

Araştırma Makalesi/Research Article

## İgnimbiritlerin Kapiler Su Emme Potansiyellerinin Değerlendirilmesi: Ahlat Taşı Örneği

İsmail Dinçer<sup>1</sup>, Ali Özvan<sup>2</sup>, Mutluhan Akın<sup>3</sup>, Mucip Tapan<sup>4</sup>,  
Vural Oyan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Nevşehir Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, NEVŞEHİR  
<sup>2</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, VAN  
<sup>3</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, VAN  
<sup>4</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, VAN  
e-posta: [aliozvan@gmail.com](mailto:aliozvan@gmail.com), [aovzan@yyu.edu.tr](mailto:aovzan@yyu.edu.tr)

**Özet:** Bir yapının veya yüzey kaplamasının bir parçası olarak kullanılan gözenekli doğal bir yapı taşı, yağmur veya yüzey suları ile temas ettiğinde, kapilerite etkisiyle suyu bünyesine alma eğilimi gösterir. Kayaçların bu özelliği, yapı taşlarında meydana gelen fiziksel bozunmanın en önemli nedenlerinden biridir. Bundan dolayı, doğal yapı taşlarının kapiler su emme potansiyellerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Ahlat (Bitlis) bölgesinde bulunan kırmızımsı kahve (N.1), koyu kahve (N.2), sarımsı gri (N.3) ve siyah (N.4) olmak üzere dört farklı renge sahip ignimbirit seviyesinin kapiler su emme potansiyelleri belirlenmiş ve bu kayaların kapiler su emme değerleri farklı özellikteki yapı taşı olarak kullanılan dolomitik kireçtaşı, bazalt ve killi kireçtaşlarına ait değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan kapiler su emme deneylerine göre; Ahlat bölgesinde Selçuklu döneminden günümüze kadar mezar taşlarında, kümbetlerde, hamamlarda ve evlerde kullanılan Ahlat taşının yüksek emici kaya grubunda olduğu ve bu özelliğe bağlı olarak su ile temas eden yüzeylerde, yapılarda önemli fiziksel bozunmanın meydana gelebileceği belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin kapilerite değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla elde edilen belirleme katsayılarında ( $R^2$ ) anlamlı ilişkilerin varlığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ahlat taşı, kapiler su emme, doğal yapı taşı, bozunma

### Evaluation Of Capillary Water Absorption Potentials Of Ignimbrites: Ahlat Stone Case

**Abstract:** A porous dimension stone used as a part of a building or exterior facade tends to absorb water due to capillary action when it is subjected to rain or surface water. The above-mentioned fact is one of the most important reasons of physical deterioration in natural building stones. Therefore, it is very crucial to determine the potential of capillary water absorption of natural stones. In this study, the capillary water absorption potential of four different ignimbrite levels from Ahlat (Bitlis) region, namely brown (N.1), dark brown (N.2), yellowish gray (N.3) and black (N.4) was determined and compared with natural stones with different properties such as dolomitic limestone, basalt and clayey limestone. The Ahlat stone used in residential houses, hammams, tombs and gravestones in the Seljuk Empire period as well as today around the Ahlat region is historically and economically important. According to the capillary water absorption tests, the ignimbrites are classified as high absorbing rocks and consequently, significant physical deterioration may occur around the stone surfaces of buildings in contact with water. Moreover, significant relationships were determined between capillary values of samples and physico-mechanical properties considering coefficient of determination ( $R^2$ ).

**Keywords:** Ahlat stone, capillary water absorption, building stone, deterioration.

## Giriş

Bilindiği üzere su, tek başına veya diğer çevresel faktörlerle birleşerek, kayalarda bozunmayı hızlandırmakta ve kayanın fiziko-mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bundan dolayı, özellikle doğal yapı taşlarında bozunma mekanizmasını belirlemek için suyun yapı taşları içerisindeki hareketinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Genellikle akışkan bir sıvı ile temas eden gözenekli bir ortam, kapilerite etkisiyle onu absorbe eder. Aynı şekilde, yığma bir yapının veya yüzey kaplamasının bir parçası olarak kullanılan gözenekli bir yapı taşı, yağmur ve yüzey suları ile karşılaştığı zaman mutlaka suyu bünyesine alma eğilimi gösterir. Bu tamamen kayalar içerisindeki gözeneklerin kontrol ettiği kapiler emme kuvveti ile ilişkilidir ve kendiliğinden gerçekleşen bir olaydır. Kapiler su emme mekanizması, 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 gerçekleşir. Yapı taşlarının kapiler su emme değerleri ile gözenek sistemini karakterize eden bazı özellikleri karşılaştırıldığında, kapiler su taşınmasının, petrografik özellikler ve gözenek sistemiyle sıkı bir ilişkiye sahip olduğu belirtilmektedir (Cueto vd., 2009; Vazquez vd., 2010).

Doğal yapı taşları içerisine farklı yollarla giren su, nem ve ısı değişimine bağlı olarak yapı taşlarında farklı hacimsel deformasyonlara neden olabilmektedir. Nem, gözenekli kayanın bünyesinde kuru kısımlara doğru sürekli olarak hareket eder ve buharlaştığı esnada taşıdığı erimiş tuzu kayanın bünyesine bırakır. Atmosferik etkilere maruz kalan gözenekli kayaların yüzeylerinde bu olay sıkça görülür (Blows vd., 2003). Su, tuzların yapı taşları ile etkileşime girmesini sağlayarak gözenekli kayalar üzerinde bozunmayı hızlandırıcı bir etki oluşturabilmektedir. Tuz etkisiyle ortaya

çıkan bozunmada, hidrasyon ve dehidrasyona bağlı olarak büzülme ve genişleme süreçleri ile birlikte hacimsel değişimler de meydana gelir (Rijniers, 2004; Dal, 2011). Bu hacimsel değişimler, örneğin kireçtaşı ve mermer için % 0.001 olurken, kumtaşları için % 0.07 civarındadır (Özdemir, 2002). Meydana gelen bu deformasyonlara bağlı olarak, kayalar içinde zamanla mikro-çatlaklar oluşabilmektedir. Bu çatlaklar hem yapı taşlarında bozunmayı hızlandırmakta hem de kaya içerisinde suyun hareketini kolaylaştırmaktadır. Önceki çalışmalar incelendiğinde, kapilerite etkisiyle yapı taşlarında ve kayalarda meydana gelen bozunmayı konu alan birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Örneğin, Özdemir (2002), Konya kent merkezinde kapilerite etkisiyle çekilen su ve nemden dolayı birçok yapının iç ve dış yüzeyinin bozulduğunu, özellikle tarihi yapılarda bulunan sanat değeri yüksek süslemelerin önemli derecede bozulduğunu belirtmiştir. Yıldız vd. (2010), Aksaray'da bulunan Sultanhanı Kervansarayı'nda kapiler su yükselmesinin neden olduğu bozunmaların yapıya zarar verdiğini belirtmiştir. Benzer şekilde Ergüler (2009), Kapadokya bölgesinde yapı taşı olarak kullanılan ignimbiritlerin bulunduğu bazı yapılarda ve peri bacalarında kapilerite etkisiyle ciddi bozunmaların meydana geldiğini belirtmiştir. Aynı araştırmacı tarihi yapılarda ve peri bacalarında kapiler zonun yer yer 1.0 metreye kadar ulaştığını vurgulamıştır. Yukarıda verilen örneklerden anlaşılacağı üzere, kapilerite etkisine bağlı olarak kayalarda meydana gelen nemlenme özellikle direk atmosferik etkilere maruz kalan tarihi yapılardaki bozunmanın etkisini ön plana çıkarmaktadır (Şekil 1). Özellikle taşın üst yüzeyine taşınan su burada erimiş tuzları bıraktığı gibi, taşın üst yüzeyinde nemli kısımlar da oluşturmaktadır. Bu nemli kısımlara yapışan tozlar kirlenmelere ve bir takım yosunların oluşmasına neden olmaktadır (Güleç, 1970).



Şekil 1. Su ve nem etkisi ile Ahlat taşında (İgnimbirit) oluşan bozunmanın genel görünümü.

#### Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada malzeme olarak, ülkemizde yapı taşı olarak kullanılan dört farklı ignimbirit, killi kireçtaşı, bazalt ve dolomitik kireçtaşından oluşan yedi farklı kaya örneği kullanılmıştır. İgnimbiritler (N.1, N.2, N.3, N.4) literatürde Ahlat taşı olarak adlandırılmakta olup, Bitlis bölgesinden, killi kireçtaşları ise Mardin kireçtaşı olarak (Şekil 2).

bilinen Alt Eosen - Alt Oligosen yaşlı resifal kökenli Hoya Formasyonu içindeki killi ve tebeşirli kireçtaşı (BK) seviyelerinden alınmıştır. Bazaltlar (B), Eosen yaşlı olup, İzmir bölgesinden alınmıştır. Dolomitik kireçtaşları (DMK) ise Adıyaman bölgesinde Emperador olarak adlandırılmakta olup, Mardin grubuna ait kireçtaşlarından alınmıştır

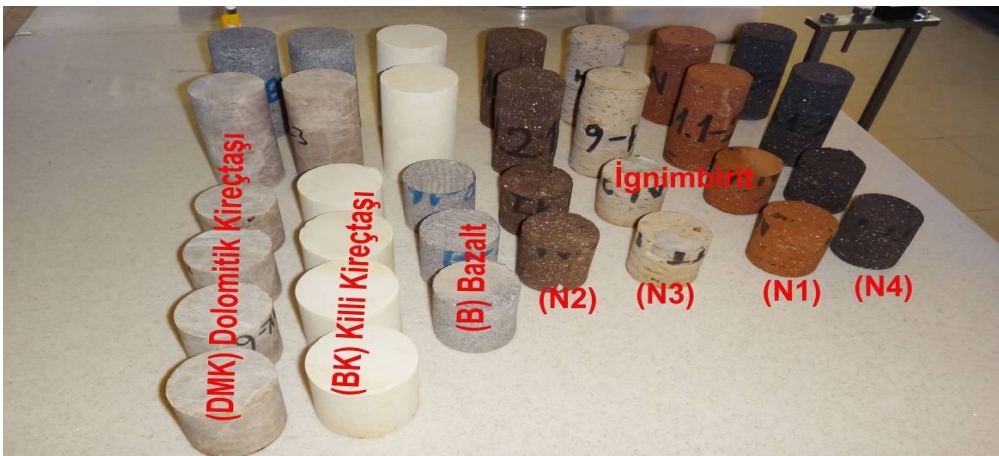


Şekil 2. Çalışmada kullanılan numunelerin lokasyon haritası.

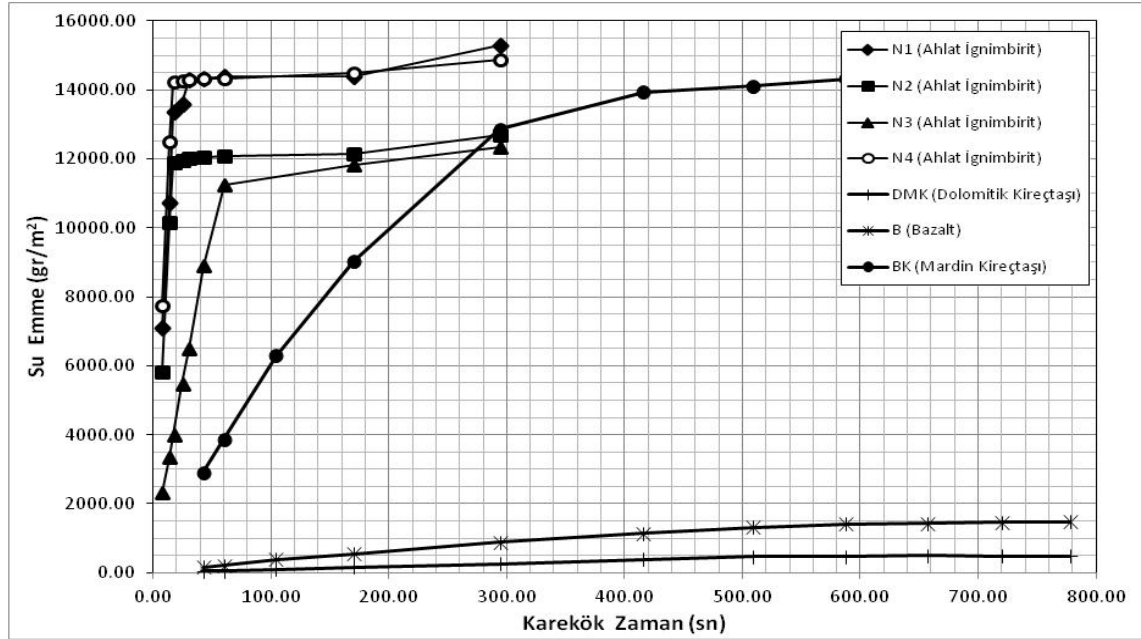
Kayaların kapilerite özelliğinden dolayı, suyla temas edecek ortamlarda kullanılacak olan yapı taşları için kapiler su emme katsayısının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla, UNE-EN 1925 (1999) ve TS EN 1925 (2000) gibi standartlar kullanılmaktadır. Doğal yapı taşlarında kapilerite özelliğinin belirlenmesi amacıyla kullanılan TS EN 1925 standardında deney için, kenar uzunluğu veya çapı  $70 \pm 5$  mm ile  $50 \pm 5$  mm olan küp veya çapı boyuna eşit silindirik numunelerin kullanılması önerilmiştir. Bu çalışmada, Ahlat bölgesinde Selçuklu döneminden günümüze kadar kullanılan ignimbiritlerin kapiler değerleri belirlenerek farklı özellikteki kayalarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada Boy/Çap oranı  $(L/D)=1$  olan 50 mm çapında silindirik numuneler kullanılmıştır (Şekil 3). Bu numunelerin kuru birim hacim ağırlığı ( $\gamma_k$ ), görünür porozitesi ( $n$ ), atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme ( $A_w$ ) değeri, P-dalgı hızı ( $V_p$ ) ve tek eksenli basınç dayanımı (UCS) deneyleri TS 699 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Daha sonra, 7 farklı kaya örneği için 3'er adet L/D oranı 1.0 olan, 50 mm çapında silindirik deney numuneleri, kapiler su emme deneyi için hazırlanmış ve TS EN 1925 (2000) standardına göre kapiler su emme katsayıları (C) belirlenmiştir. Bu deney için hazırlanan silindirik kaya numunelerinin tabanı  $3.00 \pm 1$  mm derinliğinde su içine batırılmıştır. Su seviyesinin ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmemesi için ortam sıcaklığının deney süresince sabit kalması sağlanmıştır.

Kapileritenin ölçülmesi sırasında farklı zaman aralıkları kullanılmıştır. Zaman aralıkları, yüksek su emme değerine sahip ignimbirit için 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440 dakika seçilirken, ignimbirit numunelerine göre daha düşük su emmeye sahip olan killi kireçtaşı, bazalt ve dolomitik kireçtaşı için 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 ve 4320 dakika olarak seçilmiştir. Her bir zaman aralığında numuneler sudan çıkartılarak üzerindeki damlacıkların yüzeyden uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra her bir numune 0.01 gr hassasiyetle tartılarak zaman aralığına bağlı olarak emdikleri su miktarları belirlenmiştir. Kapilerite deneyinin son aşamasında emilen su miktarlarının (gram), taban yüzeyinin alanına ( $m^2$ ) oranı, karekök zaman ( $sn$ ) değeri ile denestirilmiştir. Şekil 4'te incelenen kaya örnekleri için kapiler su emme deneyinde elde edilen ortalama eğriler verilmiştir. Şekil 4'ten de görüleceği üzere özellikle ignimbiritler için elde edilen grafikler, dik eğime sahip birinci bölüm ve daha düşük eğimli olan ikinci bölüm olmak üzere iki farklı eğime sahip doğru ile temsil edilmektedir. Kapiler su emme katsayısı (C), grafiğin birinci bölümündeki dört ölçüm noktasının belirleme katsayısının 0.95'ten büyük olduğu durumda, doğrunun eğiminden  $gr/m^2sn^{0.5}$  birimine göre hesaplanmaktadır.

Ayrıca, bu çalışma kapsamında teste tabi tutulan ignimbiritlerin fiziksel-mekanik özellikleri ile kapilerite özellikleri arasındaki ilişki istatistiksel bir çalışma ile belirlenmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan numunelerin genel görünümü.



Şekil 4. İncelenen kayalar için elde edilen tipik kapiler su emme -karekök zaman grafikleri.

#### Bulgular ve Tartışma

İncelenen kaya numunelerinin fiziko-mekanik özellikleri ve incelenen kayaların ortalama kapiler su emme katsayıları (C) Tablo 1’de verilmiştir. Buna göre numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı 10.79 – 92.96 MPa aralığında değişmektedir. Dayanım açısından bakıldığında Deere ve Miller (1966)’e göre; N.1, N.2, N.3 ve N.4 numaralı ignimbirit numuneleri ile BK kodlu killi kireçtaşı çok düşük dayanımlı kaya grubunda yer alırken, B kodlu bazalt ile DMK kodlu dolomitik kireçtaşı ise orta dayanımlı kaya grubunda yer almaktadır.

Kapiler su emme katsayısı (C) 0.92–821.87  $\text{gr/m}^2\text{sn}^{0.5}$  arasında değişmektedir. Snethlage (2005), kapiler su emme değerlerini  $\text{kg/m}^2\text{h}$  cinsinden kullanarak

kayaları,  $C < 0.5 \text{ kg/m}^2\text{h}$  ise az emici,  $0.5 < C < 3.0 \text{ kg/m}^2\text{h}$  ise orta emici ve  $C > 3.0 \text{ kg/m}^2\text{h}$  ise yüksek emici olarak sınıflandırmıştır. İncelenen kaya numunelerinin kapiler su emme değerleri bu anlamda Şekil 4’de verilen grafiklerden okunmuştur. Elde edilen değerler  $\text{kg/m}^2\text{h}$  cinsinden Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre tüm ignimbirit ve killi kireçtaşı numuneleri yüksek emici kaya grubunda yer alırken, bazalt ve dolomitik kireçtaşı az emici kaya grubunda yer almaktadır. Bu çalışmada elde edilen kapilerite değerleri, literatürdeki benzer özelliklerdeki kayalarla yaklaşık aynı değer aralıklarını içermektedir (Nevander ve Elmarsson, 1994; Wassman, 1997; Özdemir, 2002; Stück vd., 2008).

Tablo 1. İncelenen kaya numunelerinin ortalama kapiler su emme katsayıları ve diğer mühendislik özellikleri

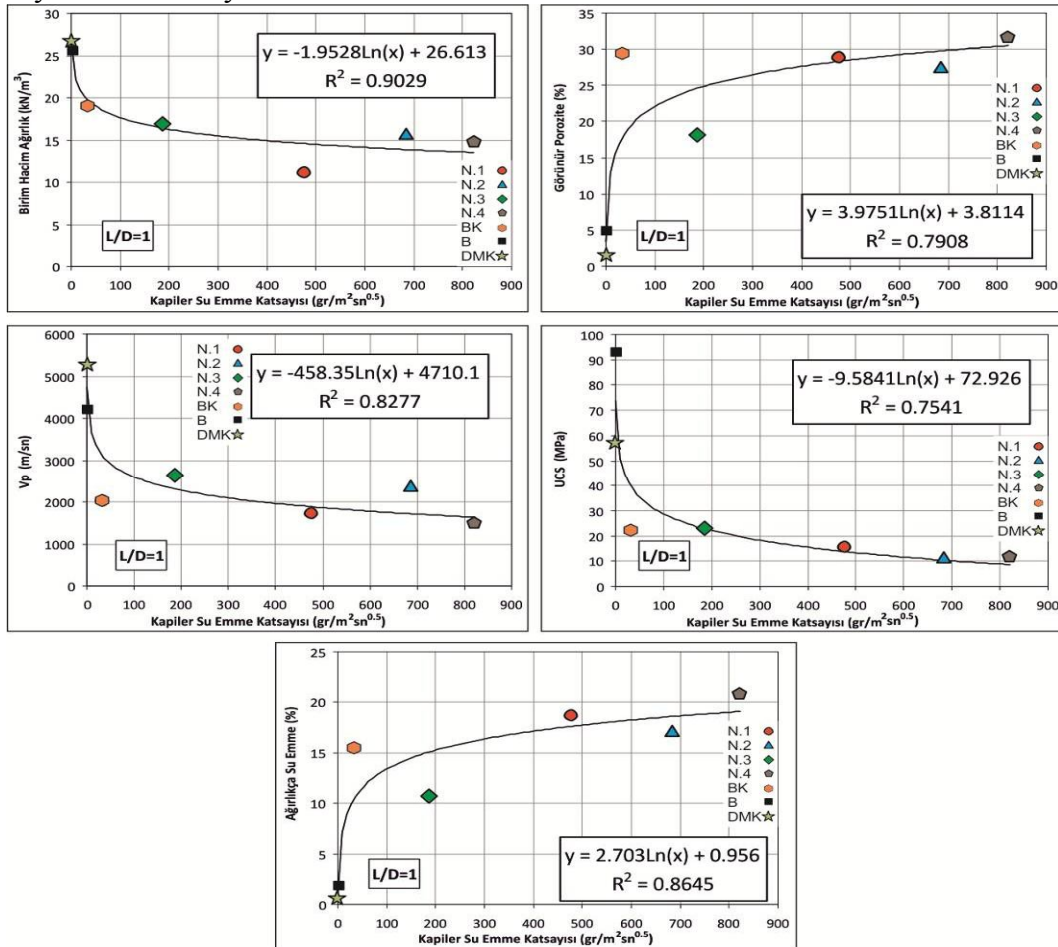
	N.1	N.2	N.3	N.4	BK	B	DMK
C ( $\text{g/m}^2\text{sn}^{0.5}$ )	476.81	685.71	187.31	821.87	33.541	2.41	0.92
$\gamma_k$ ( $\text{kN/m}^3$ )	15,13	15.77	16.82	14.85	18.95	25.62	26.67
n (%)	28.89	27.40	18.13	31.53	29.42	4.85	1.53
$A_w$ (%)	18.68	16.92	10.69	20.80	15.42	1.87	0.56
$V_p$ (km/s)	1709.57	2378.16	2623.95	1491.06	2023.11	4200.24	5275.49
UCS (MPa)	15.78	10.79	22.67	11.52	22.01	92.96	57.29

**Tablo 2.** İncelenen kaya numunelerinin kapiler su emme katsayılarına göre sınıflandırılmaları

Numune No	Kapiler Su Emme Katsayısı $\text{kg/m}^2\text{h}$	Tanımlama	Snethlage (2005)'e göre sınıflama
N.1	14.39	İgnimbirit (Ahlat)	Yüksek emici kaya
N.2	12.07	İgnimbirit (Ahlat)	Yüksek emici kaya
N.3	11.23	İgnimbirit (Ahlat)	Yüksek emici kaya
N.4	14.34	İgnimbirit (Ahlat)	Yüksek emici kaya
BK	3.86	Killi Kireçtaşı (Mardin)	Yüksek emici kaya
B	0.21	Bazalt (Bergama-İzmir)	Az emici kaya
DMK	0.05	Dolomitik Kireçtaşı (Adıyaman)	Az emici kaya

Bu çalışmada hesaplanan kapiler su emme değerleri doğrudan ilişkili olduğu, kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_k$ ), görünür porozite ( $n$ ) ve ağırlıkça su emme ( $A_w$ ) değerinin yanı sıra, P-dalga hızı ( $V_p$ ) ve tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerinin ortalamaları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Bu parametreler ile kapiler su emme katsayıları arasında yüksek belirleme

katsayısına ( $R^2$ ) sahip ilişkiler elde edilmiştir ve belirleme katsayılarının ( $R^2$ ) 0.75 ile 0.90 arasında değiştiği hesaplanmıştır. En yüksek ilişki kapiler su emme değeri ile birim hacim ağırlık ve ağırlıkça su emme değerleri arasında elde edilirken, en düşük belirleme katsayısı tek eksenli basınç dayanımı değeri ile olan ilişkiden elde edilmiştir.

**Şekil 5.** Kapiler su emme katsayılarının diğer mühendislik özelliklerinin ortalaması ile karşılaştırılması.

## Sonuçlar

Bu çalışmada, Ahlat bölgesinde Selçuklu döneminden günümüze kadar kullanılan, farklı renge sahip ignimbiritlerin kapiler su emme değerleri farklı özellikteki kayalar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kırmızımsı kahve, koyu kahve, sarımsı gri ve siyah renkli olmak üzere 4 farklı ignimbirit, killi kireçtaşı, bazalt ve dolomitik kireçtaşından oluşan toplam 7 farklı numune kullanılmıştır.

İgnimbiritlerin kapiler su emme katsayısı (C)  $187.31 - 821.87 \text{ gr/m}^2\text{sn}^{0.5}$  arasında değişirken, incelenen diğer kayaların kapiler su emme değerleri  $33.54 - 0.92 \text{ gr/m}^2\text{sn}^{0.5}$  arasında değişmektedir. Snethlage (2005)'e göre bu çalışmada kullanılan tüm ignimbirit ve killi kireçtaşı numuneleri yüksek emici kaya grubunda yer alırken, bazalt ve dolomitik kireçtaşı az emici kaya grubunda yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, Ahlat ignimbiritleri yapı taşı olarak kullanılan diğer kayaç türlerine göre oldukça yüksek kapiler su emme potansiyeline sahiptir. Bu özelliğinden dolayı özellikle Selçuklu döneminde yapılan mezar taşları üzerinde gözlenen fiziksel bozunmaların en önemli nedeninin Ahlat ignimbiritlerinin sahip olduğu kapilerite olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada kullanılan numunelerin kapiler su emme değerleri ile kayaların diğer fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalaması arasında 0.90 ile 0.75 arasında yüksek belirleme katsayıları ( $R^2$ ) bulunmuştur. Elde edilen belirleme katsayıları göz önüne alındığında, numunelerin kapiler su emme değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin olduğu belirlenmiştir.

## Tesekkür

Bu çalışma, 2012-MİM-B011 numaralı proje ile Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığınca desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Blows, J.F., Carey, P.J. ve Poole, A.B., 2003. Preliminary investigations into Caen Stone in the UK, use weathering and comparison with repair stone. *Building and Environment* 38, 1143-1149.
- Cueto N., Benavente D., Martínez-Martínez J. García-del-Cura M.A., 2009. Rock fabric, pore geometry and mineralogy effects on water transport in fractured dolostones. *Engineering Geology* 107: 1-15.
- Dal, M., 2011. Pınarhisar kalkerleri ve Marmara beyazı mermerinde tuzların yıkıcı etkileri. *Trakya Univ. J. Sci.*, 12(1): 47-56.
- Deere D.U. ve Miller R.P., 1966. Engineering classification and index properties of intact rock. Technical Report No: AFNL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base Weapons Laboratory, New Mexico, 308 p.
- Ergüler Z. A., 2009. Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs. *Engineering Geology* 105: 186-199.
- Güleç, K., 1970. Taşların Ayrışması ve Ayrışmanın Ölçülmesi. *Madencilik Dergisi*, Cilt IX, Sayı 1, Maden Müh. Odası Yayını, Ankara.
- Nevander, L.E. ve Elmarsson, B., 1994. *Handbook of Moisture Practice and Theory*; Second Edition, Staoekholm.
- Özdemir, A., 2002. Capillary water sorption potentials of some building materials. *Geological Engineering*, 26 (1), 19-32.
- Rijniers, L.A., 2004. Salt Crystallization in Porous Materials: an NMR Study. Technische Universiteit Eindhoven (PhD Thesis), Netherlands.
- Snethlage R., 2005. Leitfaden zur Steinkonservierung. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- Stück, H., Forgo, L.Z., Rüdric, J., Siegesmund, S., Török, A., 2008. The behaviour of consolidated volcanic tuffs: weathering mechanisms under simulated laboratory conditions. *Environ Geol* 56:699-713.
- TS EN 1925, 2000. Doğal Taşlar Deney Metotları -Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü., Ankara.S. 9.

- TS 699, 1987. Tabii yapı taşları muayene ve deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, s. 82.
- UNE-EN 125, 1999. Natural stone test method. Determination of water absorption coefficient by capillarity. 13 p.
- Vazquez P. Alonso F.J. Esbert R.M Ordaz J., 2010. Ornamental granites: Relationship between p-waves velocity, water capillary absorption and crack network. *Construction and Building Materials*. 24: 2536-2541.
- Wassman, L., 1997. Studies on the frost resistance of nature stones, Report TVBM-3077. Lend University, Lund Institute of Technology, 212p.
- Yıldız M., Özşahin Y.E. ve Soğancı A.S., 2010. Deteriorations on Historical Buildings Due To Capillarity; Aksaray Sultanhanı Caravansary Model BALWOIS 2010 - Ohrid, Republic of Macedonia - 25, 29 May 2010.