



## Statik, tuzlu ve asidik sulu ortamların Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan gözenekli yapıtaşlarının kılcal su emme potansiyeline etkisi

Mustafa Yavuz Çelik<sup>1\*</sup>, Selim Yılmaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Gözenekli yapı taşları
- Farklı sulu ortamlar
- Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini

#### Makale Bilgileri

Geliş: 28.11.2016  
Kabul: 30.05.2017

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.416369

#### Anahtar Kelimeler:

Yapı taşları,  
gözeneklilik,  
andezit,  
tuf,  
kılcal su emme

#### ÖZET

Doğal yapı taşlarının ayrışmasında su önemli bir faktördür. Yapı taşları içine suyun girmesini sağlayan en önemli mekanizmalardan birisi de kılcal su emmedir. Kılcal su emme olayı esas olarak gözenek boyutuna ve gözenek sisteminin geometrisine bağlıdır. Bu çalışmada Afyonkarahisar civarında yapı taşı olarak kullanılan andezit, Ayazini ve Seydiler tüflerine bir dizi karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Söz konusu yapı taşlarının petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, XRD, SEM), kimyasal, gözenek çapı dağılımı ve fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deneye tabi tutulan yapı taşlarının statik, tuzlu ve asidik ortamlarda kılcal su emme özelliklerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda kılcal su emme potansiyelleri; andezitlerde 5,83 ile 6,88 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> arasında, Ayazini tüflerinde 21,18 ile 22,46 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> arasında, Seydiler tüflerinde ise 7,05 ile 9,30 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> arasında bulunmuştur. En fazla kılcal su emme değerleri yüksek asidik (pH 3) sularda ölçülmüştür. Her üç yapı taşının da kılcal su emme kapasitesi 3,0 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> den daha büyük olduğu için güçlü kılcal su emme gösteren taşlar sınıfında yer almaktadır.

## Influence of the static, salty, acidic hydrous environments on the capillarity potential of the porously building stone

### H I G H L I G H T S

- Porously building stone
- Different hydrous environments
- Water absorption coefficient by capillarity

#### Article Info

Received: 28.11.2016  
Accepted: 30.05.2017

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.416369

#### Keywords:

Building stone,  
porosity,  
andezite,  
tuff,  
capillary water absorption

#### ABSTRACT

One of the main factors that causes weathering of the natural building stones is the presence of water. Capillary water is responsible for allowing the water to enter in the building stones. This absorption mechanism depends mainly on the pore dimension and the geometry of the porosity system. In this research, a series of characterization studies were carried out on the andesite, Ayazini and Seydiler tuffs which are used as building stones in Afyonkarahisar area. Petrographic-mineralogical (polarized microscope, XRD, SEM), chemical, pore size distribution and physico-mechanical properties of the subject rocks have been determined. Experimental studies have been carried out to determine the water absorption properties of the rocks in the static, salty and acidic environments. As a result of these experiments, capillary water absorption potentials have been found to be in; between 5.83 and 6.88 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> for the andesite, between 21.18 and 22.46 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> for the Ayazini tuffs and between 7.05 and 9.30 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> for the Seydiler tuffs. The maximum capillary water uptake value was measured in high acidic (pH 3) water. Since the water absorption capacity of these building stones are greater than 3.0 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup>, they are classified as "stones that have strong water absorption".

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mycelik@aku.edu.tr / Tel: +90 272 246 3318

## 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Uygurlık tarihinde yer alan çok önemli anıt ve yapıların doğal taşlardan yapıldığı görülmektedir. Doğal taşlar estetik, dayanıklılık ve çok yönlü yapısal özellikleri nedeniyle antik dönemlerden beri kullanılan önemli bir yapı malzemesi olmuştur. Bu dönemlerde, genellikle yerel doğal taş kaynakları kullanılmıştır. Bu doğal taşlar, ne kadar dayanıklı olursa olsun hiçbir taş, sonsuza kadar sağlam olarak kalmaz. Yıllar boyunca yapılarda kullanılan doğal taşların birçoğu, atmosfer etkilerinden az ya da çok etkilenmektedir. Su gerek tek başına gerekse diğer çevresel etkenlerle beraber, yapı malzemeleri için önemli bir bozunma faktörüdür. Doğal yapı taşlarında ayrışmayı hızlandıran birçok kimyasal reaksiyonun da başlıca aktörü sudur. Doğal taşlar içinde suyun taşınması ve yer değiştirmesine yol açan mikro çatlak ve boşluklar; su emiliminin yanı sıra, kılcal su emme, organizmaların gelişimi, tuz taşınması ve kristalleşmesi gibi bozunmayı hızlandırıcı etkenleri ortaya çıkarabilmektedir. Yapılarda kullanılan doğal taşlar, zemin veya yüzey suları ile karşılaştığında gözeneklilik özelliklerine göre suyu bünyesine alma eğilimi gösterebilmektedir. Bu olay kendiliğinden gerçekleşir ve doğal taşlar içindeki gözeneklerin kontrol ettiği kılcal emme kuvveti ile ilişkilidir. Kılcal su emme olayı, doğal taşın gözenek sisteminin geometrisine, büyüklüğüne ve gözeneklerin birbiri ile bağlantılı olup olmamasına bağlıdır ve akışkan sıvının yüzey gerilimi ile gözenek duvarının emme kuvveti arasındaki denge ile gerçekleşmektedir [1, 2]. Doğal taşların içine suyun nüfuz etmesini, en iyi değerlendirme yöntemlerinden birisi, kılcal su emme potansiyelidir [3]. Yüksek gözeneklilik ve kılcal su emmeye bağlı olarak emilen sular, birçok doğal taş için fiziksel ve mekanik özelliklerde olumsuz etki yapmaktadır. Kılcallık etkisiyle emilen sular, soğuk iklimlerde donarak buza dönüşmektedir. Buz kristallerinin büyümesi ve artan hacmi nedeniyle gözeneklerde basınç oluşturarak taşın dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum, suyla beraber doğal taşların içine giren tuzların kristalleşmesi için de geçerlidir [4]. Doğal yapı taşlarında, kılcal su emmeyi konu alan birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Suyun gözenekli ortamda kılcal akış kinetiği, ilk olarak Washburn [5] tarafından teorik olarak incelenmiştir. Burada gözenekli ortam birbirine paralel ve çapı aynı olan iki tüp ile temsil edilmiştir. Birçok araştırmacı, kılcal su emme için çok önemli olan doğal taşların gözenek çapı, petrografik ve yapısal özelliklerini incelemiştir. Bu özelliklere ek olarak yüzey gerilimleri ve oluşan kimyasal reaksiyonları inceleyerek doğal taş içindeki suyun davranışını ve hareketini belirlemeye çalışmışlardır. Vazquez vd. [1], granitlerde çatlak özellikleri ile kılcal su emme ve ultrases dalga hızları arasında doğrusal bir korelasyon bulmuşlardır. Tomašić vd. [4], iki farklı kireçtaşı kullanarak dinamik sularda kılcal su emme potansiyelini incelemiştir. Taşın yapısal özelliklerinin, kılcal su emmeyi artırıp azaltabildiğini belirlemiştir. Peruzzi vd. [5], mutlak ve göreceli kılcal endeks değeri olmak üzere iki farklı yöntem üzerine bir çalışma yapmışlardır. Hoffmann ve

Niesel [6], taşların ayrışmasında gözenek yapısını incelemiştir. Mosquera vd. [7], üç farklı granitin kılcal su emme potansiyelini 0,24, 0,89 ve 1,24 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> olarak bulmuşlardır. Nicholson [8], beş farklı kireçtaşıyla ayrışma olayında, gözenek yapısının önemini incelemiştir. Karoglou vd. [9], dört yapı taşı, iki tuğla ve altı alçı olmak üzere farklı yapı malzemelerinde kılcal su emme kinetiğini incelemiştir. Ioannou vd. [10], farklı sıvılar kullanarak gözenekli kireçtaşıyla, kılcal su emme davranışını modellemek için çalışmışlardır. Büyük çaplı gözenek yapısının, küçük çaplı gözeneklere göre kılcal su emme kapasitesini azalttığını göstermişlerdir. Şengün vd. [11], 118 farklı doğal taş türünün, kılcal su emme katsayılarını incelemişler ve dokusal özellikleri yanı sıra diğer kaya özelliklerini (kütle yoğunluğu, görünür gözenek, toplam gözenek, sismik hız, vs.) tespit etmişlerdir. Yazarlar, kılcal su emme katsayısı ve açık gözeneklilik arasında yüksek korelasyon katsayıları ile güçlü ilişkiler tespit etmişlerdir. Juhász vd. [12], gözenekli kireçtaşlarında, kılcal su emme ile birlikte mikroorganizmaların hareketini incelemiştir. Moreno vd. [13], granitlerde kılcal su emme ile birlikte yükselen tuz kirliliğinin neden olduğu aşınmaları incelemiştir.

Çobanoğlu [14], travertenlerde kılcal su emme, doygun birim ağırlığı ve diğer ilgili su emme parametreleri arasındaki ilişkileri belirleyerek, travertenlerde kullanılacak bir kılcal su emme sınıflandırması önermiştir. Çelik ve Kaçmaz [15], andezit ve tüflerde dinamik ve normal kılcal su emme kapasitelerini incelemiştir. Al-Naddaf [16], kumtaşlarında kılcal su emme potansiyelini inceleyerek bu yolla kumtaşları içinde tuz kristalleri oluşumunu incelemiştir. Karagiannis vd. [17], yapı malzemelerinde, kılcal su emme katsayısı üzerinde sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. İncelenen tüm malzemeler için sıcaklık ile kılcal su emme katsayısı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu bulmuşlardır. Pia vd. [18], kültürel mirasta kullanılan gözenekli yapı taşlarının kılcal su emme katsayısını tahmin etmek için bir model önermişlerdir. Dinçer ve Orhan [19], Kapadokya bölgesinde Ürgüp Formasyonu içerisinde yer alan on dört kayaç örneğinin, gözenek büyüklüğü dağılımı ile kılcal su emme özellikleri arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Baykara ve Işık [20], Ahlat mezar taşlarının mikro yapısal özelliklerini araştırarak kılcal su emme ve likenlerin neden olduğu bir ayrışma modeli oluşturmuşlardır. Raneri vd. [21], Sicilya kalkareninin tuz kristallenmesi deneyi sonrası kılcal su emmesine etki eden gözenek yapısındaki değişiklikleri belirlemek için nötron radyografisi yöntemini kullanmışlardır. Karagiannis vd. [22], farklı oda sıcaklıklarının (20, 25, 30 °C) taş, tuğla ve harç gibi farklı yapı malzemelerinin kapiler su emme katsayısına etkisini araştırmışlardır. Karagiannis vd. [23], binalarda kılcal emilen suyun kurutma işlemini matematiksel bir model kullanarak deneysel olarak incelemiştir. De Kock vd. [24], Belçika'da Lede taşının restorasyonu ve korunması için atmosferik su emme, kılcal su emme, çok

yönlü kurutma ve su buharı direnci gibi su transfer özelliklerini, Germinario vd. [25], Euganean trakitinin yoğunluk, gözeneklilik, su emme, kılcal su emme, higroskopik su adsorpsiyonu, su buharı difüzyonu, termal genişleme ve tuza karşı direnç gibi özellikleri içeren kapsamlı petro fiziksel ve mekanik özelliklerini, Korkaç [26], Tyana (Niğde) antik kentindeki travertenlerin ayrışma özelliklerini belirlemek amacıyla fiziksel ve mekanik özelliklerin yanı sıra kılcal su emilimini de incelemiştir.

Literatürde asidik suların kılcal su emme özellikleri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Anadolu'nun birçok yöresinde, andezit ve tüfler gibi volkanik kayalar, Roma, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinden beri yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Afyonkarahisar (Türkiye) yöresinde de bu dönemlerden kalma, andezit ve tüflerden inşa edilmiş sayısız yapı bulunmaktadır. Bu yapı taşları hala Afyonkarahisar'da yerel inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kılcallık ile çekilen su ve nemden dolayı birçok tarihi yapıda iç ve dış yüzeylerin bozulduğu, sanat değeri yüksek süslemelerin önemli derecede zarar gördüğü bilinmektedir. Tarihi yapılarda, kılcal su emmeye bağlı olarak gelişen zararların azaltılması ve ortadan kaldırılması (restorasyon) çalışmaları ile yeni inşa edilecek yapılarda uygun malzeme seçimi yapılabilmesi için kullanılacak yapı malzemelerinin kılcal su emme kapasitelerinin bilinmesi gerekmektedir. Gözenekli taşlarda yapısal performans, su emme ve tuzların rolünün doğru anlaşılması, kültürel mirasın korunmasında koruma prosedürleri ve stratejilerinin tasarımı, temel bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, yapı taşı olarak kullanılan bol gözenekli andezit ve tüflerin fiziko-mekanik, kimyasal, mineralojik-petrografik ve gözenek özelliklerinin belirlenmesi de dahil olmak üzere seçilen taşlarda, karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, kılcal su emme potansiyellerine bağlı olarak statik, tuzlu ve asidik su ortamlarında, taş direncini değerlendirmek için kılcal su emme katsayıları belirlenmiştir. Böylece, özellikle tarihi yapılarda meydana gelen kılcal su emme ile yapı malzemesi ilişkisinin ortaya konulması temin edileceği gibi yörede yeni

inşa edilecek yapılar için seçilecek malzemelerin kılcal su emme potansiyelleri hususunda veri temin edilmiş olacaktır.

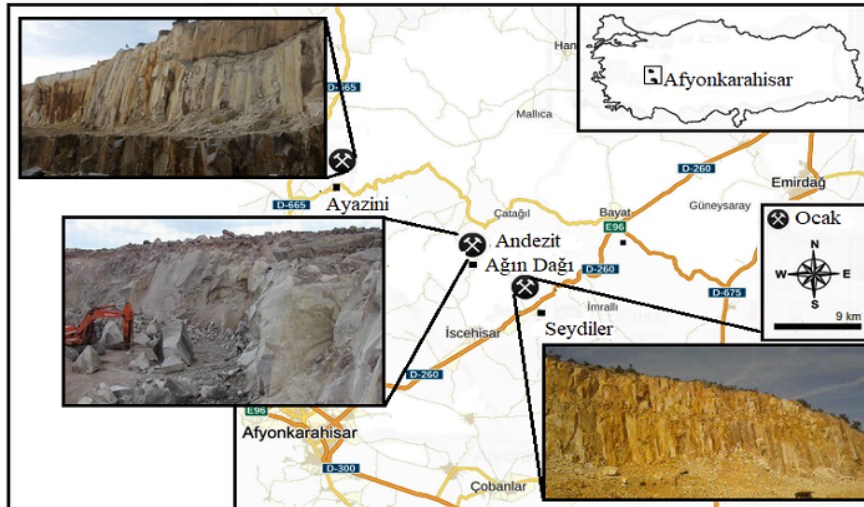
## 2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada kullanılan andezit ve tüf örnekleri Afyonkarahisar civarındaki ocaklardan temin edilmiştir. Söz konusu ocaklar aktif olup, tüfler ve andezitler bölgede halen yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. İncehisar ilçesi kuzeyinde yer alan Ağın dağında bulunan ocaktan andezit, Afyonkarahisar-Ankara karayolu üzerinde bulunan Seydiler köyündeki ve Afyonkarahisar-Eskişehir karayolu üzerindeki ocaklardan da tüf örnekleri temin edilmiştir. Söz konusu örneklerin alındığı lokasyonları gösteren yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere her bir yapıtaşı örneğinden 70x70x70 mm kübik şekilli örnekler hazırlanmıştır (Şekil 2).

### 2.2. Yöntem (Method)

Malzeme karakterizasyonu için numunelere kimyasal, mineralojik-petrografik (polarizan mikroskop, XRD ve SEM) test ve analizler uygulanmıştır. Kimyasal analizler, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazında yapılmıştır. Petrografik incelemeleri için Ankara MTA'da ince kesitler hazırlanmış ve polarizan mikroskop incelemeleri, Leica DM 2500P model polarizan mikroskop ile tane büyüklüğü, dokusu ve mineralojik bileşimi açısından incelenmiştir. XRD analizleri Çanakkale Seramik Fizik laboratuvarlarında Panalytical X-pert MRD (X-celerator dedektör) ile yapılmıştır. SEM incelemeleri için numuneler karbonla kaplanmış ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı incelemeler yapılarak resimleri çekilmiştir. Deneylerde kullanılan yapı taşlarının yoğunluk, su emme, gözeneklilik,



Şekil 1. Deneylerde kullanılan yapı taşı örneklerinin alındığı ocakların lokasyon haritası ve ocakların görünümü  
(Location map of the building stones used in the experiments and view of the quarries)



**Şekil 2.** Deneylerde kullanılan yapı taşı örneklerinin testlere hazır hale getirildikten sonraki görünümü  
(The view of the building stone samples used in the experiments).

ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı gibi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla fiziksel ve mekanik test/deneyler yapılmıştır. Bu deneyler, Tablo 1’de belirtilen TS EN standartlarına göre yapılmıştır. Deneylerde her bir tüf cinsi için 6’şar adet 70x70x70 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Hem kuru ve normal durumda, hem de değişik sulu ortamlarda yapılan kılcal su emme deneyi sonrası, yapı taşlarının duraylılıklarının ölçülmesi amacıyla basınç dayanımı deneyinin yanı sıra, ultrases geçiş hızı deneyi de yapılmıştır. Tüflerin ultrases geçiş hızı ölçümleri TS EN 14579 [27] standardına uygun olarak, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Proceq Pundit Lab marka ultrases test cihazı (P-dalgası) ile yapılmıştır (54 kHz). Deneyde kullanılan doğal yapı taşlarının kılcal su emme özelliklerine etki eden en önemli bileşenlerden birisi de gözenek çapı ve dağılımıdır. Kılcal su emme özelliklerinin yorumlanması gözenek çap dağılımının bilinmesi ile mümkündür. Bu amaçla, tüf ve andezit örneklerinin gözenek çap dağılımları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) cıvalı porozimetre Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazında belirlenmiştir. Deney şartları 480,00 erg/cm<sup>2</sup> vakum altında 140°C kontak açısı şeklindedir. Statik, tuzlu ve asidik sularda kılcal su emme potansiyellerinin incelenmesi için yapılan deneylerde Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarından temin edilen deiyonize (saf) su kullanılmıştır. Tuzlu suda kılcal su emme potansiyellerinin incelenmesi için kaya tuzu (NaCl), farklı pH ortamları oluşturmak amacı ile de sülfirik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (%95-98 saflıkta Tekkim marka) kullanılmıştır. Deney sırasında suyun pH değeri, pH metre ile sürekli olarak kontrol edilmiştir. Bu deney için yapı taşı numunelerinin tabanı 3,00±1 mm derinliğinde su içine batırılmıştır. Kılcal su emme miktarının ölçülmesi sırasında zaman aralıkları 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 (8 saat), 1440 (24 saat) ve 2880 dk (48 saat) olarak seçilmiştir. Her bir zaman aralığında numuneler sudan çıkartılarak üzerindeki damlacıkların kuru bez kullanılarak yüzeyden uzaklaşması sağlanmıştır. Daha sonra her bir numune 0,01 gr hassasiyetle tartılarak zaman aralığına bağlı olarak emdikleri su miktarları belirlenmiştir. TS EN 1925 [31]’e göre yapılan kılcal su emme deney prosedürü Şekil 3’de verilmiştir.

### 3. SONUÇLARLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Kimyasal Analizler (Chemical Analysis)

Doğal yapı taşı olarak kullanılan ve bu çalışma kapsamında incelenen andezit ve tüflerin ana element oksit içerikleri Tablo 2’de verilmiştir. Andezit ve tüflerin ana element oksit analizi sonuçlarına göre en büyük bileşen SiO<sub>2</sub> dir. Andezit, Ayazini ve Seydiler tüflerinin SiO<sub>2</sub> oranı sırasıyla; %58,3, 72,30, 73,50 olarak belirlenmiştir. İkinci en büyük bileşen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olup sırasıyla %15,8, 13,60, 14,70 dür. Kimyasal analiz verilerine göre, andezit ve tüflerin kökenini bulmak amacıyla Le Bas, vd. [32] tarafından önerilen toplam alkali (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) ve silis (SiO<sub>2</sub>) diyagramı kullanılmıştır. Andezit, Ayazini ve Seydiler tüflerinin Le Bas, vd. [32] tarafından önerilen toplam alkali ve silis diyagramına göre; andezitin traki-andezitik ve tüflerin riyolitik bileşimli olduklarını göstermiştir (Şekil 4).

#### 3.2. Petrografik ve mineralojik analizler (Petrography and mineralogy)

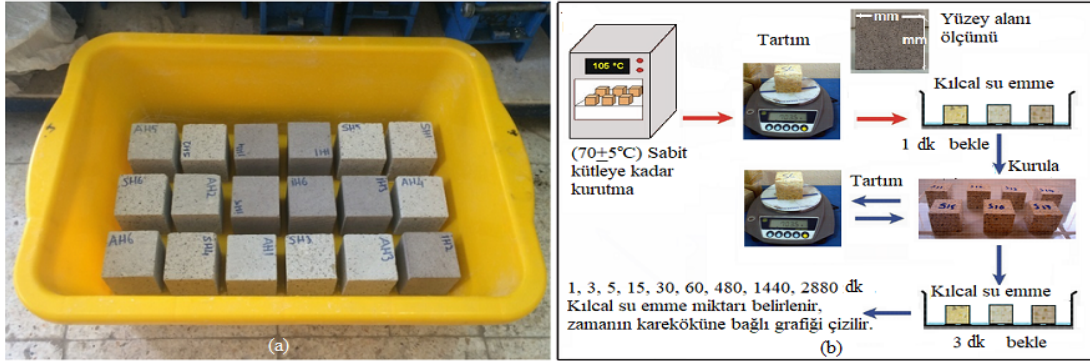
##### 3.2.1. Polarizan mikroskop analizi (Polarizing optical microscope analysis)

Polarizan mikroskop altındaki incelemeler petrografik açıdan; andezit ve tüflerin mineralojik bileşimlerinin ve dokusal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Andezitlerin polarizan mikroskop incelemelerinde, hamur maddesi camsı mikrolitler halinde ince taneli plajiyoklazlardan oluştuğu belirlenmiştir. Hamur maddesinde akma dokusu belirgindir. Hamur maddesi içerisinde plajiyoklaz, hornblend, klinopiroksen ve biyotit fenokristalleri gözlenmiştir. Piroksen minerallerinde özellikle kırık ve çatlaklar çok belirgindir. Koyu renkli mineral olarak biyotit ve hornblend görülmektedir. Biyotitler kahverengimsi pleoroyizmasıyla karakteristiktir. Hornblendlerde yer yer ayrışma izleri görülmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda andezitik bileşimli olduğu tespit edilen kayada, gözlenen pembemsi-kırmızımsı rengin hornblend ve biyotitlerdeki alterasyondan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Şekil 5b, c). Ayazini tüflerinin ince



**Tablo 1.** Fiziko mekanik testlerde kullanılan örnekler ve ilgili standartlar (\* her bir taş için)  
(Sample sizes and numbers for physico-mechanical tests and related standartds)

Testler	Boyut (mm)	Örnek Sayısı	Toplam Örnek Sayısı	İlgili standart
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	70x70x70	6x3*	18	TS EN 1936 [28]
Ağırlıkça Su Emme (%)	70x70x70	6x3*	18	TS EN 13755 [29]
Gözenek (%)	70x70x70	6x3*	18	TS EN 1936 [28]
Ultrasonik Dalga Hızı (km/s)	70x70x70	6x3*	18	TS EN 14579 [27]
Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	70x70x70	6x3*	18	TS EN 1926 [30]
Kılcal Su Emme	70x70x70	6x3*	18	TS EN 1925 [31]

**Şekil 3.** TS EN 1925 [31]'e göre yapılan kılcal su emme deney ortamı a) ve akım şeması b)  
(Flow chart of experimental procedure of TS EN 1925)

kesit incelemeleri sonunda bu tüflerin vitrofirik, porfirik ve vesiküler dokulu oldukları tespit edilmiştir. Ayazini tüf örneklerinde volkan camı (pümis) parçaları yanı sıra değişen oranlarda kuvars ve feldspat mineralleri gözlenmiştir. Feldspatlar genellikle plajiyoklaz kristalleri halindedir. Vitrik bileşenler cam kıymıkları ve pümis parçaları şeklinde gözlenmiştir. Pümis parçaları süngerimsi dokuları ile karakteristik olup yer yer kil minerallerine dönüşmüşlerdir. Seydiler tüflerinin ince kesit incelemelerinde yer yer volkan camından oluşan hamur maddesi içerisinde düzensiz dağılmış fenokristaller bulunmaktadır. Esas mineral olarak feldspat, kuvars ve hornblend mineralleri tespit edilmiştir. Kayaç içerisinde yer yer kayaç parçaları gözlenmiştir (Şekil 5 e, f). Tüfler içerisinde pümis parçalarının oldukça bol bulunduğu, bu pümislerin tane boylarının küçük, elips şekilli olduğu gözlenmektedir. Altere kısımlarda pümisler tamamen bozulmuş sarımsı kahvemsı renktedirler. Tüfler genellikle kristal vitrik tüf olarak tanımlanmıştır.

### 3.2.2. SEM analizi (SEM analysis)

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile sub-mikroskopik minerallerin kristal şekilleri, mikro morfolojik özellikleri ve ince kesitlerde gözlenemeyen kil minerallerinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılmıştır. Andezit ve tüf örneklerinde yapılan SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) analizinde feldspat (plajiyoklaz-albit), kuvars, biyotit ve kil oluşumları görülmektedir (Şekil 6). Ayazini tüfünde kuvars kristalleri tam şekilli olarak gözlenmektedir. SEM incelemelerinde feldspat grubu plajiyoklaz minerallerinin üzerinde smektit grubu kil mineralleri gelişmiştir. Kil minerallerinin varlığı volkanik cam (pümis) ve feldspatların yer yer bozuluşunu göstermektedir.

### 3.2.3. XRD analizi (X-ray diffraction analysis)

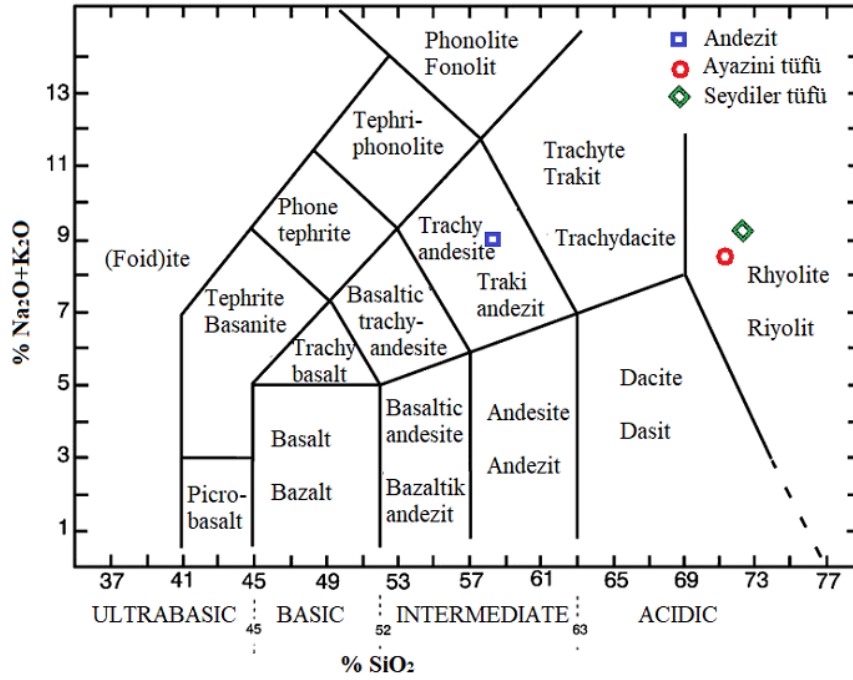
İncelenen andezit ve tüf örneklerinin XRD tüm kayaç analiz sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. XRD analizi sonucunda andezitlerde feldspat (andezin, sanidin), montmorillonit ve tridimit mineralleri tespit edilmiştir. Tüflerde ise kuvars, feldspat, illit, hornblend ve kristobalit minerallerinin varlığı ortaya çıkarılmıştır. Montmorillonit ve illit gibi kil minerallerinin varlığı volkanik cam bileşenlerin ve feldspatların yer yer bozuluşunu göstermektedir. XRD grafiğinde Andezitlerde  $2\theta=0^\circ$ , Ayazini tüflerinde  $2\theta=20^\circ$  ve  $2\theta=15^\circ$ den itibaren zeminin yükselmesi (background- temel değer eğrisi) amorf malzeme (volkanik cam) varlığını desteklemektedir.

### 3.3. Gözenek çapı dağılımı (Pore-size distribution)

Doğal taşlarda kılcal su emme ve suyun hareketi büyük ölçüde gözenek miktarı ve gözenek çapı dağılımına bağlıdır. Emilen su miktarı tuz kristalleşmesi, donma ve çözülme gibi olaylardan dolayı, doğal taşlarda önemli hasarlar meydana gelmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle dış mekanlarda kullanılacak doğal taşlarda bu olayların sebep olduğu hasarları belirleyebilmek için gözenek çapı ve dağılımını bilmek gerekmektedir. Gözenek çapı dağılımının belirlenmesinde, cıvalı porozimetre yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Cıvalı porozimetre cihazı, gözenekli yapı içeren katıların, boşluk hacimlerini ve dağılımlarını belirlemede kullanılmaktadır. Cıvalı porozimetrelere, tepkimeye girmeyen, ıslatımsız bir sıvının (cıva) yeterli basınç uygulanmadıkça küçük gözeneklere giremeyeceği fiziksel prensibine göre çalışmaktadır. Klopfer [33] tarafından gözenekler boyutlarına göre şu şekilde

**Tablo 2.** Andezit ve tüflerin kimyasal analizleri (Chemical composition of the andesite and tuffs)

Kimyasal bileşim (%)	Andezit	Ayazini	Seydiler
SiO <sub>2</sub>	58,3	72,30	73,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,8	13,60	14,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,96	1,43	0,52
MgO	2,73	0,12	0,11
CaO	4,79	1,02	0,85
Na <sub>2</sub> O	3,02	2,29	3,78
K <sub>2</sub> O	7,00	6,24	5,70
TiO <sub>2</sub>	1,12	0,11	0,06
LOI	0,93	2,84	0,78
Toplam	98,65	99,95	100,00

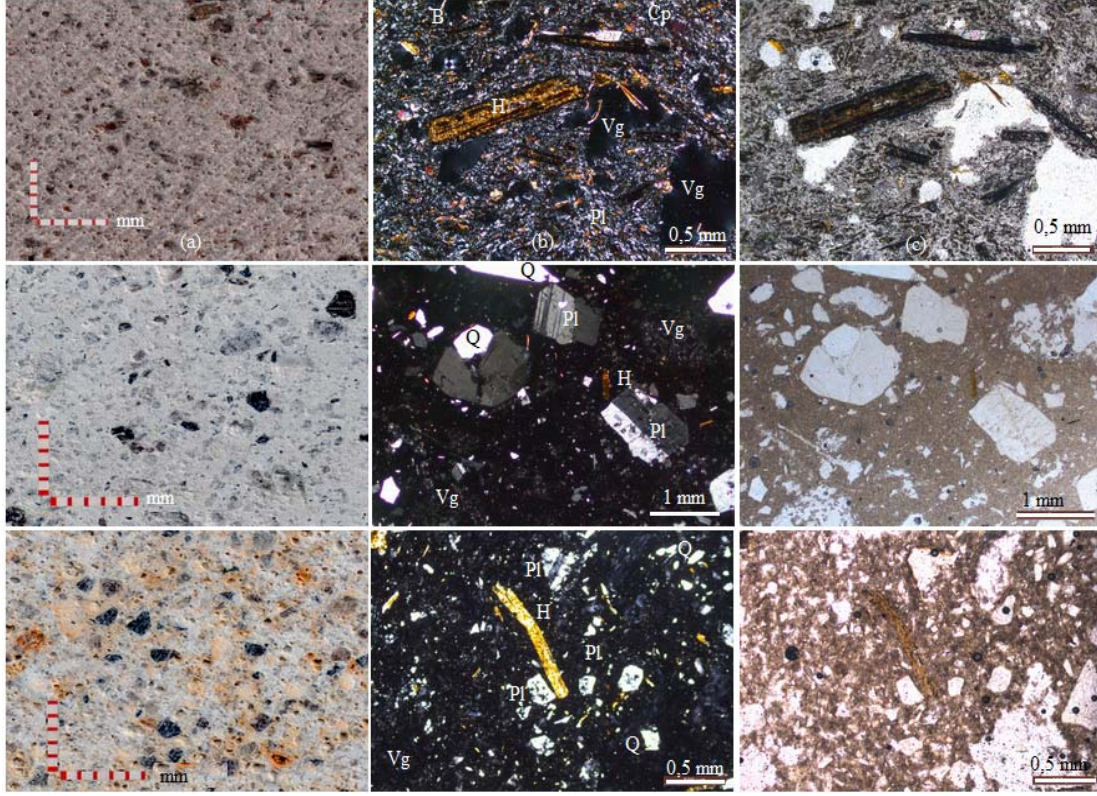


**Şekil 4.** Deneyleerde kullanılan andezit ve tüflerin toplam alkali içeriğine karşı silis diyagramında sınıflandırılması (Total alkali vs. silica classification diagram for the andesite and tuffs)

sınıflandırılmıştır: mikro gözenek (<0,1 µm), mezo gözenek (kılcal gözenek) (0,1 µm - 1 mm) ve makro gözenek (> 1 mm). Kılcal su emme, pratik olarak çapları 0,1 µm ve 1 mm arasındaki gözeneklerle ilişkilidir. Kayaların gözenek çapları küçüldükçe kılcal özelliği artmaktadır. Makro gözenekler ise çapı 1 mm'den büyük olup daha çok suyun, malzeme içindeki hareketini sağlamaktadır [34]. İncelemelerde kullanılan andezit ve tüflerde cıvalı porozimetre yöntemiyle ölçülen gözenek çapı dağılım grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. İncelenen her üç örneğin de 0,01 µm - 1 mm arasında gözenek çapı dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Andezit ve tüflerde gözenek boyut dağılımı, 0,01 - 10 µm arasında yoğunlaşmıştır. Kılcal su emme miktarını 0,1 µm - 1 mm arasındaki gözenek miktarı etkilediği için grafikler üzerinde bu bölgeler de işaretlenmiştir. Kılcal gözeneklilik oranı, en yüksek Ayazini tüflerinde, en az Seydiler tüflerinde ölçülmüştür. Andezitlerde kılcal gözeneklilik oranı %80 iken, Ayazini tüflerinde bu oran %92, Seydiler tüflerinde ise %53'dür.

### 3.4. Fiziko-mekanik Özellikleri (Mechanical and Physical Properties)

Yapı taşı olarak kullanılacak doğal taşların, kullanım yerlerine göre bazı özellikleri taşınması gerekmektedir. Kayaçların mekanik özelliklerinin gözeneklilik, su emme, yoğunluk gibi fiziksel özellikleri ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekli doğal taşlar genellikle daha dayanıksızdır. Çalışma kapsamında incelenen andezit ve tüf örneklerinin, bazı fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneyleerde elde edilen verilerin minimum, maksimum ve ortalamaları Tablo 3'de verilmiştir. Test edilen doğal taşların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri arasında bazı ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. Buna göre en düşük görünür yoğunluk 1557 kg/m<sup>3</sup> ile Ayazini tüflerinde ölçülmüş olup buna bağlı olarak yine en düşük ultrases dalga hızı (1,90 km/s) ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri (12,55 kg/cm<sup>2</sup>) de bu taşla aittir. Sesin geçiş hızı taşın yoğunluğuna,



**Şekil 5.** Test edilen doğal yapı taşlarının makroskopik ve polarizan mikroskop görüntüleri Yukarıdan aşağıya andezit Ayazini ve Seydiler tüflerinin makroskobik görüntüleri (a, d, g) ince kesit resimleri çift nikol (b, e, h), ince kesit resimleri tek nikol (c, f, i). Plajiyoklaz (Pl) kuvars (Q) hornblend (H) biyotit (B) klinopiroksen (Cp) volkanik cam (pümis) (Vg) (Macroscopic and microscopic fabric images of the tested rocks From top to bottom: andesite Ayazini tuff and Seydiler tuff Macroscopic view (a, d, g) thin section under crossed polarized light (b, e, h) thin section under plane-polarized light (b, e, h) Plagioclase (Pl) quartz (Q) hornblende (H) biotite (B) clino-pyroxene (Cp) volcanic glass (Vg))

gözenek özelliğine ve çatlaklı yapısına bağlı olarak değişmektedir. Taşın yoğunluğu düşük ve bünyesinde gözenekli yapı ve çatlaklar var ise sesin geçiş hızı da bunlara bağlı olarak düşük olmaktadır. Benzer şekilde en yüksek toplam gözenek (%39,03) değerine sahip olan Ayazini tufünün, en yüksek su emme değerine (%15,90) ve en düşük tek eksenli basınç dayanımı değerlerine (12,55 kg/cm<sup>2</sup>) sahip olduğu belirlenmiştir. Kayacın gözenek değerlerinin yüksek olması kayacın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilerken su emme değerinin de yüksek olmasına yol açmaktadır.

### 3.5. Kılcal su emme (Capillary Water Absorption)

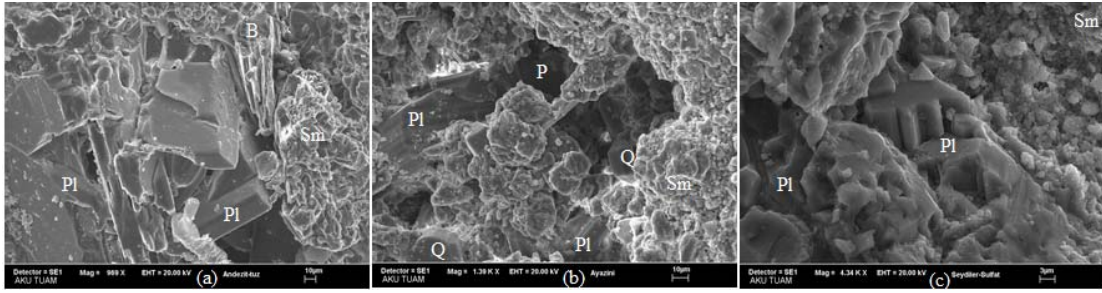
Yapıların duvarında veya kaplamasında kullanılan gözenekli bir yapı taşı, yağmur veya yeraltı suları ile temas edince suyu emmektedir. Bu emme işlemi genellikle kılcal su emme yoluyla gerçekleşir. Kılcal su emme, genellikle 1 mm ye kadar çapa sahip olan gözeneklerde oluşan kılcal emme kuvveti ile ilgili kendiliğinden oluşan bir işlemdir. Gözenek yüzeylerindeki su, karakteristik bir ıslatma açısı sergiler ve sonuçta suyun gözenek sistemine girme eğilimi, kılcal damar veya kılcal emilim olarak adlandırılır. Kılcal su emiliminin mekanizması esas olarak gözenek boyutuna ve gözeneklerin şekline bağlıdır [34]. İncelemeye konu olan andezit ve

tüflerin kılcal su emme miktarları, TS EN 1925 [31] standardına göre belirlenmiş ve Eş.1’de verilen formüle göre kılcal su emme katsayısı hesaplanmıştır.

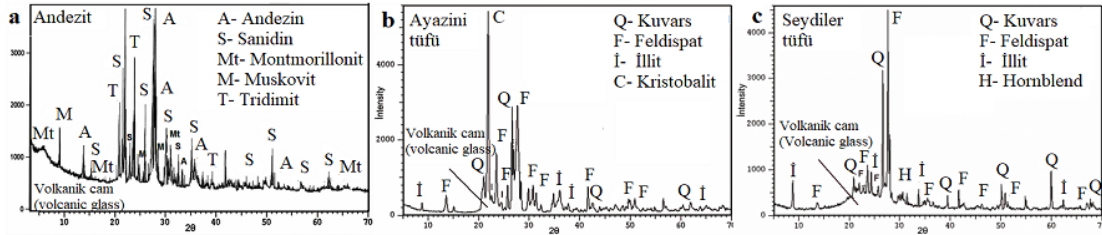
$$C = \frac{m_i - m_d}{A \cdot \sqrt{t_i}} \quad (1)$$

Burada;  $m_i$ : su emmiş numune ağırlığı (g),  $m_d$ : kuru numune ağırlığı (g), A: suya temas eden yüzey alanı (m<sup>2</sup>),  $t_i$ : zaman (s) olarak verilmiştir. Kılcal su emme katsayısı, bir taşın kılcal gözenek ve çatlaklar yoluyla su emme kinetiği hakkında fikir verir. Diğer bir deyişle taşın, suyla temas ettiğinde ne kadar hızlı bir şekilde su emilimi gösterebileceğini ifade etmektedir. Kılcal su emme katsayısı, Washburn denkleminde, suyla temas eden belirli bir yüzey için su alımı zamanın kareköküne doğru orantılıdır [35]. Graue vd. [36] tarafından yapılan bir sınıflandırmaya göre; kılcal su emme değeri; < 0,5 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> olan taşlar düşük kılcal su emme, 0,5 – 3,0 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> olan taşlar orta kılcal su emme, > 3,0 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> olan taşlar güçlü kılcal su emme gösteren taşlardır. Çalışma kapsamında incelenmiş olan doğal yapı taşlarının kılcal su emme katsayıları Tablo 4’de, andezit ve tüflerin sulu ortam cinsine göre kılcal su emme grafiği de Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 9’da verilen kılcal su emme değerleri, her bir taş için ayrı ayrı grafik ve resimlerle incelenmiştir.

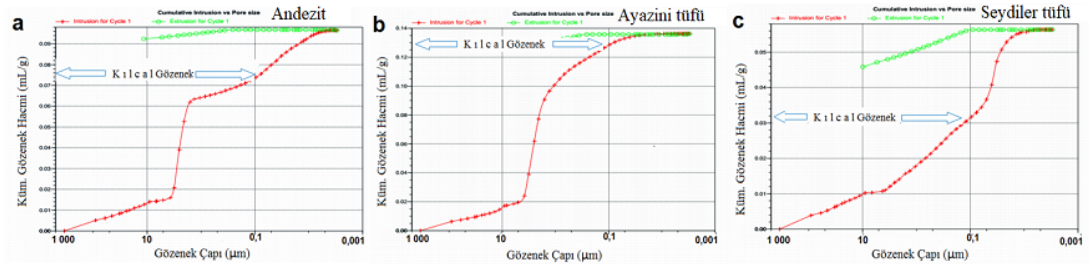




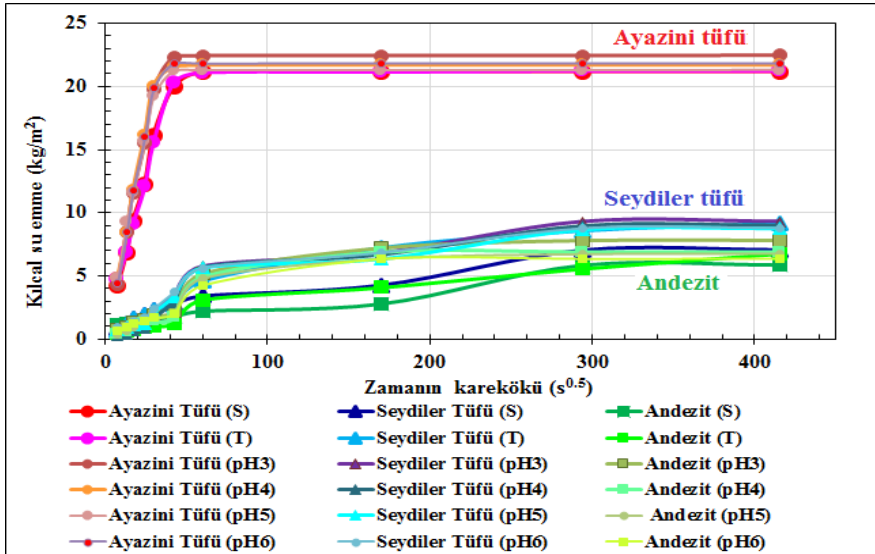
Şekil 6. Andezit ve tüflerin SEM görüntüleri Andezit (a) Ayazini tüfü (b) Seydiler tüfü (c) Plajiyoklaz (Pl) kuvars (Q) biyotit (B) smektit (Sm) gözenek (P) (SEM photo-micrograph of andesite and tuffs Andesite (a) Ayazini tuff (b) Seydiler tuff (c) Plagioclase (Pl) quartz (Q) biotite (B) smectite (Sm) porosite (P))



Şekil 7. Andezit ve tüflerin XRD analizi Andezit (a) Ayazini tüfü (b) Seydiler tüfü (c) (XRD analyses of andesite and tuffs Andesite (a) Ayazini tuff (b) Seydiler tuff (c))



Şekil 8. Andezit ve tüflerin gözenek çapı dağılımı (Pore-size distribution of andesite and tuffs)



Şekil 9. Andezit ve tüflerin sulu ortam cinsine göre klcal su emme grafiği

(Graph of the average values of the capillary water absorption andesite and tuffs and impregnation water and solution type)



**Tablo 3.** Tüflerin fiziko-mekanik özellikleri (her bir deney için 6 örnek kullanılmıştır)  
(Average physico-mechanical properties of tuffs (6 samples used in each experiment))

Test	Andezit			Ayazini Tüfü			Seydiler Tüfü		
	min	max	ortalama	min	max	ortalama	min	max	ortalama
Yoğunluk (görünür) (kg/m <sup>3</sup> )	1977	2038	2006	1536	1572	1557	1888	2005	1951
Yoğunluk (gerçek) (kg/m <sup>3</sup> )	2289	2546	2435	2123	2498	2336	2346	2523	2369
Ağırlıkça su emme (%)	4,49	6,19	5,78	10,94	13,98	15,90	6,77	9,24	8,37
Açık gözenek (%)	7,68	9,80	9,00	30,07	31,87	30,94	9,77	14,41	12,18
Toplam gözenek (%)	24,89	27,16	26,07	38,46	39,87	39,03	23,02	27,48	25,06
Ultras ses dalgası hızı (km/s)	3,11	3,79	3,61	1,75	1,98	1,90	3,39	3,67	3,48
Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	67,37	97,75	83,93	10,22	14,55	12,55	49,68	64,70	54,44

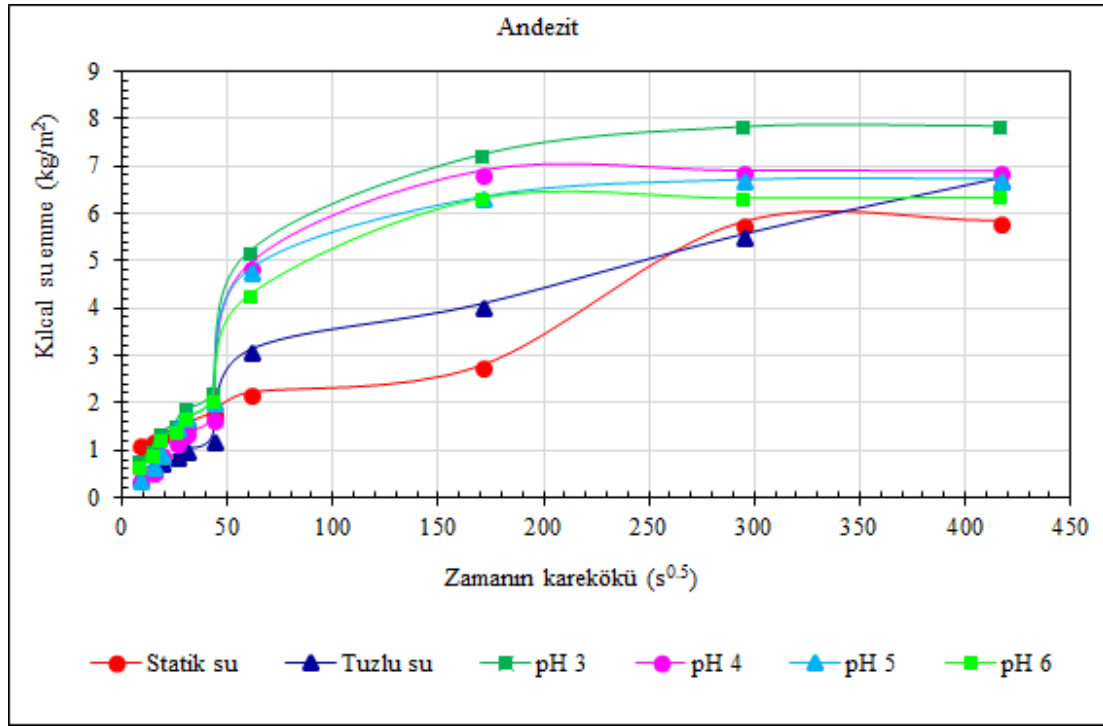
**Tablo 4.** İncelenen doğal yapı taşlarına ve sulu ortam cinsine göre ortalama kılcal su emme katsayıları (c)  
(The average capillary water absorption (C) per building stone and solution type)

Zaman	dk (t)	1	3	5	10	15	30	60	480	1440	2880
	$\sqrt{t}$ (saniye <sup>0,5</sup> )	7,75	13,42	17,32	24,49	30	42,43	60	169,71	293,94	415,69
Kılcal su emme (C) (kg/m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> )											
Andezit	Statik su	1,16	1,24	1,34	1,45	1,58	1,79	2,22	2,77	5,80	5,83
	Tuzlu su	0,50	0,67	0,77	0,90	1,03	1,25	3,11	4,09	5,56	6,75
	pH 3 su	0,78	0,98	1,35	1,54	1,88	2,20	5,18	7,23	7,83	7,85
	pH 4 su	0,40	0,59	0,96	1,19	1,39	1,67	4,89	6,88	6,88	6,88
	pH 5 su	0,40	0,68	0,95	1,50	1,71	2,05	4,80	6,35	6,72	6,74
	pH 6 su	0,64	0,91	1,25	1,39	1,69	2,03	4,26	6,32	6,33	6,35
Ayazini Tüfü	Statik su	4,19	6,81	9,36	12,28	16,13	19,95	21,10	21,18	21,18	21,18
	Tuzlu su	4,71	6,88	9,05	12,01	15,53	20,29	21,08	21,14	21,21	21,21
	pH 3 su	4,28	8,52	11,59	15,51	19,74	22,28	22,41	22,43	22,42	22,46
	pH 4 su	4,78	8,39	11,79	16,13	20,02	21,56	21,69	21,70	21,71	21,72
	pH 5 su	4,85	9,22	11,60	15,63	19,20	21,20	21,25	21,25	21,26	21,28
	pH 6 su	4,41	8,48	11,78	16,03	19,85	21,85	21,84	21,86	21,86	21,85
Seydiler Tüfü	Statik su	0,87	1,23	1,59	1,91	2,26	2,78	3,42	4,26	7,02	7,05
	Tuzlu su	0,69	1,16	1,58	1,95	2,30	2,72	4,61	7,20	8,54	9,11
	pH 3 su	0,52	0,74	0,88	1,04	1,95	3,43	5,74	6,81	9,29	9,30
	pH 4 su	0,22	0,40	0,66	0,84	1,63	2,92	5,62	6,64	8,92	8,96
	pH 5 su	0,79	0,94	1,11	1,28	2,13	3,36	5,65	6,35	8,66	8,76
	pH 6 su	0,91	1,02	1,45	1,73	2,43	3,71	5,62	6,82	8,75	8,76

### 3.5.1. Andezitlerin kılcal su emme özellikleri (Capillary water absorption of andesite)

Andezitlerde değişik sulu ortamlarda ölçülen kılcal su emme verilerine ait grafik Şekil 10'de, su emme seviyelerinin yükseklik görünümleri de Şekil 11'de verilmiştir. Andezitlerin kılcal su emme değerleri 5,83 ile 6,88 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup> arasında değişmektedir. Bu verilere göre İncehisar andezitleri 3,0 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup> den daha büyük olduğu için güçlü kılcal su emme gösteren taşlar sınıfında yer almaktadır.

Şekil 12 incelendiğinde, kılcal su emme miktarı bakımından statik, tuzlu, pH'ı 5 ve 6 olan sulara 2880 dk sonunda tam doyma gerçekleşmemiştir. Sadece pH'ı 3 ve 4 olan sulara 2880 dk sonunda andezit örnekleri suya tam doygun hale gelmiştir. Bunun nedeni asitlik değeri yüksek olan sıvıların andezit bünyesinde bulunan gözenek ve kılcal çatlakları sıvıların girebileceği şekilde genişletmesi olarak yorumlanmaktadır. Hem SEM hem de XRD analizleri sonucunda andezit örneklerinde tespit edilen kil mineralleri (montmorillonit ve smektit), bu olayda önemli bir rol



Şekil 10. Andezitlerin kılcal su emme grafiği (Graph of the average values of the capillary water absorption of the andesite)

oyunamıştır. Andezit örneklerinde, pH değeri 3 ve 4 olan sulara kılcal su emme değerleri sırasıyla 7,85 ve 6,88  $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$  olarak ölçülmüştür. Andezitler, zeminde bulunan statik suya göre pH değeri 3 olan sulara %34,6 daha fazla kılcal su emerken bu oran tuzlu sulara %15,7 olmuştur. Suyun asitlik değeri azaldıkça kılcal su emme miktarının da azaldığı görülmektedir. Kullanılan sıvının yoğunluğu arttıkça yüzey gerilimi de artmaktadır. Örneğin suya karıştırılan tuz, yüzey gerilimini arttırmaktadır. Bu nedenle tuzlu suyun saf suya göre daha fazla kılcal su emmesi beklenen bir durumdur. Aynı şekilde asidik sulara da asidik derecenin azalmasıyla suyun yüzey gerilimi azalacağı için emilecek olan su miktarı da azalacaktır.

### 3.5.2. Ayazini tüflerinin kılcal su emme özellikleri (Capillary water absorption of Ayazini tuff)

Ayazini tüflerinde kılcal su emme verilerine ait grafik Şekil 12'de, su emme seviyelerinin görünüşleri de Şekil 13'de verilmiştir. Ayazini tüflerinin kılcal su emme değerleri 21,18 ile 22,46  $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$  arasında değişmektedir. Bu verilere göre Ayazini tüfleri 3,0  $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$  den daha büyük olduğu için güçlü kılcal su emme gösteren taşlar sınıfında yer almaktadır. Bu durumda Ayazini tüfleri, andezitlere göre 3 kat daha fazla kılcal su emme potansiyeline sahiptir. Ayazini tüflerinde statik suda 21,18  $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$  olan kılcal su emme değeri, pH'ı 3 olan suda 22,46  $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$  olarak belirlenmiştir. Asidik değeri yüksek olan suda, saf suya göre %6 daha fazla kılcal su emilimi gerçekleşmiştir. Kılcal su emme değerinin yüksek olması, tüflerin bileşiminde bulunan killerin sıvıları emme özelliği de katkı yapabilmektedir. Ayazini tüf örnekleri, tüm sulu ortamlarda 15 ve 30 dk da tam doygunluğa ulaşmıştır. Bu durum çok hızlı bir su emme

yaptığını göstermektedir. İncelenen yapı taşları arasında en yüksek toplam (%39,03) ve kılcal gözenekliliğe sahip olan Ayazini tüflerinin, beklenildiği gibi en yüksek kılcal su emme potansiyeline de sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm sulu ortamlarda da çok yüksek kılcal su potansiyeli göstermesi nedeniyle de sulu ortamlarda kullanılmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

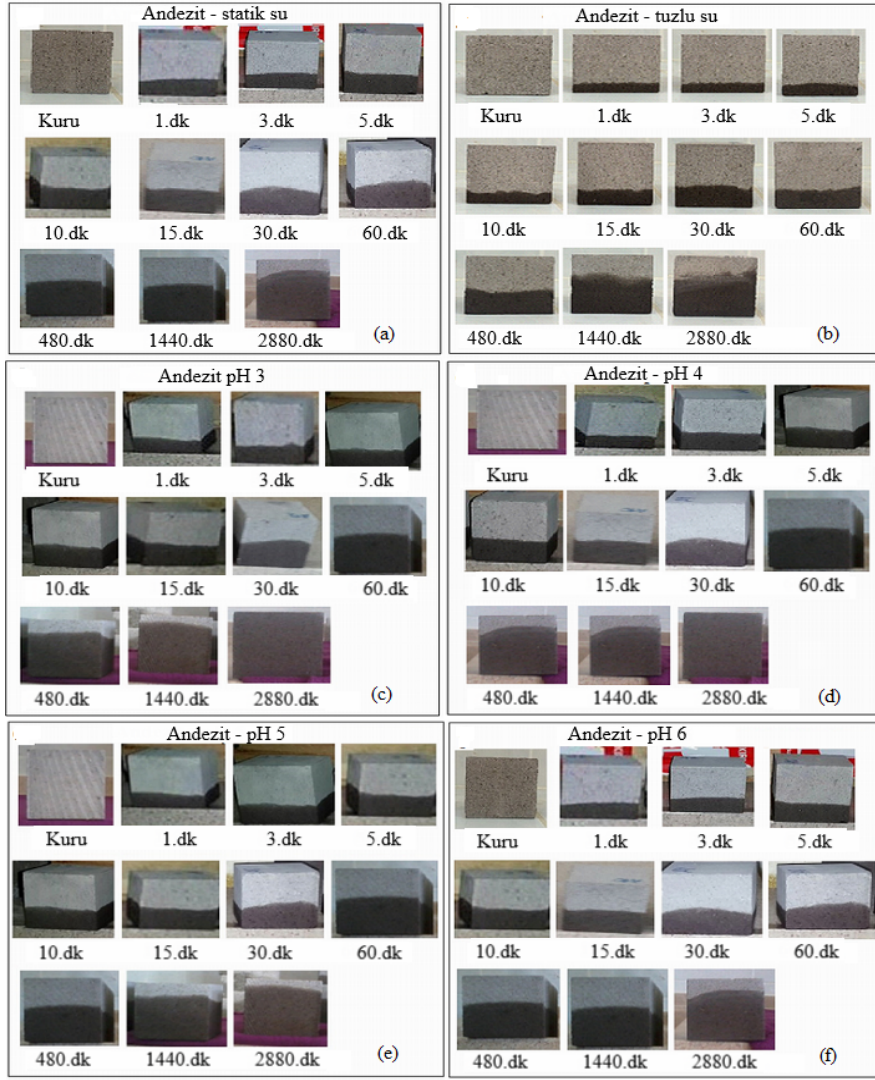
### 3.5.3. Seydiler tüflerinin kılcal su emme özellikleri (Capillary water absorption of Seydiler tuff)

Seydiler tüflerinde statik, tuzlu ve asidik sulu ortamlarda ölçülen kılcal su emme verilerine ait grafik Şekil 14'de, su emme seviyelerinin görünüşleri de Şekil 15'de verilmiştir. Seydiler tüflerinin ölçülen kılcal su emme değerleri 7,05 ile 9,30  $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$  arasında değişmektedir. Kılcal su emme değeri 3,0  $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$  den daha büyük olduğu için güçlü kılcal su emme gösteren taşlar sınıfında yer almaktadır. Diğer doğal yapı taşı örneklerinde olduğu gibi en fazla kılcal su emme değeri asidik pH'ı 3 olan sulara tespit edilmiştir. Şekil 15 incelendiğinde, numunelerde 2880 dk sonunda, hiçbir su ortamında su tam doygunluğa gerçekleşmemiştir. Bunun en büyük sebebi Seydiler tüflerinin kılcal gözenek (0,1  $\mu\text{m}$  - 1 mm) oranının diğer taşlara göre en düşük (%53) seviyede olmasından kaynaklanmaktadır.

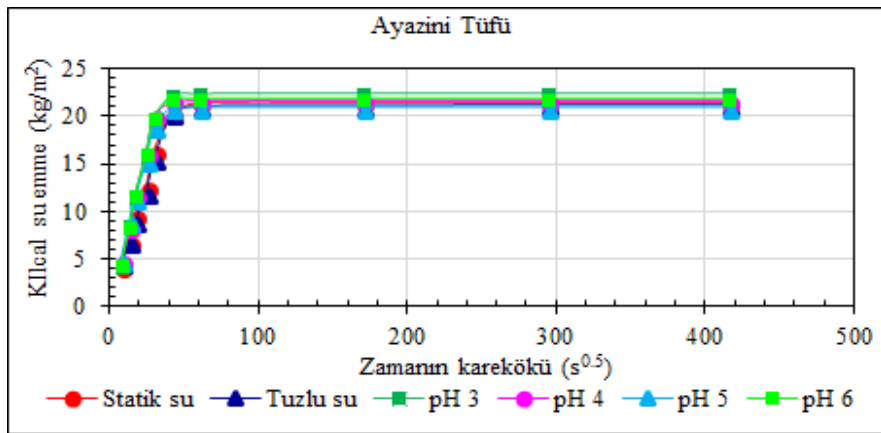
### 3.6. Kılcal Su Emmede Asidik ve Tuzlu Suların Etkisinin SEM ile İncelenmesi

(Investigation of the Effect of Acidic and Salts Water by SEM in Capillary water absorption)

Kılcallık etkisi ile oluşan nemin kaynağı, genellikle kılcal etki ile yükselen zemin suyu veya temelde bulunan sabit bir



Şekil 11. Andezitlerin değişik sulu ortamlarda kılcal su emme durumları Statik su (a) tuzlu su (b) pH 3 (c) pH 4 (d) pH 5 (e) pH 6 (f) (Capillary water absorption state in various aqueous environments of andesite Static water (a) salty water (b) pH 3 (c) pH 4 (d) pH 5 (e) pH 6 (f))

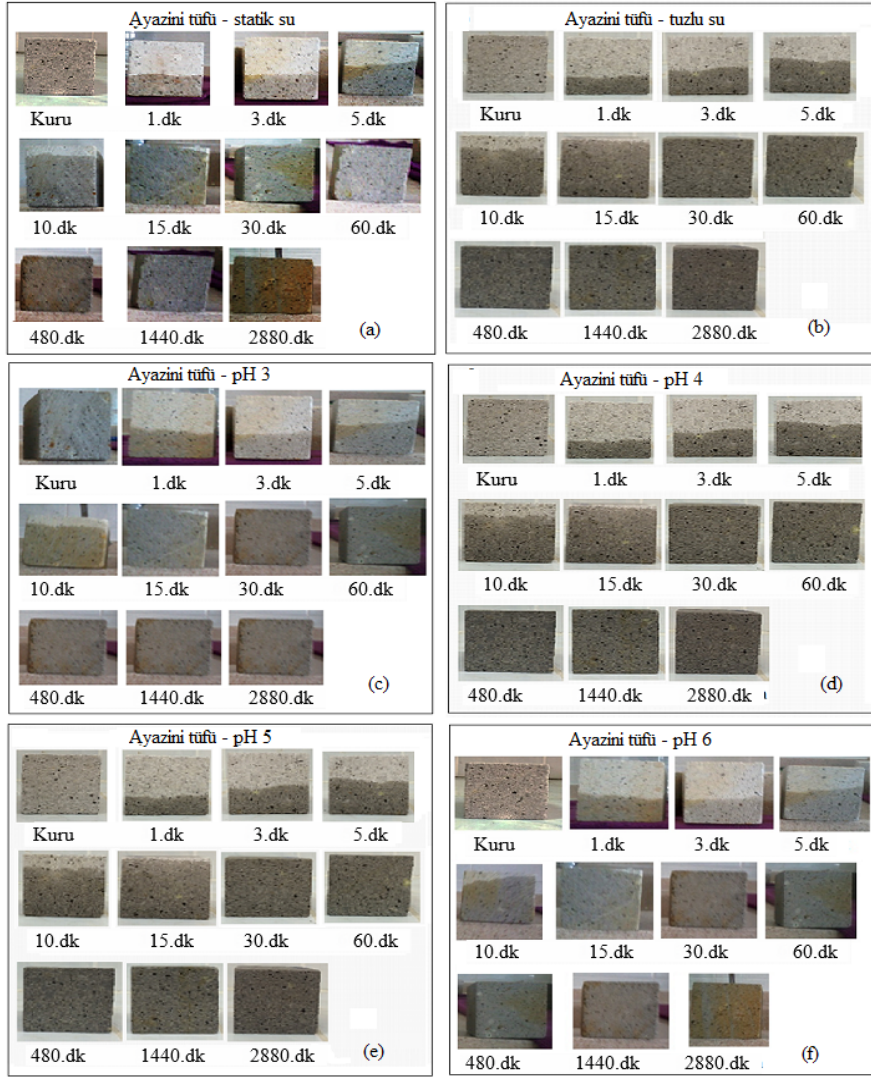


Şekil 12. Ayazini tüflerinin kılcal su emme grafiği (Graph of the average values of the capillary water absorption of the Ayazini tuff)

su kaynağıdır. Bu su kaynağının çeşitli tuz bileşikleri içermesi halinde doğal taşlarda ayrıştırma etkisi daha fazla

olacaktır. Yine aynı şekilde asidik bileşime sahip olan suların etkisinin de daha fazla olması beklenmektedir.

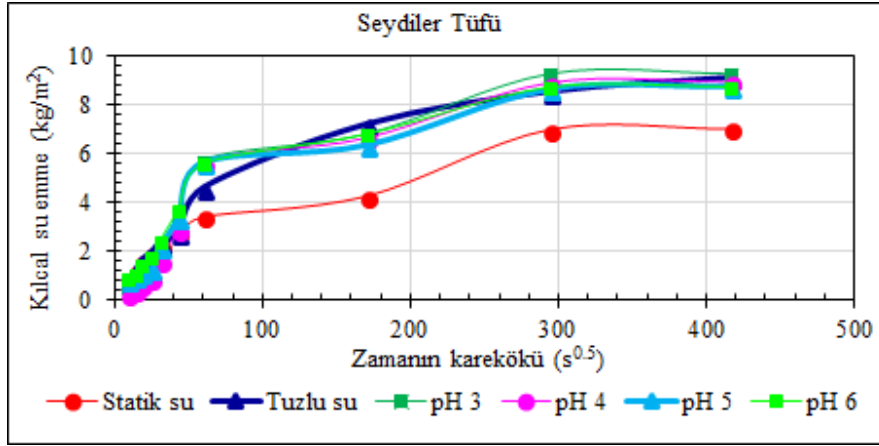




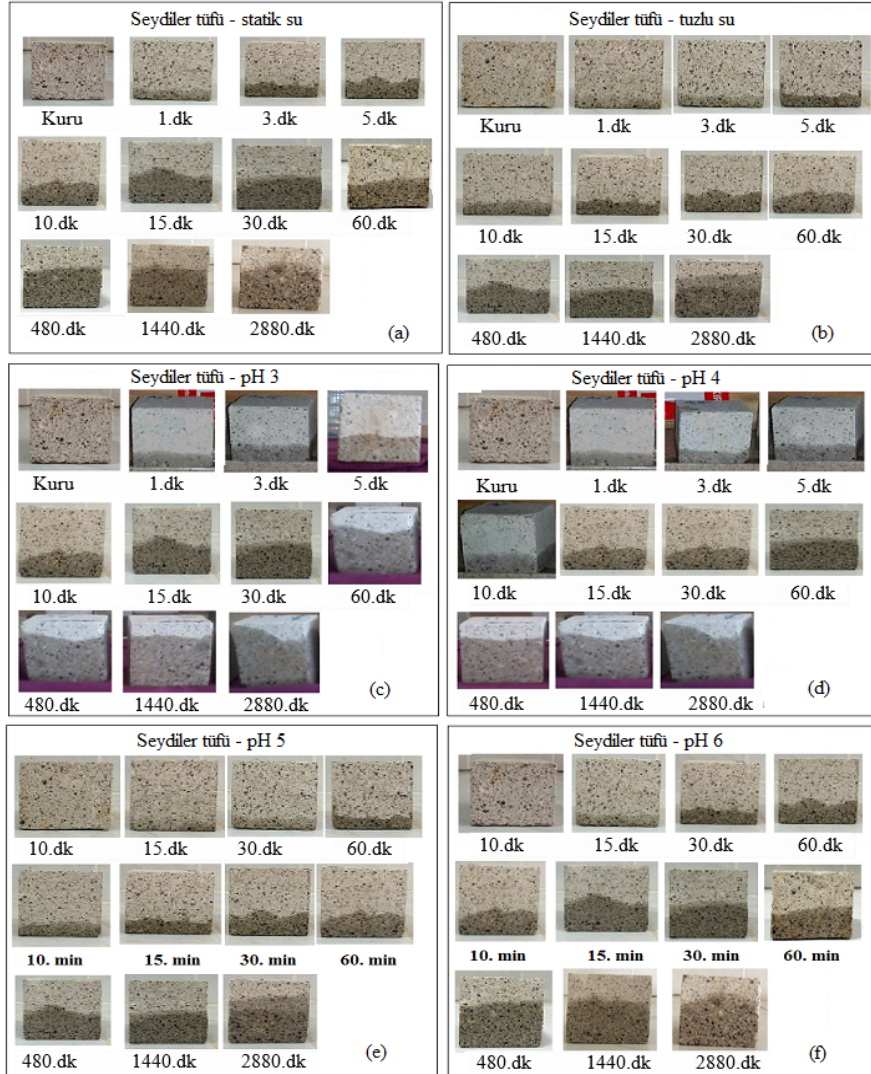
**Şekil 13.** Ayazini tüflerinin değişik sulu ortamlarda kılcal su emme durumları Statik su (a) tuzlu su (b) pH 3 (c) pH 4 (d) pH 5 (e) pH 6 (f) (Capillary water absorption state in various aqueous environments of Ayazini tuff Static water (a) salty water (b) pH 3 (c) pH 4 (d) pH 5 (e) pH 6 (f))

Kılcal su emme sırasında tuz ve asidin etkisini incelemek amacıyla tuzlu ve asidik su (pH 3) ortamındaki andezit ve tüf örneklerinde SEM analizi yapılmıştır. Kılcal su emme deneyi 2880 dk (48 h) sonunda doğal taş yüzeylerinde oluşan birikinti tuz (NaCl) bileşiklerinin varlığı ve asidik suyun etkisi Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Andezitlerde ve tüf örneklerinde, tuz olduğu belirlenen tanelerde ve asidik suyun ayrıştırdığı bazı minerallerde enerji dağılımlı X-ışınları (EDX) analizi yapılmıştır. Andezit ve tüflerde belirlenen tuz kristalleri ve elde edilen EDX grafikleri Şekil 16a, 17a ve 18a’da verilmiştir. Doğada normal ve tuzlu suyun yanı sıra asidik bileşimli sulara da rastlanabilmektedir. Özellikle termik santrallerde ve motorlu araçlarda kullanılan fosil yakıtların yanması sonucu, başta kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) olmak üzere, azot oksitler (NO<sub>2</sub>) gibi çeşitli gazlar atmosfere bırakılmaktadır. Karmaşık bir süreç içinde havadaki öteki kimyasallarla (özellikle nemli bölgelerde su buharı ile) tepkimeye girmesi ile oluşan sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve nitrik

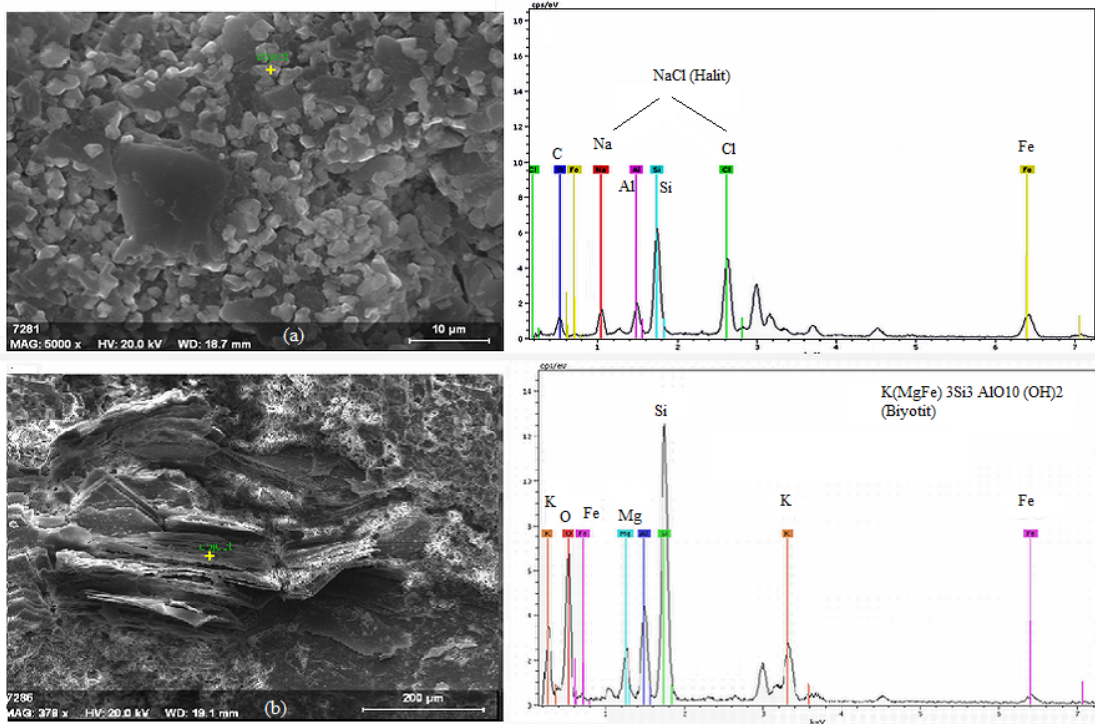
asit (H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>)’in yağmur, kar ve dolu gibi etkenlerle yere ulaşması “asit yağmurları” olarak adlandırılır. Asit yağmurları, tarihsel – kültürel kalıntı ve eserlerin, binaların çözünme ufanma ve aşınma gibi süreçlerle tahrip olmasına yol açmaktadır. Kayaçların yüzeylerinde ve gözeneklerinde bulunması halinde, uzun sürelerde mineral ayrışmalarına yol açabilmektedir. Bu amaçla pH 3, değerinde kılcal su emme deneyi yapılan andezit ve tüf örneklerinde muhtemel ayrışmaların incelenmesi amacıyla SEM incelemeleri yapılmıştır. SEM incelemeleri sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 16b, 17b ve 18b’de verilmiştir. SEM-EDX incelemelerine göre tuz (NaCl) kristalleşmelerinin genellikle örneklerin boşluklarında ve mineral yüzeylerinde olduğu tespit edilmiştir. Zeminde tuz içeren suların varlığı halinde doğal taşların boşluklarında ve yüzeylerinde tuz birikintileri ve kristalleşmeleri olacağı görülmüştür. Bu tuz kristalleri zamanla bulunduğu alanda çatlak oluşumu gibi fiziksel ayrışmalara yol açmaktadır. Ayazini tüfü örneğinde mikro çatlak oluşumları izlenmiştir.



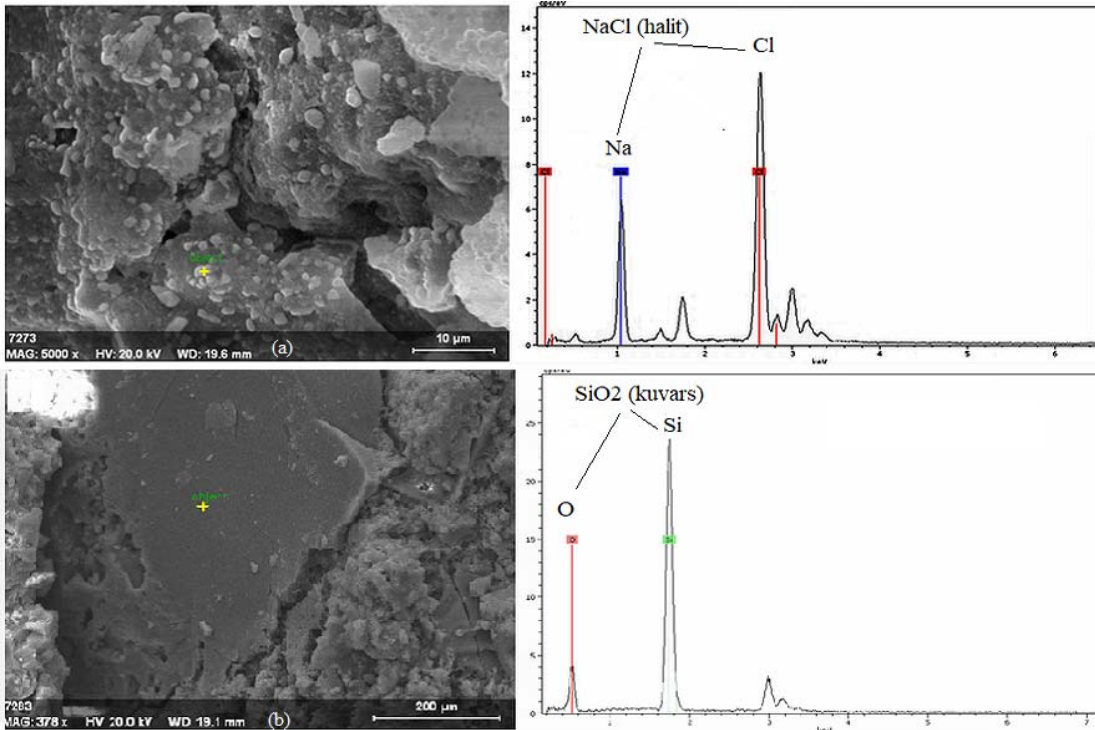
Şekil 14. Seydiler tüflerinin kılcal su emme grafiği (Graph of the average values of the capillary water absorption of the Seydiler tuff)



Şekil 15. Seydiler tüflerinin değişik sulu ortamlarda kılcal su emme durumları Statik su (a) tuzlu su (b) pH 3 (c) pH 4 (d) pH 5 (e) pH 6 (f) (Capillary water absorption state in various aqueous environments of Seydiler tuff Static water (a) salty water (b) pH 3 (c) pH 4 (d) pH 5 (e) pH 6 (f))

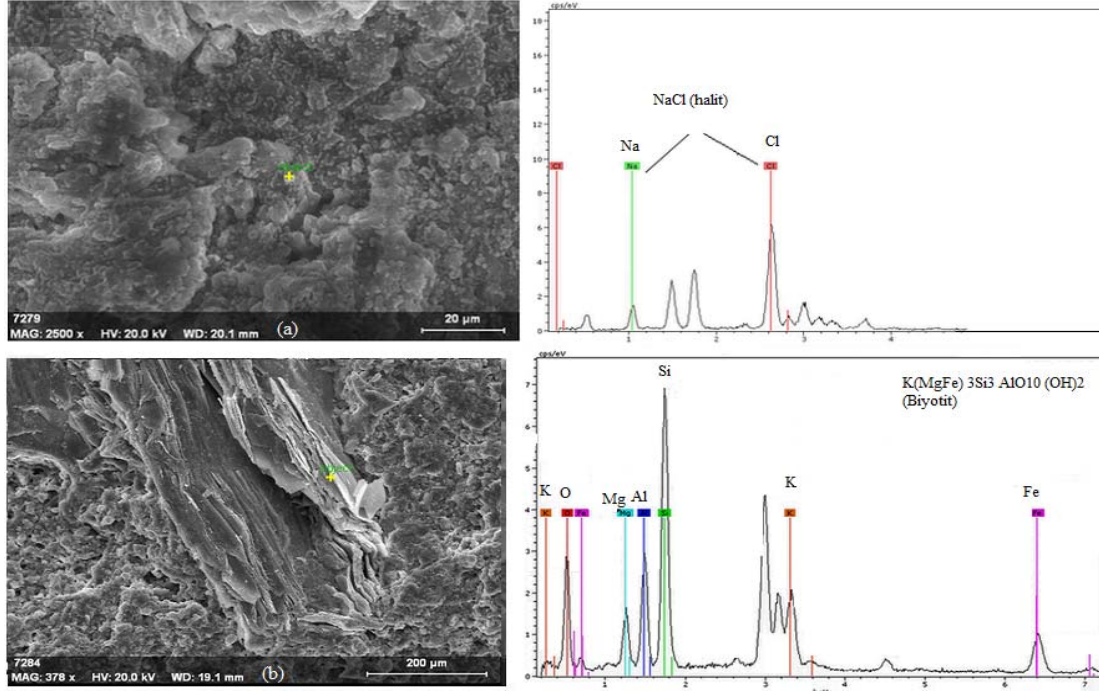


Şekil 16. Andezitlerde gözlenen tuz kristalleri ve tuz kristalinin EDX pikleri a) asidik sularda andezit yüzeyinde biyotit mineralinde görülen ayrışma ve EDX grafiği b) (EDX (Energy Dispersive X-rays) analysis of salt crystals and salt crystals observed in andesite surface a) Dissociation and EDX diagram in biotite mineral on andesite surface in acidic waters b)



Şekil 17. Ayazini tüflerinde gözlenen tuz kristalleri ve tuz kristalinin EDX pikleri a) asidik sularda Ayazini tüfü yüzeyinde görülen bir kuvars kristalinde oyulma ve çatlamlar b) (EDX analysis of salt crystals and salt crystals observed in Ayazini tuff surface a) Carving and cracking in a quartz crystal seen on the surface of Ayazini tuff b)





**Şekil 18.** Seydiler tüflerinde gözlenen tuz kristalleri ve tuz kristalinin EDX pikleri a) asidik sulara Seydiler tüfü yüzeyinde görülen biyotit mineralinin EDX grafiği ve ayrışma b) (EDX analysis of salt crystals and salt crystals observed in Seydiler tuff surface a) EDX diagram and decomposition of the biotite mineral observed on Seydiler tuff surface b)

Asidik sular ise yapı taşları içerisinde minerallerde bozunma ve erime işaretleri göstermiştir. Özellikle dilinim özelliği gösteren mika (biyotit) minerallerinde dilinimler arasında açılma ve ayrışmalar gözlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Kılcal su emme, malzemenin suya değen yüzünden zamanla emilen su miktarı ile belirlenir. Çok küçük çaplı boşluklar içinde kılcallık etkisi ile su yükselir. Suyun etkisiyle kayada oluşan ayrışma ve donma etkisi gibi tahribatlar malzemenin mukavemetini olumsuz etkiler. Dolayısı ile kayacın su emme kapasitesi ve bünyesine giren suyun miktarı önemlidir. Bu çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinde yer alan Ayazini tüflerinin, Seydiler tüflerinin ve İncehisar andezitlerinin kimyasal, mineralojik ve petrografik, fiziko-mekanik ve gözenek özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerin yanında statik, tuzlu ve asidik ortamlarda kılcal etkiye bağlı su emme potansiyelleri değerlendirilmiştir. Yapılan analiz ve deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. İncelenen her üç örneğin de 0,01 µm - 1 mm arasında gözenek çapı dağılımına sahip olduğu gözlenmiştir. Andezit ve tüflerde gözenek boyut dağılımı, 0,01 µm - 10 µm arasında yoğunlaşmıştır. Kılcal su emme miktarını 0,1 µm - 1 mm arasındaki gözenek miktarı etkilemektedir. Kılcal gözeneklilik oranı, en yüksek Ayazini tüflerinde, en az Seydiler tüflerinde ölçülmüştür. Andezitlerde kılcal gözeneklilik oranı %80 iken, Ayazini tüflerinde bu oran %92, Seydiler tüflerinde ise %53 dür. Nitekim gözenek oranı en yüksek olan Ayazini tüfü tüm sulu ortamlarda en yüksek kılcal su emme miktarına sahip olduğu görülmüştür. Çalışma

kapsamında incelenen andezit ve tuf örneklerinin, bazı fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla TS EN standartlarına göre deneyler yapılmıştır. Açık gözeneklilik değerleri ortalama olarak, Ayazini tüflerinde %30,94, Seydiler tüflerinde %12,18 ve andezitlerde %9,00 olarak bulunmuştur. Toplam gözeneklilik değerleri ise ortalama olarak, Ayazini tüflerinde %39,03, Seydiler tüflerinde %25,06 ve andezitlerde ise %26,07 olarak bulunmuştur. Gözenek miktarı en yüksek olan yapı taşı Ayazini tüfü olarak belirlenmiştir. Gözeneklilik, kayaların birçok mühendislik özelliğine olumsuz etki etmektedir. Yüksek gözenekli kayalarda su emme miktarı yüksek olurken yoğunluk ve dayanım değerleri ise düşmektedir. Kılcal su emme potansiyelleri; andezitlerde 5,83 ile 6,74 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> arasında, Ayazini tüflerinde 21,18 ile 22,46 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> arasında, Seydiler tüflerinde ise 7,05 ile 9,30 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> arasında bulunmuştur. En fazla kılcal su emme değerleri yüksek asidik (pH 3) sulara ölçülmüştür. Her üç yapı taşının da kılcal su emme kapasitesi 3,0 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup> den daha büyük olduğu için güçlü kılcal su emme gösteren taşlar sınıfında yer almaktadır. Yüksek emilim değerine sahip olan yapı taşlarının mümkün olduğu kadar yüksek yağış alan yörelerde ve zemin suyu olan alanlarda gerekli önlemler alınarak kullanılmalıdır. Gerek yeraltı sularında gerekse yağmur sularında, normalin dışında asidik özellik oluşabilir. Bu durum, atmosferde bulunan karbondioksitine yağmur suyuyla birleşerek karbonik asit (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) meydana getirmesinden kaynaklanır. Asit yağmurları, doğal çevresel kaynaklardan gelen kükürt ve azot oksitlerin yağmurlarla yeryüzüne inmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu durum sonucunda yağın yağmur suları hem yüzeysel hem de yer altı sularını etkiler.

Aynı zamanda özellikle karbonatlı doğal taşlar üzerinde de aşınma ve ayrışma olaylarını hızlandırır. Diğer doğal taşların da boşluklarına girerek orada ayrışmalarını hızlandırıcı etki yaparlar. Bazı durumlarda da zemin suları tuzlu bileşimde olabilir. Yapılan kılcal su emme deneylerinde en fazla kılcal etkinin, tuzlu ve yüksek asitli sulu ortamlarda meydana geldiğini ortaya koymuştur. Çevresel ve atmosfer etkilerine göre bu özellikte yağmur ve zemin suyuna sahip olan yörelerde özellikle tarihi yapıların büyük bir tehdit altında olduğu söylenebilir. Nitekim çoğu yapılarda kullanılan doğal taşların bol boşluklu ve yüksek kılcal su emme potansiyeline sahip olması durumunda ayrışma ve yapısal tahribat kaçınılmaz olmaktadır. Doğal taşların kullanım alanları belirlenirken öncelikle doğal taşların kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Özellikle tarihi yapılarda kullanılan doğal taşların fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra gözenek boyut dağılımı ve kılcal su emme miktarının da bilinmesi gerekmektedir.

Yapılarda kılcal su emmeden kaynaklı bozulmaların önlemek için doğal taşların özellikleri belirlendikten sonra gerekli koruma önlemlerinin alınması gerekmektedir. Çok rutubetli ortamlarda su itici ve koruyucu kimyasal maddeler kullanılmak suretiyle doğal taşların su emme miktarının azaltılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen yapı taşları, yıllardan beri bölgede cami, köprü, çeşme, kervansaray, külliye gibi yapılarda kullanılmıştır. Özellikle tüfler, düşük yoğunluğu, işlenmesi ve taşınması açısından uygun özellikler göstermektedir. Ancak her üç yapı taşının da güçlü kılcal su emme gösteren taşlar sınıfında yer alması nedeniyle kullanım yeri seçiminde dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Gözenekliliği ve su emme oranı fazla olan andezit ve tüflerin, yapıların su ile temasının fazla olduğu özellikle zemine yakın bölgelerde kullanılmaması doğru olacaktır. Eğer kullanılması gerekiyorsa su itici veya yüzey koruyucu kimyasal maddelerle kaplandıktan veya bölgenin zemin suyundan arındırıldıktan sonra kullanılması daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Yüksek gözeneklilik duvarlarda ısı ve ses izolasyonu açısından olumlu, ıslak zeminlerde yüksek su emme özellikleri nedeniyle olumsuz özellik göstermektedir. Su emme ve donma-çözünme olayları birbirleriyle yakından ilişkili olup özellikle soğuk iklimlerde yapı taşlarını ayrıştırmaktadır. Bu nedenle gece ve gündüz ısı farklarının yüksek olduğu ve donma-çözünme olaylarının sık görüldüğü bölgelerde bu yapı taşlarının dış mekanlarda kullanılmaması gerekmektedir.

## 5. SİMGELER (SYMBOLS)

EDX	: Enerji Dağılımlı X-ışınları
MTA	: Maden Tetkik Arama Enstitüsü
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
TS EN	: Türk Standartları Avrupa Normu
TUAM	: Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
XRD	: X-Işını Kırınımı
XRF	: X-Işını Floresans

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Vazquez P., Alonso F.J., Esbert R.M., Ordaz J., Ornamental granites: relationship between P-waves velocity, water capillary absorption and crack network, *Construction and Building Materials*, 24, 2536-2541, 2010.
2. Cueto N., Benavente D., Martínez-Martínez J., García-del-Cura M.A., Rock fabric, pore geometry and mineralogy effects on water transport in fractured dolostones, *Engineering Geology*, 107, 1-15, 2009.
3. Peruzzi R., Poli T., Toniolo L., The experimental test for the evaluation of protective treatments: a critical survey of the "capillary absorption index", *Journal of Cultural Heritage*, 4, 251-254, 2003.
4. Tomašić I., Lukić D., Peček N., Kršinić A., Dynamics of capillary water absorption in natural stone, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70, 673-680, 2011.
5. Washburn E.W., The dynamics of capillary flow, *Physical Review Journals*, 17, 273-283, 1921.
6. Hoffmann D., Niesel K., Pore Structure of Rendering as a Feature of its Weathering, 7th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Lisbon, 611-620, 1992.
7. Mosquera M.J., Rivas T., Priet B., Silva B., Capillary rise in granitic rocks: interpretation of kinetics on the basis of pore structure, *Journal of Colloid and Interface Science*, 222, 41-45, 2000.
8. Nicholson D.T., Pore properties as indicators of breakdown mechanisms in experimentally weathered limestones, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 819-838, 2001.
9. Karoglou M., Moropoulou A., Giakoumaki A., Krokida M.K., Capillary rise kinetics of some building materials, *Journal of Colloid and Interface Science*, 284, 260-264, 2005.
10. Ioannou I., Andreou A., Tsikouras B., Hatzipanagiotou K., Application of the sharp front model to capillary absorption in a Vuggy limestone, *Engineering Geology*, 105, 20-23, 2009.
11. Şengün N., Demirdağ S., Akbay D., Uğur I., Altındağ R., Akbulut A., Investigation of the Relationships Between Capillary Water Absorption Coefficients and other Rock Properties of Some Natural Stones, V. Global Stone Congress, Antalya, Türkiye, 22-25, October, 2014.
12. Juhász P., Kopecskó K., Suhajda Á., 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, 2014.
13. Moreno F., Vilela S.A.G., Antunes A.S.G., Alves C.A.S., 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, 2006.

14. Çobanoğlu İ., Prediction and identification of capillary water absorption capacity of travertine dimension stone, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 10135, 2015.
15. Çelik M.Y., Kaçmaz A.U., 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, 2016.
16. Al-Naddaf M., Quantifying the influence of halite and sylvite crystallization on capillary water absorption coefficient of sandstone, *Journal of the American Institute for Conservation*, 50 (1), 1-13, 2011.
17. Karagiannis N., Karoglou M., Bakolas A., Moropoulou A., Effect of temperature on water capillary rise coefficient of building materials, *Building and Environment*, 106, 402-408, 2016.
18. Pia G., Casnedi L., Sanna U., Pore size distribution influence on suction properties of calcareous stones in cultural heritage: experimental data and model predictions, *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 7853156, 1-10, 2016.
19. Dinçer İ., Orhan A., Effect of Pore Size Distribution on Capillary Water Absorption Characteristics of Pyroclastic Rock, *Conference: International Black Sea Mining & Tunnelling Symposium*, Trabzon-Turkey, 311-318, 2016.
20. Baykara T., Işık M.C., Physical characterization, microstructural evaluation, and condition assessment of ancient ahlal tombstones in the Seljukian Cemetery of Ahlat (Turkey), *International Journal of Architectural Heritage*, 10 (8), 1025-1040, 2016.
21. Raneri S., Barone G., Mazzoleni P., Rabot E., Visualization and quantification of weathering effects on capillary water uptake of natural building stones by using neutron imaging, *Applied Physics A*, 122 (11), 969, 2016.
22. Karagiannis N., Karoglou M., Bakolas A. ve Moropoulou A., Building Materials Capillary Rise Coefficient: Concepts, Determination and Parameters Involved. In: Delgado J. (eds) *New Approaches to Building Pathology and Durability. Building Pathology and Rehabilitation*, vol 6, Springer, Singapore, 2016.
23. Karagiannis N., Karoglou M., Bakolas A., Krokida M., Moropoulou A., Drying kinetics of building materials capillary moisture, *Construction and Building Materials*, 137, 441-449, 2017.
24. De Kock T., Turmel A., Fronteau G., Cnudde V., Rock fabric heterogeneity and its influence on the petrophysical properties of a building limestone: Lede stone (Belgium) as an example, *Engineering Geology*, 216, 31-41, 2017.
25. Germinario L., Siegesmund S., Maritan L., Mazzoli C., Petrophysical and mechanical properties of Euganean trachyte and implications for dimension stone decay and durability performance, *Environmental Earth Sciences*, 76, 739, 2017.
26. Korkanç M., Characterization of building stones from the ancient Tyana aqueducts, Central Anatolia, Turkey: implications on the factors of deterioration processes, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 77 (1), 237-252, 2018.
27. TS EN 14579., *Doğal Taşlar - DeneY Yöntemleri - Ses Hızı İlerlemesinin Tayini*, TSE, Ankara, 2006.
28. TS EN 1936., *Doğal Taşlar - DeneY Yöntemleri - Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Porozite Tayini*, TSE, Ankara, 2010.
29. TS EN 13755., *Doğal Taşlar - DeneY Yöntemleri - Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini*, TSE, Ankara, 2014.
30. TS EN 1926., *Doğal Taşlar - DeneY Yöntemleri - Tek Eksenli Basıncı Dayanımı Tayini*, TSE, Ankara, 2013.
31. TS EN 1925., *Doğal Taşlar- DeneY metotları- Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini*, TSE, Ankara, 2000.
32. Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Woolley A.R., The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks, *Mineralogy and Petrology*, 46, 1-22, 1992.
33. Klopfer H., Feuchte, In: Lutz P et al (eds) *Lehrbuch der Bauphysik*. Teubner, Stuttgart, 329-472, 1985.
34. Siegesmund S. ve Dürrast H., *Physical and Mechanical Properties of Rocks*, In: *Stone in Architecture*, 4th edition, Siegesmund S., Snethlage R. eds., Berlin: Springer, 97-225, 2011.
35. Mertz J.D., *Structures de porosité et propriétés de transport dans les grès*, Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur, Starsbourg, 1991.
36. Graue B., Siegesmund S., Middendorf B., Quality assessment of replacement stones for the cologne cathedral: mineralogical and petrophysical requirements, *Environ Earth Sci*, 63, 1799-1822, 2011.



