ve Pj: plajiyoklaz, V: volkan camı

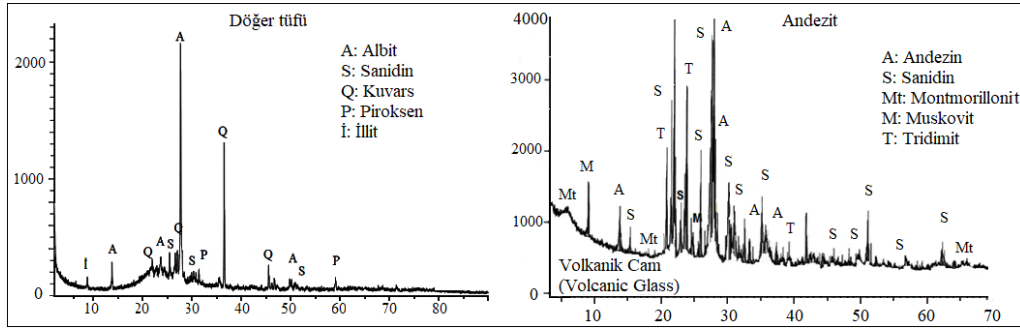
Andezitin bileşimini plajiyoklaz, piroksen ve hornblend mineralleri oluşturmaktadır. Matriks, akma dokusu şeklinde daha çok plajiyoklaz minerallerinden meydana gelmiştir. Piroksen ve

hornblendlerde çatlaklar belirgin olup yer yer demir oksit sıvamarları görülmektedir. Değişik büyüklüklerde gözenekler de bulunmaktadır.

3.2.2. Döğer Tüfü ve İschehisar Andezitinin XRD analizi

İncelenen volkanik kayaların mineral bileşimlerini belirlemek amacıyla yapılan XRD analizi sonucunda elde edilen piklerin görünümü Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre tüf örneği albit, sanidin, kuvars, piroksen ve illit minerallerinden oluşmuştur. İllit oluşumu kil minerali oluşumunu göstermektedir. Bu da tüflerin ayrışmaya başladığının bir işaretidir.

Andezitin bileşiminde andezin, sanidin, montmorillonit, muskovit ve tridimit mineralleri belirlenmiştir. Bileşimin büyük çoğunluğu feldispat minerallerinden meydana gelmiştir. Burada da montmorillonit oluşumu kil minerali varlığını göstermektedir.



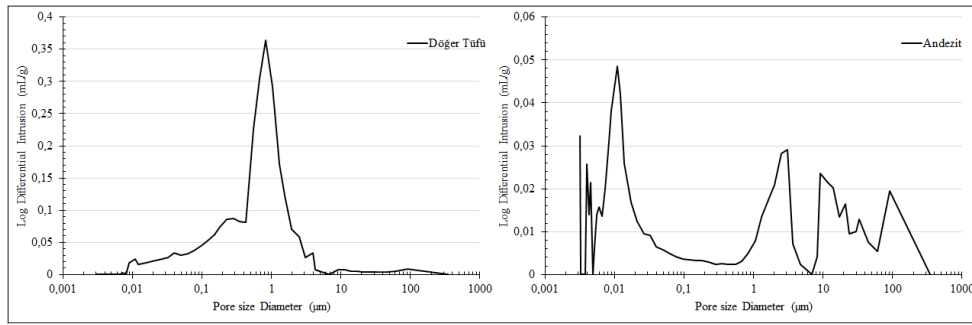
Şekil 6:

Deneylerde kullanılan Döğer tüfü ve İschehisar andeziti örneklerinin XRD grafiği.

3.3. Döğer Tüfü ve İschehisar Andezitinin Gözenek boyut dağılımı

Doğal yapı taşlarının ayrışmasına sebep olan en önemli faktörlerden birisi olan su, taşların içerisine kılcal yollarla girmektedir. Emilen suyun malzeme içindeki hareketi gözenek boyutu ile doğrudan ilişkilidir. Taşların sahip olduğu gözenek boyutu Klopfer (1985) tarafından: mikro gözenek (<0,1 µm), mezo gözenek (kılcal gözenek) (0,1 µm-1 mm) ve makro gözenek (>1 mm) olarak sınıflandırılmıştır. Burada kılcal su emme ile ilgili olan gözenek boyutu 0,1 µm ve 1 mm arasındakilerdir. Buna göre doğal yapı taşlarında gözenek boyutları küçüldükçe kılcal su emme özelliği artmaktadır. İncelenen örneklerin civalı porozimetre yöntemiyle ölçülen gözenek boyut dağılımları grafiği Şekil 7'de verilmiştir.

Döğer tüfleri 0,01-8 µm arasında bir boyut aralığı göstermekte olup unimodal dağılım (tek tepeli), bir dağılım sergilemektedir. Tüflerde gözenek boyutu 1 µm civarında yoğunlaşmıştır. Andezit ise 0,08-350 µm arasında birden çok maksimum değerlere sahip multimodal (çok tepeli) bir boyut dağılımına sahiptir. Döğer tüflerinin andezitlere göre daha küçük gözeneklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu özelliğinden dolayı Döğer tüflerinin andezitlere göre daha fazla kılcal su emme kapasitesine sahip olduğu beklenmektedir. Gözeneklilik oranı bakımından da Döğer tüfleri %42,03, andezit %19,73 toplam gözenekliliğe sahiptir.



Şekil 7:

Deneylerde kullanılan volkanik yapı taşı örneklerinin gözenek boyutu dağılımı.

3.4. Döğer Tüfü ve İscehisar Andezitinin Fiziko-mekanik Özellikleri

Deneylerde kullanılan Döğer tüfü ve andezit örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri standartlara göre belirlenmiş olup elde edilen sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir. Döğer tüfü andezitlere göre daha düşük yoğunluk, ultrases geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı verirken daha yüksek su emme ve gözeneklilik değerlerine sahiptir. Gözeneklilik değeri yüksek olan taşlar yüksek su emme değeri verirken daha düşük yoğunluk, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımına sahiptir. Özellikle dış mekanlarda kullanılacak ve atmosfer etkilere açık olan doğal taşların düşük gözenekli olması istenmektedir.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan Döğer tüfü ve andezit örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri

Deneyler	Andezit			Döğer tüfü		
	min	maks.	ortalama	min	maks.	ortalama
Yoğunluk (gerçek) (kg/m ³)	2777	2787	2782	2,557	2567	2561
Ağırlıkça su emme (%)	1,97	3,78	2,68	20,15	20,91	20,49
Açık gözenek (%)	3,82	7,40	4,74	25,33	27,11	26,12
Toplam gözenek (%)	18,32	20,35	19,73	42,14	42,90	42,03
Ultrases dalga hızı (km/s)	3,846	4,310	4,159	2,590	2,304	2,441
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	53,05	105,61	70,00	20,69	29,73	25,58

3.5. Döğer Tüfü ve İscehisar Andezitinin Kılcal Su Emme Özellikleri

Kılcal su emme mekanizması gözenek boyutu ve geometrisine bağlıdır. Kılcal su emme katsayısı, suyla temas eden belirli bir yüzey için su emme zamanının karekökü ile doğru orantılıdır (Mertz, 1991; Siegesmund ve Dürrast, 2011). Graue ve diğ., (2011) tarafından kılcal su emme katsayısı, $<0,5 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olan taşlar düşük kılcal su emme, $0,5-3,0 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olan taşlar orta kılcal su emme, $>3,0 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olan taşlar güçlü kılcal su emme gösteren taşlar şeklinde sınıflandırılmıştır.

Normal ve koruyuculu reçineli Döğer tüfü ve İscehisar andezitinin saf ve tuzlu (NaCl ve Na₂SO₄) sularda kılcal su emme potansiyellerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmış ve elde edilen veriler Tablo 4 ve 5’de verilmiştir.

Tablo 4. Döğer tüflerinde zamana bağı kılcal su emme katsayıları (K: Yüzey koruyucu reçine sürülmüş)

Zaman	t (dk)	1	3	5	10	15	30	60	480	1.440	2.880	4320
	\sqrt{ti} ($s^{0.5}$)	7,75	13,42	17,32	24,49	30	42,43	60	169,71	293,94	415,69	509,11
Kılcal su emme (C) ($kg/m^2 s^{0.5}$)												
Sulu ortam	Saf su	2,31	3,64	4,91	6,29	7,57	10,02	13,26	14,22	14,42	14,64	14,70
	NaCl su	4,02	5,45	6,06	7,09	8,07	8,82	11,17	14,99	15,07	15,42	15,68
	Sülfatlı su	2,79	3,37	4,15	5,09	7,03	9,86	12,45	14,47	14,60	14,95	15,26
	Saf su (K)	0,00	0,00	0,01	0,06	0,11	0,11	0,14	0,18	0,20	0,39	0,36
	NaCl su (K)	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,13	0,18	0,29	0,32
	Sülfatlı su (K)	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,06	0,09	0,15	0,24	0,46	0,58

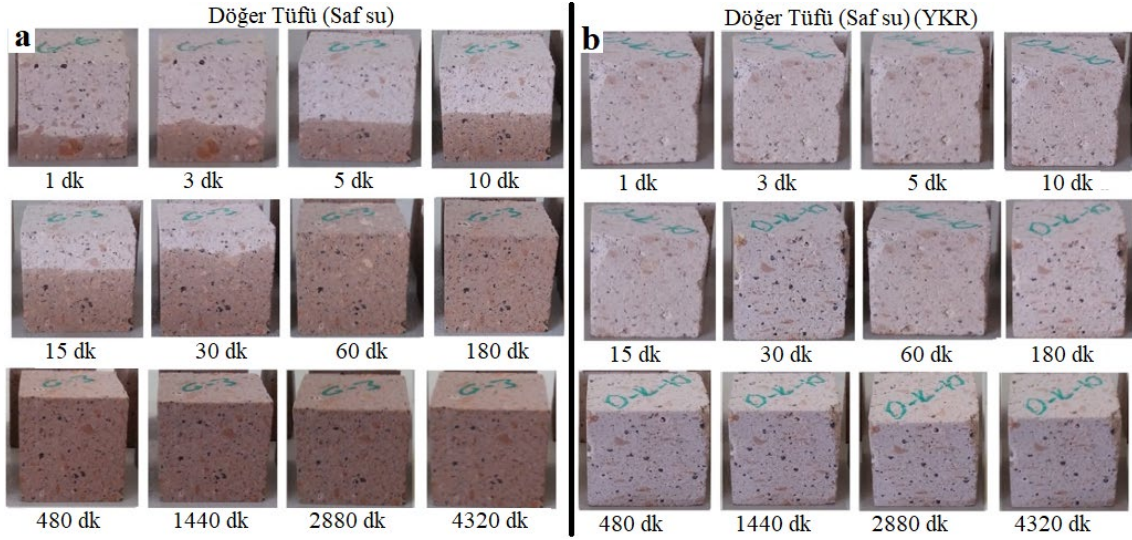
Tablo 5. Andezitlerde zamana bağı kılcal su emme katsayıları (K: Yüzey koruyucu reçine sürülmüş)

Zaman	t (dk)	1	3	5	10	15	30	60	480	1.440	2.880	4320
	\sqrt{ti} ($s^{0.5}$)	7,75	13,42	17,32	24,49	30	42,43	60	169,71	293,94	415,69	509,11
Kılcal su emme (C) ($kg/m^2 s^{0.5}$)												
Sulu ortam	Saf su	0,29	0,38	0,44	0,49	0,56	0,66	0,74	0,90	1,16	1,56	1,75
	NaCl su	0,18	0,34	0,47	0,62	0,73	0,83	0,99	1,17	1,60	2,43	2,77
	Sülfatlı su	0,18	0,28	0,35	0,41	0,50	0,66	0,96	1,22	1,70	2,63	3,04
	Saf su (K)	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,11	0,18	0,27	0,52	0,62
	NaCl su (K)	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,05	0,06	0,11	0,21	0,25
	Sülfatlı su (K)	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06	0,09	0,16	0,32	0,38

3.5.1. Saf Suda Kılcal Su Emme Deneyi

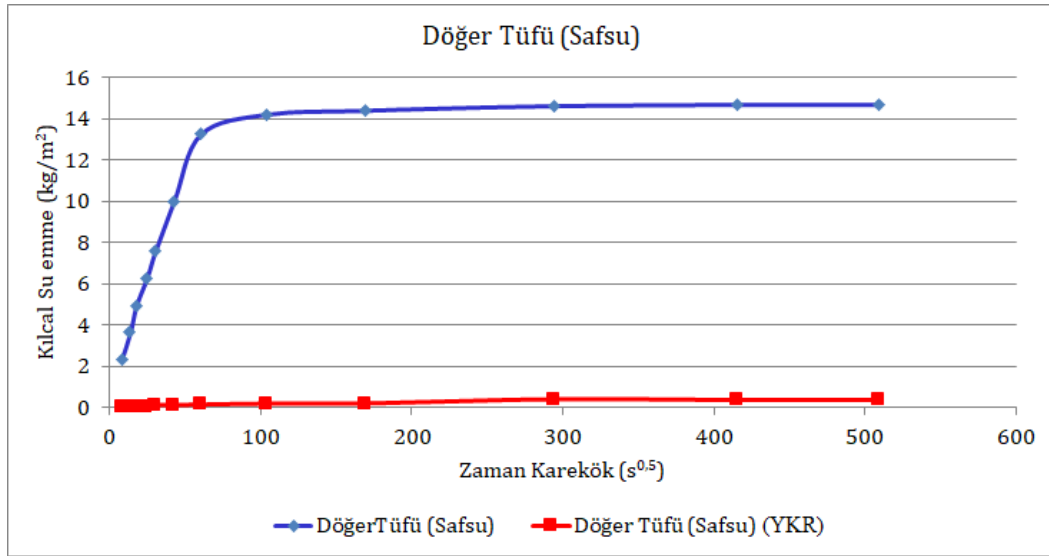
3.5.1.1. Döğer Tüflerinin Saf Suda Kılcal Su Emme Deneyi

Döğer tüfü örneklerinin saf suda kılcal su emme potansiyelini belirlemek amacıyla 6 adet normal ve 6 adet yüzey koruyucu reçine (YKR) sürülmüş örnek kullanılmıştır. Deneyler sırasında su emme sürelerine göre örneklerin kılcal su emme seviyeleri Şekil 10'da, su emme grafiği de Şekil 11'de verilmiştir. Bu deney sonucunda 4320 dk sonra tuf örneklerinin kılcal su emme katsayısı (C) $14,70 kg/m^2 s^{0.5}$ bulunmuştur. Saf suda tuf örnekleri, 60. dk dan itibaren suya doygun hale gelmiştir. Bu duruma tüflerin 0,01-8 μm arasında kılcal özelliğe sahip bir gözenek boyut dağılımı göstermesi ve unimodal bir dağılım (tek tepeli) sergilemesi etkili olmuştur. YKR sürülmüş örneklerde ise reçinenin koruyucu etkisi özelliği nedeniyle su emme sınırlandırılmış ve su emme katsayısı $0,36 kg/m^2 s^{0.5}$ seviyesinde kalmıştır.



Şekil 8:

Deneylerde kullanılan Döğer tüfü örneklerinin saf suda kılcal su emme deneyi kılcal su emme seviyeleri. YKR sürülmemiş örnekler (a), YKR sürülmüş örnekler (b)



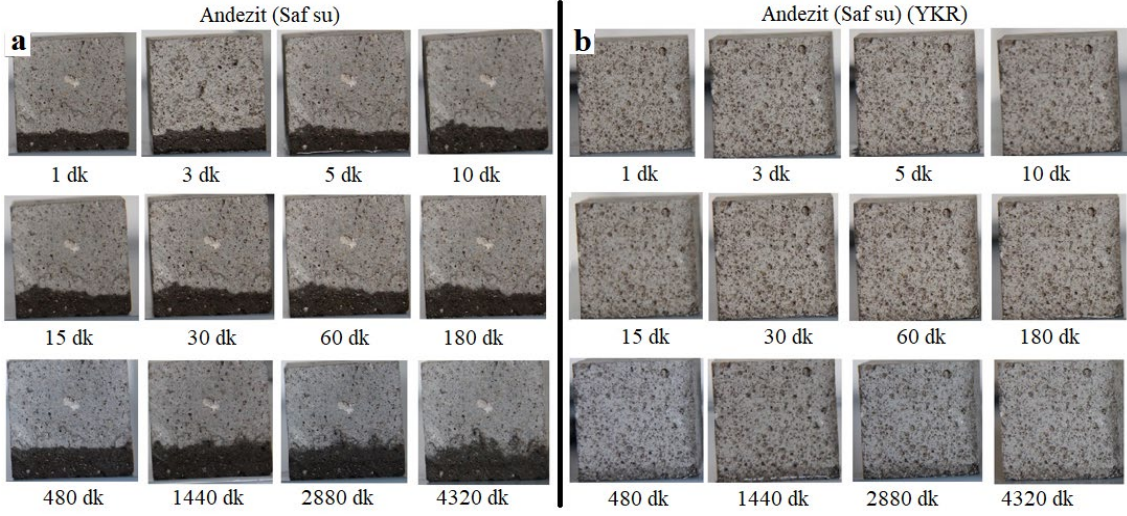
Şekil 9:

Deneylerde kullanılan YKR sürülmemiş ve sürülmüş Döğer tüfü örneklerinin saf suda kılcal su emme grafiği.

3.5.1.2. Andezitlerin Saf Suda Kılcal Su Emme Deneyi

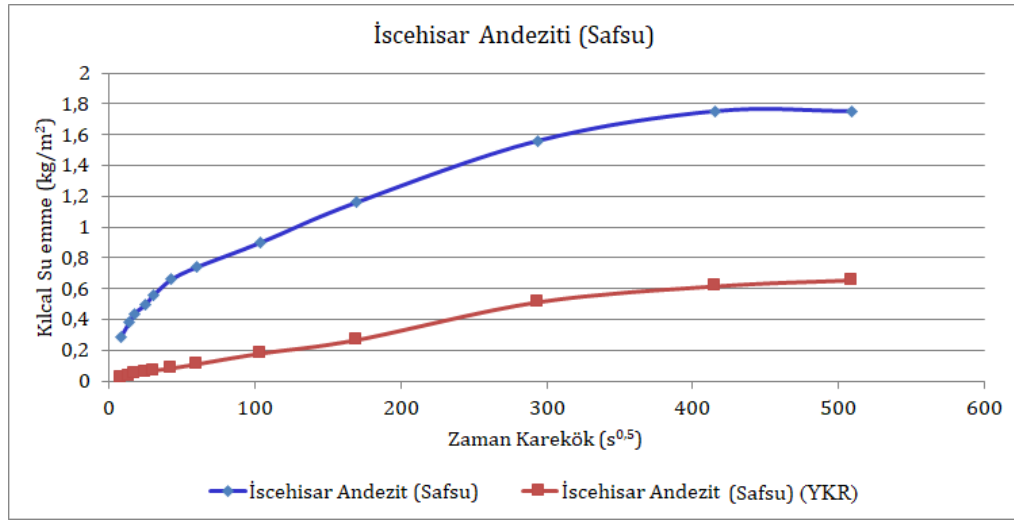
Andezit örneklerinin saf suda kılcal su emme potansiyelini belirlemek amacıyla 6 adet normal ve 6 adet yüzey koruyucu reçine (YKR) sürülmüş örnek üzerinde TS EN 1925 standardına göre deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Deneyler sırasında süreler göre örneklerin kılcal su emme seviyeleri Şekil 10'da, su emme grafiği de Şekil 11'de verilmiştir. Bu deney sonucunda 4320 dk sonra andezit örneklerinin kılcal su emme katsayısı (C) $1,75 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ bulunmuştur. Saf suda andezit örnekleri 4320 dk sonunda tam olarak doyumluğa ulaşmamıştır. YKR sürülmüş örneklerde ise bu değer $0,62 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ olarak gerçekleşmiştir. Saf suda andezit, Döğer tüflerine göre 7,4 kat daha az kılcal su emme göstermiştir. Bu duruma andezitin kılcal

gözenek dağılımının tüflere göre daha az olması ve multi modal (çok tepeli) bir boyut dağılımı göstermesi neden olmuştur.



Şekil 10:

Deneylerde kullanılan Andezit örneklerinin saf suda kılcal su emme seviyeleri. YKR sürülmemiş örnekler (a), YKR sürülmüş örnekler (b)



Şekil 11:

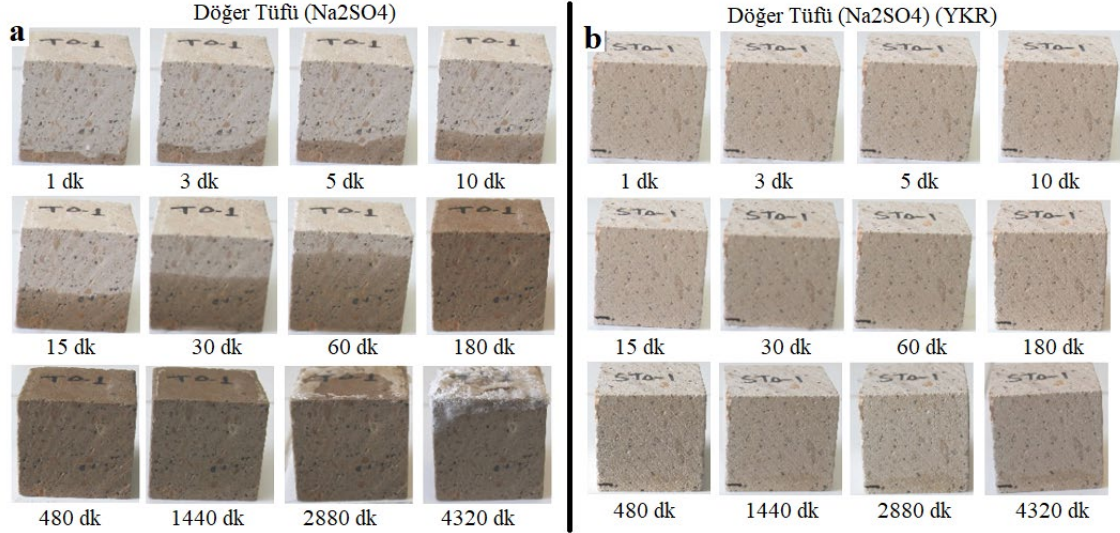
Deneylerde kullanılan YKR sürülmemiş ve sürülmüş Andezit örneklerinin saf suda kılcal su emme grafiği.

3.5.2. Sodyum Sülfat Dekahidrat Çözeltisinde Kılcal Su Emme Deneyi

3.5.2.1. Döğür Tüflerinin Sodyum Sülfat Dekahidrat Çözeltisinde Kılcal Su Emme Deneyi

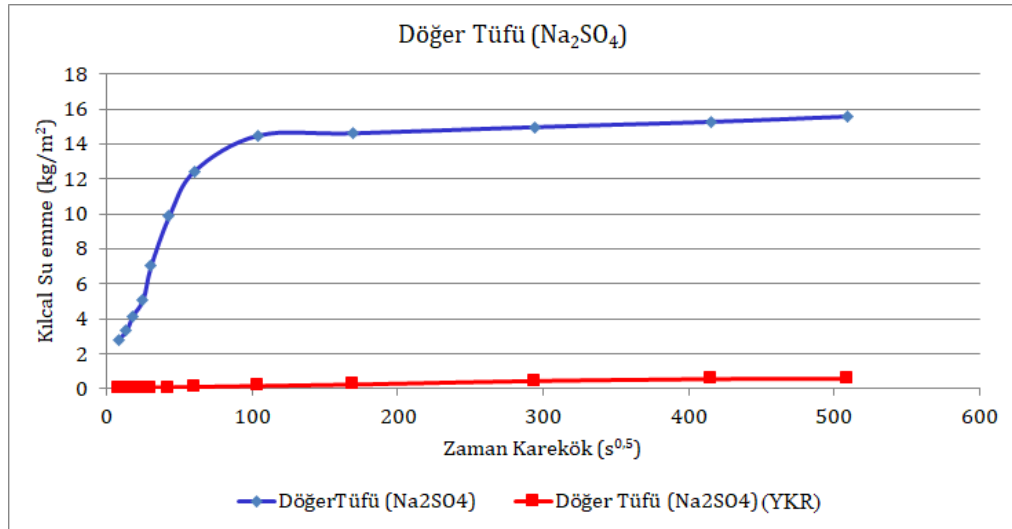
Doğal ortamlarda tuzlu suların da bulunabileceğinden hareketle Döğür tüflerine sodyum sülfatlı sularda kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Bu amaçla %14'lük Na₂SO₄ 10H₂O sulu çözeltisinde 6 normal ve 6 adet de YKR sürülmüş örnekler, TS EN 1925 standardına göre kılcal su emme deneyi uygulanmıştır. Döğür tüflerinin zamana göre kılcal su emme seviyeleri Şekil 12'de ve su emme grafiği de Şekil 13'de verilmiştir. Tüf örneklerinin 180 dakikalık süreçte tamamen su ile doymuş hale geldiği gözlenirken 2880 dakikadan sonra yüzeylerde tuz

birikintileri oluşmaya başladığı görülmüştür. Döğer tüflerinin sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde 4320 dakika sonrasında kılcal su emme katsayısı $15,26 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{0,5}$ olarak belirlenmiştir. YKR sürülmüş örneklerde ise bu veri $0,58 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{0,5}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 12:

Deneylerde kullanılan Döğer tüfü örneklerinin sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde kılcal su emme seviyeleri. YKR sürülmemiş örnekler (a), YKR sürülmüş örnekler (b)



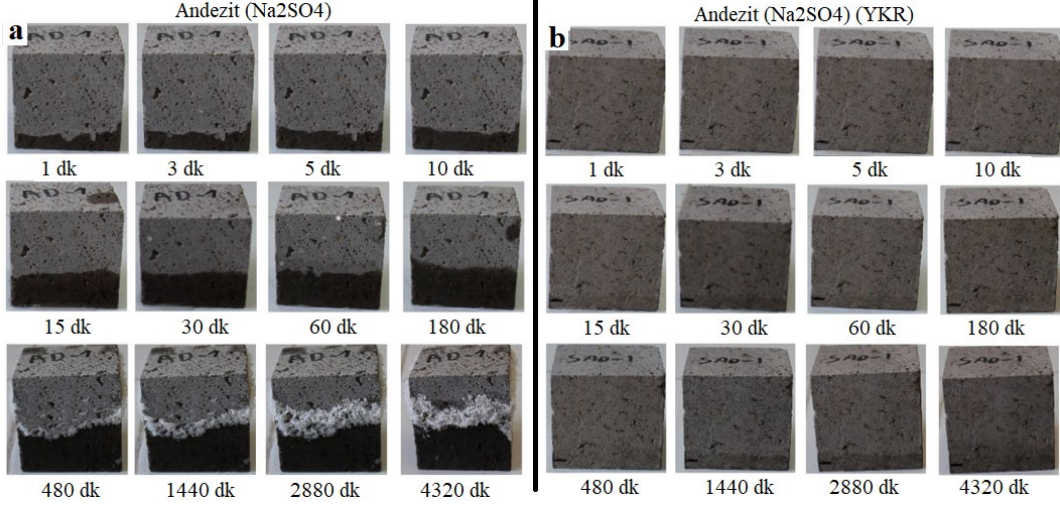
Şekil 13:

Deneylerde kullanılan YKR sürülmemiş ve sürülmüş Döğer tüfü örneklerinin sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde kılcal su emme grafiği.

3.5.2.2. Andezitlerin Sodyum Sülfat Dekahidrat Çözeltisinde Kılcal Su Emme Deneyi

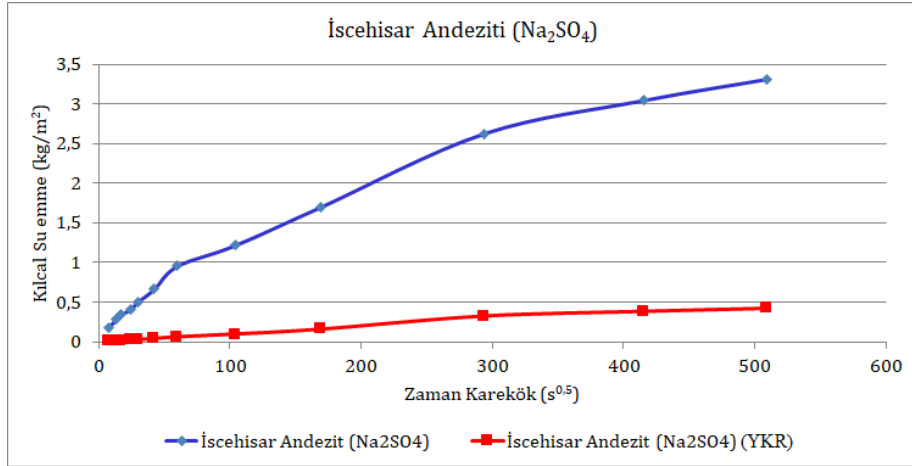
Andezit örneklerine sodyum sülfatlı sularda kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Bu amaçla %14'lük $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ sulu çözeltisinde 6 normal ve 6 adet de YKR sürülmüş andezit örneklerine, TS EN 1925 standardına göre kılcal su emme deneyi uygulanmıştır. Andezitlerin zamana göre kılcal su emme seviyeleri Şekil 14'de ve su emme grafiği de Şekil 15'de verilmiştir. Andezit örnekleri, 4320 dakikalık süreçte tamamen su ile doymun hale gelmediği gözlenmiş olup tam doymunluk için daha uzun sürelerle ihtiyaç duyulmaktadır. Örneklerde 480

dakikadan sonra yüzeylerde tuz birikintileri oluşmaya başladığı görülmüştür. Andezitlerin sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde 4320 dakika sonrasında kılcal su emme katsayısı $3,04 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{0.5}$ olarak belirlenmiştir. YKR sürülmüş örneklerde ise bu veri $0,38 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{0.5}$ olarak ölçülmüş olup kılcal su emme miktarı önemli ölçüde azalmıştır.



Şekil 14:

Deneylerde kullanılan Andezit örneklerinin sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde kılcal su emme seviyeleri. YKR sürülmemiş örnekler (a), YKR sürülmüş örnekler (b)



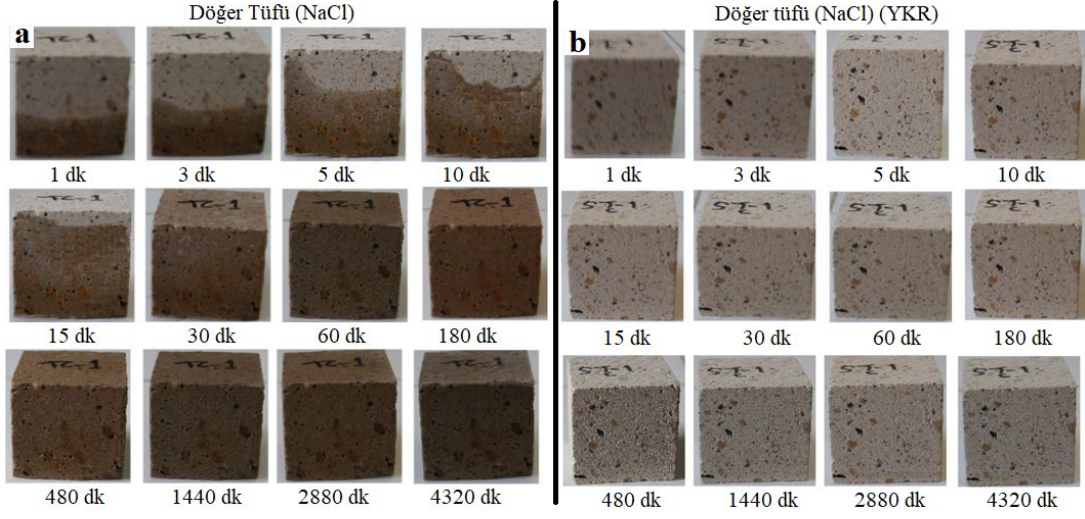
Şekil 15:

Deneylerde kullanılan YKR sürülmemiş ve sürülmüş Andezit örneklerinin sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde kılcal su emme grafiği.

3.5.3. Sodyum Klorür Çözeltisinde Kılcal Su Emme Deneyi

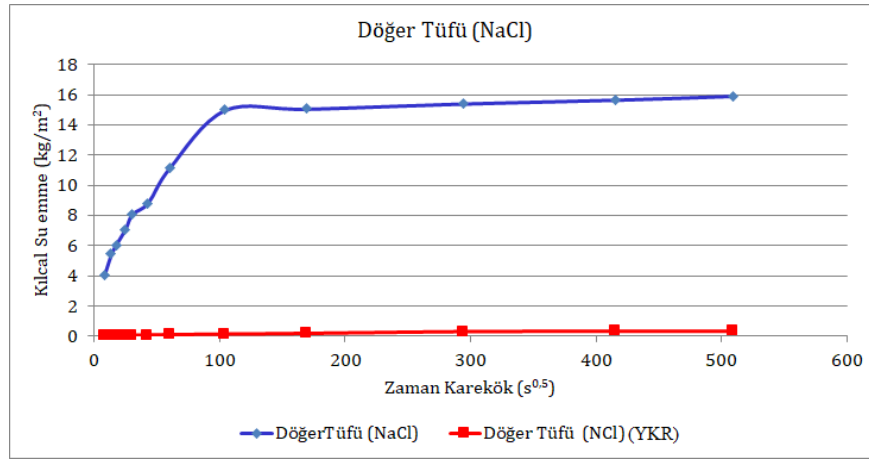
3.5.3.1. Döğür Tüflerinin Sodyum Klorür Çözeltisinde Kılcal Su Emme Deneyi

Normal ve YKR sürülmüş Döğür tüflerinin sodyum klorür çözeltisinde (%14'lük) kılcal su emme deneyi yapılmış olup kılcal su emme seviyeleri Şekil 16'de ve kılcal su emme grafiği de Şekil 17'de verilmiştir. Döğür tüfleri normal örneklerinin 30 dakika sonra tam doymun hale geldiği görülmektedir. Sodyum klorür çözeltisinde 4320 dakika sonrasında kılcal su emme katsayısı $15,68 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{0.5}$ olarak gerçekleşmiştir. Saf suya göre sodyum klorürlü suda %6,67 daha fazla kılcal su emme gerçekleşmiştir. Bunun nedeni suyu daha aktif hale getiren NaCl iyonlarıdır. YKR sürülmüş Döğür tüfü örneklerinde bu değer $0,32 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{0.5}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 16:

Deneylerde kullanılan Döğer tüfü örneklerinin sodyum klorür çözeltisinde kılcal su emme seviyeleri. YKR sürülmemiş örnekler (a), YKR sürülmüş örnekler (b)

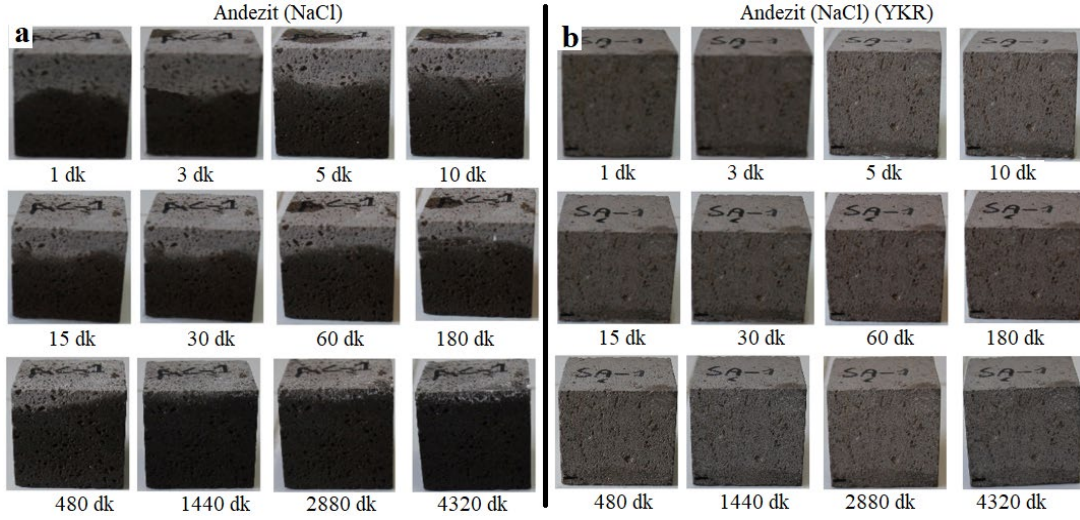


Şekil 17:

Deneylerde kullanılan YKR sürülmemiş ve sürülmüş Döğer tüfü örneklerinin sodyum klorür çözeltisinde kılcal su emme grafiği.

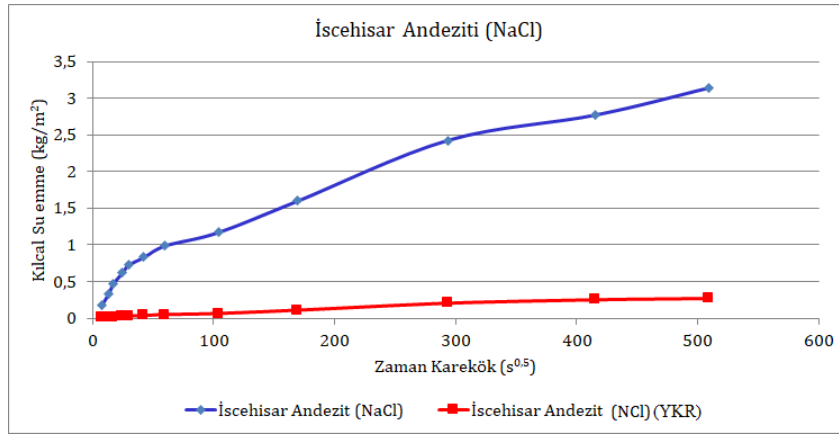
3.5.3.2. Andezitlerin Sodyum Klorür Çözeltisinde Kılcal Su Emme Deneyi

Andezit örneklerine sodyum klorürlü sularda kılcal su emme deneyi yapılması amacıyla %14'lük NaCl sulu çözeltisinde 6 normal ve 6 adet de YKR sürülmüş andezit örneklerine, TS EN 1925 standardına göre kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Andezitlerin zamana göre kılcal su emme seviyelerini gösteren resimler Şekil 18'de ve kılcal su emme grafiği de Şekil 19'de verilmiştir. Andezit örnekleri, 4320 dakikalık süreçte tamamen su ile doymun hale gelmediği gözlenmiş olup tam doymunluk için daha uzun sürelerle ihtiyaç duyulmaktadır. 2880 dakikadan sonra andezit örnekleri yüzeylerinde tuz birikintileri oluşmaya başladığı görülmektedir. Andezitlerin sodyum klorür çözeltisinde 4320 dakika sonrasında kılcal su emme katsayısı 2,77 kg/m²s^{0.5} olarak belirlenmiştir. YKR sürülmüş örneklerde ise bu veri 0,25 kg/m²s^{0.5} olarak tespit edilmiştir. YKR kullanım amacına uygun olarak kılcal su emme miktarı azaltarak andezitleri "düşük kılcal su emme" seviyesine indirmiştir.



Şekil 18:

Deneylerde kullanılan Andezit örneklerinin sodyum klorür çözeltisinde kılcal su emme seviyeleri. YKR sürülmemiş örnekler (a), YKR sürülmüş örnekler (b)

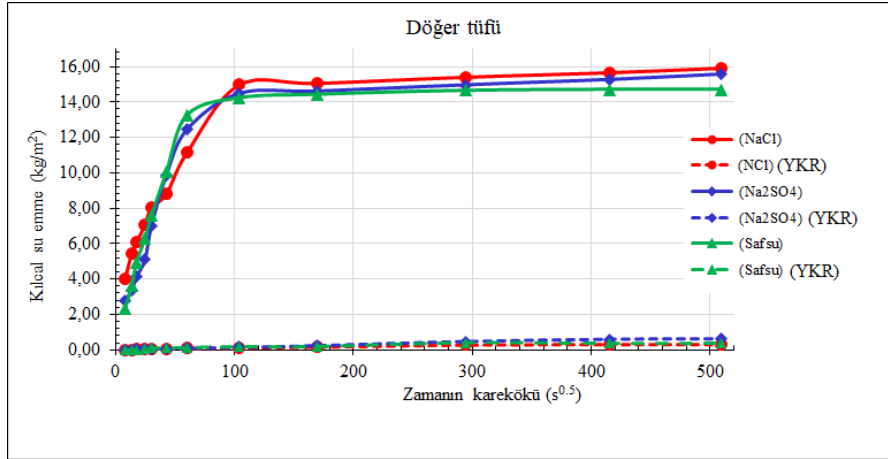


Şekil 19:

Deneylerde kullanılan YKR sürülmemiş ve sürülmüş Andezit örneklerinin sodyum klorür çözeltisinde kılcal su emme grafiği.

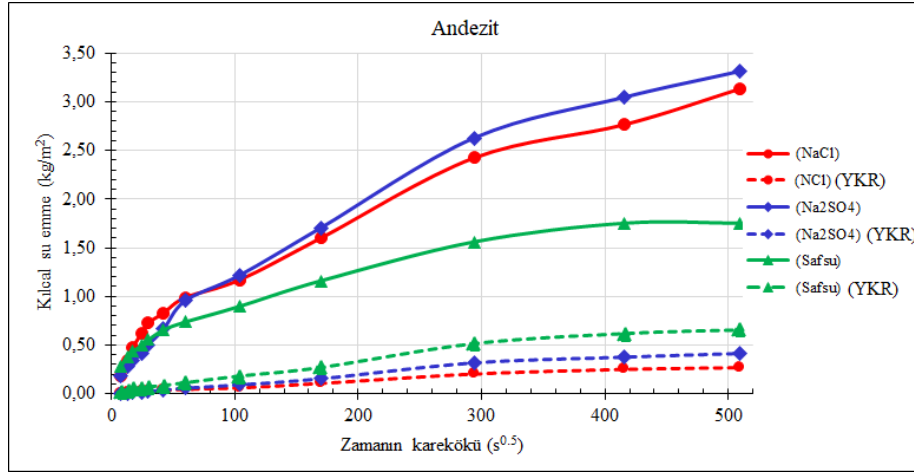
3.6. Saf Su ve Tuzlu Çözeltilerde Kılcal Su Emme Özelliklerinin Karşılaştırılması

Saf suya göre tuzlu suda bulunan tuz iyonları suyun yüzey gerilimini arttırmaktadır. Su molekülleri arasında hidrojen bağları bulunurken tuzlu sularda su ve tuz iyonları arasında iyondipol bağları oluşmaktadır. Yeni iyon-dipol bağları, hidrojen bağlarından daha güçlüdür. Başka bir deyişle, moleküller arası etkileşimin daha güçlü bir oluşumu vardır. Bundan başka; suya tuz eklerken, çözeltinin yoğunluğu artar. Bu, yüzey geriliminin daha büyük olmasının bir başka nedenidir (Hall ve Hoff, 2012). Bu özellikten dolayı Döğertüflerinde en fazla su emme sırasıyla sodyum klorürlü ($15,68 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$), sülfatlı ($15,26 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$) ve saf suda ($14,70 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$) gerçekleşmiştir (Şekil 20 ve 21). Döğertüflerinde tipik kılcal su emilim eğrisi gözlenmiştir. İschehisar andezitinin ise beklendiği gibi daha az kılcal su emme değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak saf ve klorürlü suda orta kılcal su emme özelliği gösterirken sülfatlı suda güçlü su emme özelliği göstermektedir. Tüf ve andezitlerde tuzlu su kılcal emilim değeri deney sonunda tüm taşlarda saf sudan daha büyük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 20:

YKR sürülmemiş ve sürülmüş Döğertüfü'nün saf, sülfatlı ve klorürlü sularda kılcal su emme grafiği



Şekil 21:

YKR sürülmemiş ve sürülmüş andezitin saf, sülfatlı ve klorürlü sularda kılcal su emme grafiği

4. SONUÇLAR

Tarihi yapılarda su emmeyi azaltmak için konservasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada Afyonkarahisar yöresinde üretilen ve eskiden beri yapı taşı olarak kullanılan Döğertüfü ve İncehisar andezitinin değişik sulu ortamlarda kılcal su emme kapasitesi belirlenmiştir. Deneylede kullanılan örneklerin kılcal su emme kapasitesini azaltmak amaçlı olarak YKR sürülerek deneyler tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar/veriler aşağıda verilmiştir.

Civalı porozimetre yöntemi ile belirlenmiş olan gözenek boyut dağılımı, Döğertüfüleri için 0,01-8 μm arasında unimodal (tek tepeli) dağılım gösterirken andezit 0,08-350 μm arasında birden çok maksimum değerlere sahip multimodal (çok tepeli) bir boyut dağılımı göstermektedir. Bu verilere göre tüfler, andezitlere göre daha fazla kılcal su emme değeri göstermiştir. Gözeneklilik oranı bakımından da Döğertüfüleri %42,03, andezit %19,73 toplam gözenekliliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Deneysel verilere göre kılcal su emme katsayıları normal tüflerde $14,7 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$ (saf su), $15,26 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$ (NaCl'li su) ve $15,68 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$ (Na_2SO_4 'lı su) iken andezitlerde $1,75 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$ (saf su), $2,77 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$ (NaCl'li su) ve $3,04 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$ (Na_2SO_4 'lı su) olarak belirlenmiştir. Bu

verilere göre tüfler “güçlü kılcal su emme” sınıfında iken andezitler “orta kılcal su emme” gösteren taşlar sınıfında yer almaktadır. Kılcal su emme miktarını azaltarak yapı taşlarının ayrışmasını önlemek amacıyla kullanılan yüzey koruyucu sürülmüş deney örneklerinde ise bu değerler 0,32 ile 0,62 arasında tespit edilmiştir. Bu durumda koruyucu kimyasal maddeler taşların kılcal su emme kapasitelerinde önemli miktarda azalmalar sağlamıştır.

Deneylerde kullanılan her iki doğal yapı taşının YKR sürülmüş örneklerinde ise kılcal su emme kapasitesi $1 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ altında kalmıştır. Bu durumda YKR sürüldüğü zaman örnekler “düşük-orta kılcal su emme” sınıfında yer almaktadır. Bu durum restorasyon ve konservasyon uygulamalarında büyük önem taşımakta olup doğal yapı taşlarının daha uzun ömürlü olmasına önemli katkıda bulunmaktadır. Sonuç olarak her iki yapı taşının da yüzey koruyucu kimyasal maddeler kullanılması durumunda kılcal su emme değerlerinde önemli iyileşmeler olacağı ortaya konmuştur. Ancak görünen yüzeylerde, koruyucu özelliği olmasına karşılık yerinde uygulamalar için tabandan su emilimini engelleyemeyeceğinden dolayı YKR'nin uygun bir yöntem olmayacağı unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

1. Chabas, A. ve Jeannette, D. (2001) Weathering of marbles and granites in marine environment: petrophysical properties and special role of atmospheric salts, *Environmental Geology*, 40(3), 359-368. doi: 10.1007/s002540000
2. Chen, T.C. Yeung, M.R. ve Mori, N. (2004) Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze-thaw action. *Cold Reg Sci Technol*, 38:127-136. doi: 10.1016/j.coldregions.2003.10.001
3. Coussy, O. (2006) Deformation and stress from in-pore drying-induced crystallization of salt. *J Mech Phys Solids*, 54:1517-1547. doi: 10.1016/j.jmps.2006.03.002
4. Çelik, M.Y. ve 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*, 75:307. doi: 10.1007/s12665-015-5132-x
5. Çelik, M.Y. ve Yılmaz, S. (2018) Statik, tuzlu ve asidik sulu ortamların Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan gözenekli yapıtaşlarının kılcal su emme potansiyeline etkisi, (Influence of the static, salty, acidic hydrous environments on the capillarity potential of the porously building stone,) *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(2), 591-607. doi: 10.17341/gazimmfd.416369
6. Çobanoğlu, İ. (2015) Prediction and identification of capillary water absorption capacity of travertine dimension stone, *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 10135. doi: 10.1007/s12517-015-1902-8
7. Derluyn, H. Moonen, P. Carmeliet, J. (2014) Deformation and damage due to drying induced salt crystallization in porous limestone, *J. Mech. Phys. Solids*, 63:242-255. doi: 10.1016/j.jmps.2013.09.005
8. Gökaltun, E. (1999) Atmosferik kirleticilerin kuru ve ıslak çökeltme mekanizmalarının kireçtaşlarındaki parlaklık kaybına etkisi. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt. 1(1), 134-156.
9. Hall, C. ve Hoff, W.D. (2012) *Water transport in brick, stone and concrete*, 2nd ed. pp 362. Taylor & Francis, London and New York, CRC Press.
10. İñigo, A.C., Vicente, M.A. ve Rives, V. (2000) Weathering and decay of granitic rocks: its relation to their pore network, *Mechanics of Materials*, 32, 555-560. doi: 10.1016/S0167-6636(00)00027-2

11. Ioannou, I. ve Hoff, W.D. (2008) Water repellent influence on salt crystallisation in masonry, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 161, 17–23.
12. Ioannou, I., Andreou, A., Tsikouras, B. ve Hatzipanagiotou, K. (2009) Application of the sharp front model to capillary absorption in a vuggy limestone, *Engineering Geology*, 105, 20–23. doi: 10.1016/j.enggeo.2008.12.008
13. Juhász, P., Kopecskó, K. ve Suhajda, Á. (2014) Analysis of capillary absorption properties of porous limestone material and its relation to the migration depth of bacteria in the absorbed biomineralizing compound, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, (58)2, 113–120. doi: 10.3311/PPci.7020
14. Graue, B., Siegesmund, S. ve Middendorf, B. (2011) Quality assessment of replacement stones for the cologne cathedral: mineralogical and petrophysical requirements, *Environmental Earth Sciences*, 63:1799–1822. doi: 10.1007/s12665-011-1077-x
15. Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W. ve Woolley, A.R. (1992) The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks, *Mineralogy and Petrology*, doi: 46:1-22. 10.1007/BF01160698
16. Licchelli, M., Malagodi, M., Weththimuni, M.L. ve Zanchi, C. (2013) Water-repellent properties of fluoro elastomers on a very porous stone. Effect of the application procedure. *Progress in Organic Coatings*, 76, 495–503. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.04.006
17. Karagiannis, N., Karoglou, M., Bakolas, A. ve 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
18. Karoglou, M., Moropoulou, A., Giakoumaki, A. ve Krokida, M.K. (2005) Capillary rise kinetics of some building materials, *Journal of Colloid and Interface Science*, 284, 260–264. doi: 10.1016/j.jcis.2004.09.065
19. Kılıç, İ. ve Gültekin, A. H. (2009) Effects of surface protection resin on water absorption and strenght of sandstone. *5th International Advanced Technologies Symposium*, Karabuk University, 2196-2199.
20. Klopfer, H. (1985) *Feuchte*, In: Lutz P et al (eds) *Lehrbuch der Bauphysik*, Teubner, Stuttgart, 329–472.
21. Mertz, J.D. (1991) Structures de porosité et propriétés de transport dans les grès, *Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur*, Starsbourg.
22. Moreno, F., Vilela, S.A.G., Antunes, A.S.G. ve Alves, C.A.S. (2006) Capillary-Rising salt pollution and granitic stone erosive decay in the parish church of Torre de Moncorvo (NE Portugal), *Journal of Cultural Heritage*, 7:56–66. doi: 10.1016/j.culher.2005.10.006
23. Mosquera, MJ. Rivas, T. Priet, B. ve Silva, B. (2000) Capillary rise in granitic rocks: Interpretation of kinetics on the basis of pore structure, *Journal of Colloid and Interface Science*, 222,41-45. doi: 10.1006/jcis.1999.6612
24. Nicholson, D.T. (2001) Pore properties as indicators of breakdown mechanisms in experimentally weathered limestones, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 819–838. doi: 10.1002/esp.228
25. Ordoñez, S., Fort, R. ve García del Cura, M.A. (1997) Pore size distribution and the durability of a porous limestone, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 30, 221-230. doi: 10.1144/GSL.QJEG.1997.030.P3.04

26. Pérez, N.A. Lima, E. Bosch, P. ve Méndez-Vivar, J. (2014) Consolidating materials for the volcanic tuff in western Mexico, *Journal of Cultural Heritage*, 15, 352–358. doi: 10.1016/j.culher.2013.07.010
27. Peruzzi, R. Poli, T. ve Toniolo, L. (2003) The experimental test for the evaluation of protective treatments: a critical survey of the “capillary absorption index”, *Journal of Cultural Heritage*, 4:251–254. doi: 10.1016/S1296-2074(03)00050-5
28. Pinna, D. Salvadori, B. ve Porcinai, S. (2011) Evaluation of the application conditions of artificial protection treatments on salt-laden limestones and marble, *Construction and Building Materials*, 25, 2723-2732. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.12.023
29. Siegesmund, S. ve Dürrast, H. (2011) *Physical and mechanical properties of rocks. in: stone in architecture, 4th edition*, Siegesmund S., Sneathlage R. eds., Berlin: Springer, 97–225. doi:
30. Thaulow, N. ve Sahu, S. (2004) Mechanism of concrete deterioration due to salt crystallization. *Mater Charact*, 53:123–127. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.011
31. Thomachot-Schneider, C. Gommeaux, M. Fronteau, G. Oguchi, C.T. Eyssautier, S. ve Kartheuser, B. (2011) A comparison of the properties and salt weathering susceptibility of natural and reconstituted stones of the Orval Abbey (Belgium), *Environmental Earth Sciences*, 63, 1447-1461. doi: 10.1007/s12665-010-0743-8
32. Tomašić, I. Lukić, D. Peček, N. ve Kršinić, A. (2011) Dynamics of capillary water absorption in natural stone, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70:673–680. doi: 10.1007/s10064-011-0355-x
33. TS EN 1936. (2010) Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Porozitelilik Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
34. TS EN 13755. (2014) Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
35. TS EN 14579. (2006) Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
36. TS EN 1926. (2013) Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
37. TS EN 1925. (2000) Doğal Taşlar- Deney metotları-Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
38. Tulliani, J. M. Serra, C.L. ve Sangermano, M. (2014) A visible and long-wavelength photocured epoxy coating for stone protection, *Journal of Cultural Heritage*, 15, 250–257. doi: 10.1016/j.culher.2013.07.003
39. Washburn, E.W. (1921) The dynamics of capillary flow, *Physical Review Journals*, 17:273–283. doi: 10.1103/PhysRev.17.273