

# Kayaçların fiziksel özelliklerinin ıslanma ve kuruma etkisine bağlı değişiminin belirlenmesi

Ali Osman ÇAKIR , Kadir KARAMAN\* , Ali Osman YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Geliş Tarihi (Received Date): 25.02.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 05.07.2022

## Öz

Kayaçların bazı fiziksel özellikleri (su içeriği, yoğunluk vb.), kaya mühendisliği projelerinin tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Farklı iklim koşullarında (yağış, kuraklık vb.) yapılan tasarımlarda kullanılan kayaçların fiziksel özellikleri değişebilmektedir. Bu çalışmanın amacı ıslanma ve kurumaya tabi tutulan boşluklu ve masif kayaçların su içeriği özelliklerinin zamana bağlı değişimlerini araştırmaktır. Bu amaca yönelik olarak bu çalışmada fosilli kireçtaşı, masif kireçtaşı ve volkanik breş kayaçları kullanılmıştır. Laboratuvar çalışmaları yoğunluk, görünür porozite ve su içeriği deneylerini içermektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda kayaçların bünyelerindeki suyu, sıcak bir ortamda (105 °C), ilk saatler içinde uzaklaştırdığı görülmüştür. Benzer bir şekilde kayaçlar ilk birkaç saat içinde suya maruz kaldığında neredeyse suya doygun hale gelebilmektedir. Sabit sıcaklık (30 °C) altında ise, örneklerde ilk gün sonunda suyun büyük miktarı kayaç bünyesinden uzaklaşmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yoğunluk, su içeriği, ıslanma-kuruma

## Determination of changes of physical properties of rocks based on the wetting and drying

### Abstract

Some physical signatures of rocks such as water content and density are commonly used in the design of rock engineering projects. The physical properties of rocks, which are used in the designs, can vary as a result of diverse climatic conditions (rainfall, drought, etc.). The aim of this study is to investigate the changes of time dependent of porous and

\*Kadir KARAMAN, kadirkaraman@ktu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-3831-4465>

Ali Osman ÇAKIR, aocakir@ktu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-3528-566X>

Ali Osman YILMAZ, aoyilmaz@ktu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-3192-8533>

*massive rocks subjected to wetting and drying in which properties of water content. For this purpose, fossiliferous limestone, massive limestone and volcanic breccia were used in the current study. Laboratory experiments involved the tests for density, apparent porosity and water content of the samples. It is noteworthy that much water is removed from the body of rocks in the early hours in a hot environment (105 °C) based on the results of this study. Similarly, the rocks can nearly become saturated in the first few hours when they exposed to water. Under constant temperature (30 °C), a large amount of water was removed from the rock body at the end of the first day in the samples.*

**Keywords:** Density, water content, wetting-drying

## 1. Giriş

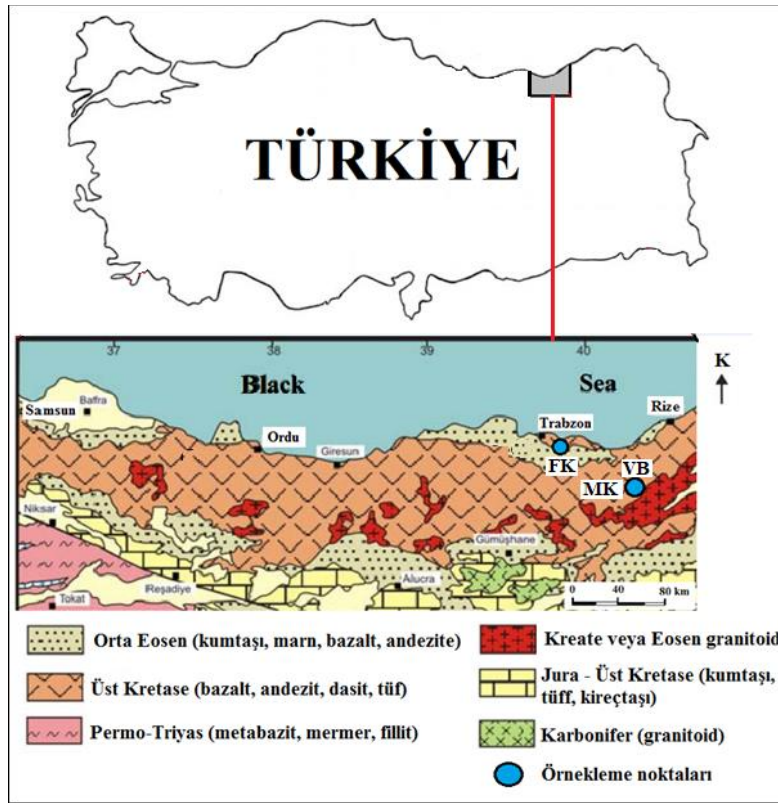
Kayaçların petrografik açıdan incelenmesi, bu kayaçlardaki minerallerin isimlerinin belirlenmesi ve bu minerallerin birbiri ile olan dokusal ilişkilerinin belirlenmesinde önemlidir. Buna ek olarak, mühendislik açısından ise minerallerdeki gözenekler, mikroçatlaklar ve anizotropi daha büyük mekanik öneme sahiptir [1]. Bu nedenle, mineral bileşimi, gözeneklilik, doku ve yapısal anizotropi bakımından farklılık gösteren kayaçların, farklı dayanım ve deformasyon özelliklerine sahip olması beklenmektedir [2]. Kayaçların sahip oldukları bazı fiziksel özellikler (yoğunluk, porozite, su emme vb.) hacim ve kütlelerinin yanı sıra gözenek ve boşluk özellikleri ile ilişkilidir. Kayaç bünyesinde boşluk oranının artmasıyla, kayaç yoğunluğu azalmakta ve porozite artmaktadır. Dolayısıyla, kayaçların dayanım gibi bazı mekanik özelliklerinde azalma ortaya çıkmaktadır. Kayaçların doğal su içeriğinin belirlenmesi genellikle yeraltı su seviyesinin altında yapılan, yeraltı madencilik faaliyetlerinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesinde önem arz etmektedir [3]. Su içeriği, heyelanlar ve karstik çökmeler gibi birçok kaya mühendisliği tehlikeleri ile yakından ilişkili olup, kaya malzemesi özellikleri üzerinde de belirgin bir etkiye sahiptir [4]. Su içeriğindeki küçük bir değişiklik, kayaçların dayanım ve deformasyonlarında önemli değişikliklere yol açabilir. Heyelanlar genellikle yoğun yağış sonrasında oluşurken [5] yeraltı suyu akışı ise karstik çökmelere neden olabilmektedir [6]. Kayaçların mekanik özelliklerine ilave olarak yoğunluk, porozite ve su içeriği gibi bazı önemli fiziksel özelliklerine inşaat sektörü, liman ve havaalanı dolgusu, parke, gabion imalatları, yol çalışmaları gibi mühendislik projelerinde ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, donma çözülme ve termal şok parametreleri ile ilgili yapılan çalışmalarda kayaçların yoğunluk, porozite ve su emme gibi fiziksel özellikleri önem taşımaktadır [7–14]. Yavuz [7] donma çözülme ve termal şok özelliklerinin andezit kayaçlarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Yazar, görünür porozite ve su emme oranının donma çözülme döngü sayılarındaki artış ile doğru orantılı olarak arttığını ancak termal şok döngü sayılarındaki artış ile azaldığını göstermiştir. Yavuz ve ark. [8] donma çözülme ve termal şok döngü sayılarından yola çıkarak ayrıışmış karbonat kayaçların indeks özelliklerini istatistiksel modellere dayalı olarak tahmin etmişlerdir. Güler ve ark. [13] farklı karbonat kayaçlarda yaptıkları çalışmada donma çözülme ve termal şok döngü sayıları arttıkça porozite değerlerinde artış olduğunu göstermişlerdir. Esenli [15] yaptığı çalışmada parke taşı olarak kullanılacak kayaçların yoğunluğunun 2.4 gr/cm<sup>3</sup>'ten büyük olması gerektiğini ifade etmiştir. Yılmaz ve ark. [16] agregaların yol üst yapımında kullanılabilmesi için su emme değerinin > % 2.5 olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bazı araştırmacılar, kayaçlara ait porozite ve dayanım gibi parametrelerin şok dalgası yayılma hızı üzerine etkisinin olduğunu bildirmişlerdir

[17, 18]. Ayrıca, Kekeç ve Gökay [19] kayaların parçacık hareketleri ve su emme kapasiteleri arasında güçlü bir ilişki bulmuşlardır.

Kayaçların fiziksel özellikleri (yoğunluk, porozite ve su içeriği vb.) jeoteknik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan önemli parametrelerdir. Farklı su içeriklerine sahip kayaların mekanik özelliklerine yönelik literatürde çok sayıda çalışma olmasına karşın [4, 20, 21], zamana karşı kayaların su içeriklerindeki değişime yönelik yapılan çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı boşluklu ve masif kayaların ıslanma ve kuruma etkilerinin zamana bağlı su içeriklerindeki değişim parametrelerini araştırmak ve buradan hareketle doğadaki süreci anlamaya çalışmaktır.

## 2. Deneysel çalışmalar

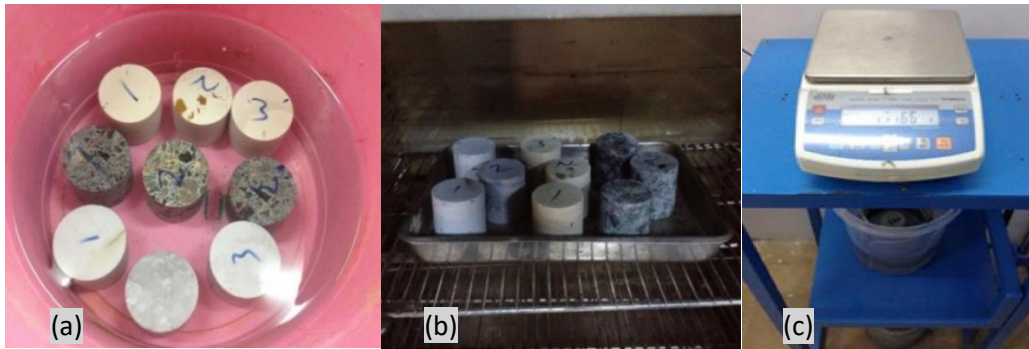
Çalışma kapsamında 3 farklı kaya türüne (fosilli kireçtaşı, masif kireçtaşı, volkanik breş) ait bloktan karot alınarak silindirik örnekler hazırlanmıştır. Bu düzgün şekilli silindirik örneklerin yoğunluk, görünür porozite ve su içeriği gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Deneyler, her kayaç türüne ait üçer örnek olmak koşuluyla, toplamda 9 adet şekilli silindirik numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca şekilsiz örnekler üzerinde de fiziksel özellikler belirlenmiş ve silindirik örneklerdeki sonuçlar ile benzer oldukları görülmüştür. Şekil 1 örneklerin alındığı yerleri göstermektedir.



Şekil 1. Örneklemeye noktaları ve jeolojik bilgiler (Okay ve Sahintürk [22] ve Parlak ve ark. [23]'den değiştirilmiştir).

Kaya bloklarından alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler için şekilli silindirik numunelerin hacim ve ağırlık hesaplamaları yapılmıştır. Görünür gözenek hacmi kuru

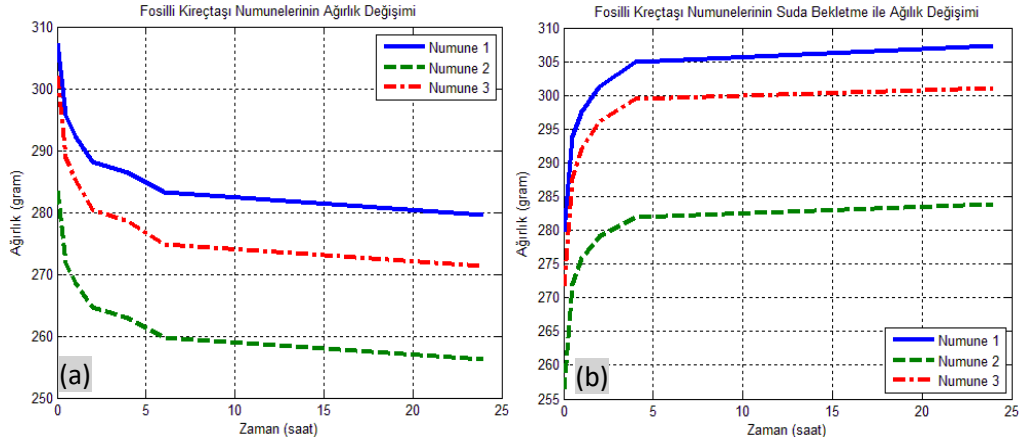
yüzeysel doygun ağırlık ve kuru ağırlık arasındaki farktan elde edilmiştir. Görünür porozite ise görünür gözenek hacminin örneğin toplam hacmine oranından elde edilmiştir. ISRM [24] tarafından önerilen yöntemlere göre yapılan deneylerde kullanılan şekilli örneklerin boyutları 0.01mm hassasiyetli dijital kumpas ile hassas bir şekilde belirlenmiştir. 105 derecede etüve bırakılan örneklerin ağırlık değişimini ve buna bağlı olarak su içeriğindeki değişimi zamana bağlı görebilmek adına; 0.5, 1, 2, 4, 8 ve 24 saatlik aralıklarla etüvden çıkarılarak, ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Benzer ölçümler oda sıcaklığındaki su içerisine bırakılan karot örnekleri için de gerçekleştirilmiştir. İlk ölçüm aralıklarının daha yakın tutulduğu zamana bağlı olarak yapılan ölçümlerde herhangi bir standart takip edilmemiştir. Numuneler suya doyurulduktan sonra, yüzeyleri kurutularak, doygun ağırlıkları belirlenmiştir. Şekil 2’de laboratuvarında gerçekleştirilen bazı çalışmalara ait görüntüler yer almaktadır. Örneklere ait ortalama görünür porozite değerleri hesaplanmış olup, fosilli kireçtaşı, masif kireçtaşı ve volkanik breş için sırasıyla % 21.5, % 0.09 ve % 3.64’tür. Anon [25] tarafından önerilen porozite sınıflaması fosilli kireçtaşının “yüksek”, masif kireçtaşının “çok düşük” ve volkanik breşin “düşük” porozite sınıfına dahil olduğunu göstermektedir. Arşimet yöntemi ile elde edilen kuru yoğunluk değerleri fosilli kireçtaşı için ortalama 2.05 gr/cm<sup>3</sup>, masif kireçtaşı için ortalama 2.72 gr/cm<sup>3</sup> ve volkanik breş için ortalama 2.63 gr/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Ortalama doygun yoğunluk değerleri ise fosilli kireçtaşı, masif kireçtaşı ve volkanik breş numuneleri için sırasıyla; 2.25, 2.73 ve 2.66 gr/cm<sup>3</sup>’tür.



Şekil 2. Deneylere tabi tutulan volkanik breş, fosilli kireçtaşı ve masif kireçtaşı (a,b), Arşimet Prensibi (c).

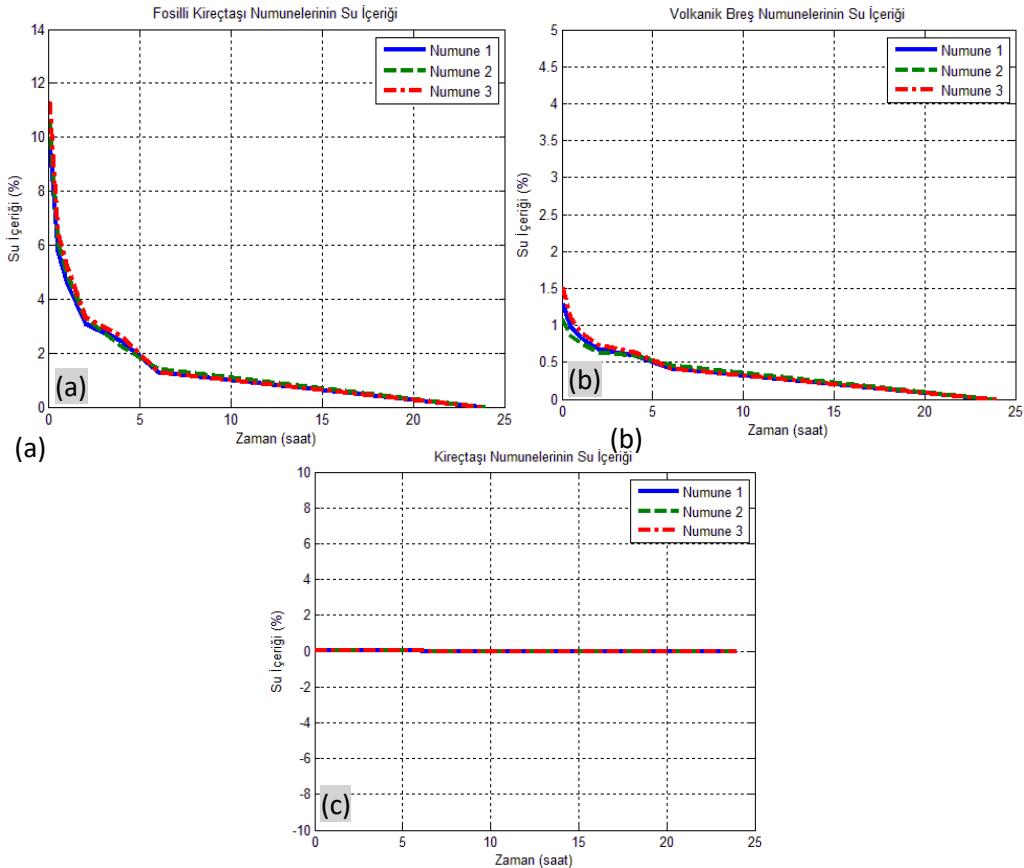
### 3. Bulgular

En fazla boşluk oranına sahip olan fosilli kireçtaşının ağırlık değişimlerini zamana bağlı gösteren grafikler Şekil 3’te verilmiştir. Ölçümler 24 saat boyunca yukarıda belirtilen zaman aralıklarında ölçülmüş olup, beklenildiği gibi etüve konulan örneklerin ağırlığında zamana bağlı bir azalma (Şekil 3a), su içerisine konulan örneklerin ağırlıklarında ise artış (Şekil 3b) meydana gelmiştir. Her iki grafikte incelendiğinde, fosilli kireçtaşı örneklerindeki değişimler çoğunlukla ilk bir saat içerisinde gerçekleşmiştir. Ayrıca, 5–24 saat aralığında ise örneklerin ağırlıklarında oldukça az miktarda değişim yaşanmıştır.



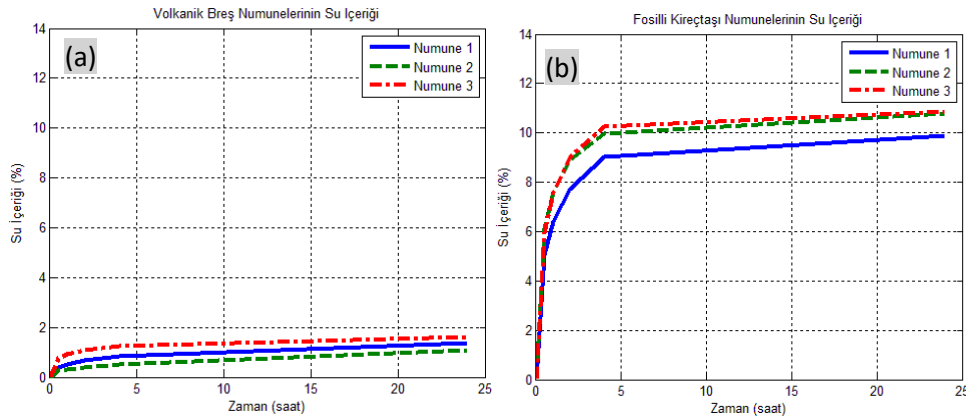
Şekil 3. Fosilli kireçtaşı örneklerinin zamana bağlı ağırlık değişimleri (a,b).

Şekil 4, kayaların zamana bağlı su içeriğindeki değişimleri etüve konulan örnekler için göstermektedir. En fazla boşluk oranına sahip fosilli kireçtaşı örneğinin zamana bağlı olarak su içeriğindeki değişimler daha belirgin olmuştur. Porozitesi en düşük olan (% 0.09) masif kireçtaşı örneklerinde zamana bağlı su içeriğindeki değişim neredeyse yaşanmamıştır (Şekil 4c). Dolayısıyla söz konusu kayaç için çizilen diğer grafiklere çalışmada yer verilmemiştir. Şekil 3'te olduğu gibi su içeriğindeki değişimler de fosilli kireçtaşı ve volkanik breş örnekleri için ilk birkaç saat içerisinde gerçekleşmiştir. Söz konusu değişimler kayacın porozitesi ile doğru orantılıdır.

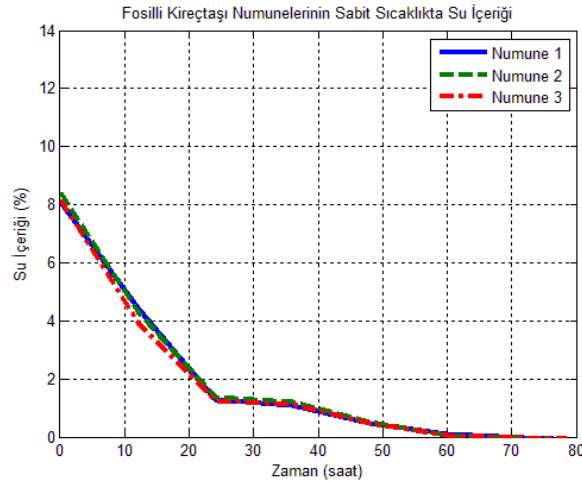


Şekil 4. Fosilli kireçtaşı (a), volkanik breş (b) ve masif kireçtaşı (c) etüvdeki örneklerin zamana bağlı su içerik değişim grafiği.

Şekil 5'te verilen grafikler, örneklerin su içeriklerindeki değişimlerini zamana bağlı olarak göstermektedir. Su içerisine bırakılan örneklerin boşluk oranlarına bağlı olarak büyük oranda suyu bünyelerine ilk bir saat içerisinde aldığı görülmektedir. Öte yandan etüve konulan örneklerde olduğu gibi su içerisinde yaklaşık 5 saat kaldıktan sonra örneklerin su emme oranlarında kısmi bir artış olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır (Şekil 5b). Bu durumda yeraltı su seviyesi altında yapılan jeoteknik çalışmalarda gözenekli kayaların bünyelerinin su ile dolu olduğu çıkarımı yapılabilir. Yüzeyde bulunan gözenekli kayalar da aşırı yağışa kısa süre maruz kalması durumunda suya doygun hale gelmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca sıcak bir iklimde aşırı yağış sonrası doygun hale gelen yapı taşlarının bünyesindeki suyu ne kadar süre içinde atacağını anlamak için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 30 derece sabit sıcaklık altında etüve bırakılan doygun numunelerin belirli aralıklarla ağırlıkları ölçülmüştür. Etüvden alınan örneklerin sıcaklık nedeniyle ağırlıklarında farklılık olabileceği düşünüldüğünden bu çalışmada ayrıca sıcaklığın tartım üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Örnekler etüvden alındıktan hemen sonra tartılmıştır. Aynı örnekler desikatörde 45 dakika nemsiz ortamda soğutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Ağırlık sonuçları yöntemler arasında neredeyse hiç fark olmadığını gösterdiğinden ağırlık ölçümleri 30 derecede yapılmıştır. Sadece boşluk içeriğinin fazla olduğu fosilli kireçtaşına ait grafik Şekil 6'da sunulmuştur. Örneklerin su içeriğinin yaklaşık % 8'den birinci günün sonunda yaklaşık % 1.5'e düştüğü ve yaklaşık 3 gün içinde de bünyelerindeki suyu tamamen uzaklaştırdığı şekilden anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Volkanik breş (a) ve fosilli kireçtaşının (b) su içinde zamana bağlı su içerik değişimleri.



Şekil 6. Fosilli kireçtaşında sabit sıcaklık altında su içerik değişim grafiği.

### 3.1. Tartışma

Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen suyun ayrışma oranlarını da artırdığı bilinmektedir [26]. Erçikdi ve ark. [27] kireçtaşlarında ultrasonik dalga hızının değişimini doymuş ve kuru durum için incelemişlerdir. Çalışmada, örnek boyutunun artmasıyla porozite ve mikro-çatlak gibi doğal zayıflık etmenlerinde de artış görülmüş olup, suyun zayıf kireçtaşı örneklerinde taneleri bir arada tutan iyonik bağları zayıflattığı ifade edilmiştir. Vasarhelyi ve Van [28] su içeriğinin kayaç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırdıkları çalışmada, su doymuluğundaki % 1'lik değişimin kayaç dayanımını önemli ölçüde düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Ghobadi ve Babazadeh [14] kayaçlarda bulunan suyun ısıtma soğutma işlemleri boyunca ağırlık kaybında, P dalga hızındaki azalmada ve dayanım değerlerinin değişmesinde önemli etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Kaya kütlelerinin mekanik özellikleri sudan büyük ölçüde etkilenmektedir. Su içeriğindeki küçük bir artışın heyelan gibi önemli mühendislik tehlikelerine yol açabileceği vurgulanmaktadır [4].

Suyun kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin mekanik özelliklerine ilave olarak makaslama dayanım parametrelerine de etkisi büyüktür [29]. Islak yüzeylerde pürüzlülük etkisi kuru yüzeylere göre düşük olmaktadır. Ayrıca ıslak yüzeylerden elde edilen süreksizlik yüzeylerinin içsel sürtünme açısı kuru yüzeylerdekilere nazaran daha düşüktür. Söz konusu parametrelerin ıslak yüzeylerde kuru yüzeylere göre düşüş göstermesi süreksizliklere ait makaslama dayanımlarını da düşürerek şev duraylılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Önemli mühendislik parametresi olan porozitenin hem kaya malzemesinde hem de kaya kütlelerinin duraylılığı üzerinde, bünyesine aldığı su oranları ile ilişkili olarak etkisi oldukça büyüktür. Su, kayaçların fiziko-mekanik özelliklerini değiştirdiğinden, kayaç içindeki bekleme süresi oldukça önemlidir. Bu çalışmada farklı porozite özelliklerine sahip kayaçlarda suyun etkisi zamana bağlı olarak araştırıldığından yukarıda belirtilen mühendislik problemlerini anlamaya yardımcı olabileceği düşünülmüştür.

### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada ıslanma kuruma etkisine tabi tutulan kayaçların su içeriğindeki değişimleri zamana bağlı olarak araştırılmıştır. Çalışılan kayaçların porozitesi % 0.09 - % 21.5 arasında değişmektedir. Arşimed yöntemi ile elde edilen kuru yoğunluk değerleri fosilli kireçtaşı için ortalama  $2.05 \text{ gr/cm}^3$ , masif kireçtaşı için ortalama  $2.72 \text{ gr/cm}^3$  ve volkanik breş için ortalama  $2.63 \text{ gr/cm}^3$  olarak bulunmuştur. Su içeriğindeki etkiler porozitesi yüksek olan fosilli kireçtaşı örneklerinde daha iyi gözlenmiştir. Gerek ağırlık zaman ilişkisi, gerekse su içeriği (etüv ve suya doymuş) zaman grafiklerine bakıldığında kayaçların bünyelerindeki suyu ilk saatler içinde uzaklaştırdıkları ( $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ve benzer şekilde kuru kayaçların bünyelerine suyu ilk saatler içinde aldıkları belirlenmiştir. Sabit sıcaklık ( $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ) altında ise, örneklerde bulunan yaklaşık % 8 olan mevcut su içeriğinin birinci günün sonunda yaklaşık % 1.5'e düştüğü görülmüştür. Yaklaşık 3 gün içinde de örneklerin bünyelerindeki suyu tamamen uzaklaştırdığı anlaşılmıştır. Farklı poroziteye sahip magmatik, metamorfik ve tortul kayaçlarda suyun etkisini daha iyi anlamak için ilave çalışmalara ihtiyaç olduğu düşünülmüştür.



**Kaynaklar**

- [1] Franklin, J.A., Classification of rock according to its mechanical properties, Ph.D., Dissertation, **University of London Imperial College**, London, U.K, (1970).
- [2] Karaman, K. ve Bakhytzhan, A., Prediction of concrete strength from rock properties at the preliminary design stage. **Geomechanics and Engineering**, 23 (2) 115-125, (2020).
- [3] Emir, E., Kaya mekaniği ders notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü194shttps://maden.ogu.edu.tr/Storage/MadenMuhendisligi Bolumu/Uploads/Kaya-ekani%C4%9Fi-Ders-Notlar%C4%B1-2017.pdf, (2014).
- [4] Zhou, Z., Cai, X., Cao, W., Li, X. ve Xiong, C., Influence of Water Content on Mechanical Properties of Rock in Both Saturation and Drying Processes, **Rock Mechanics and Rock Engineering**, 49, 3009–3025, (2016).
- [5] Iverson, R.M., Landslide triggering by rain infiltration, **Water Resources Research**, 36 (7), 1897–1910, (2000).
- [6] Bai, H., Ma, D. ve Chen, Z., Mechanical behavior of groundwater seepage in karst collapse pillars, **Engineering Geology**, 164,101–106, (2013).
- [7] Yavuz, H., Effect of freeze–thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite stone, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 70, 187–192, (2011).
- [8] Yavuz, H., Altindag, R., Sarac, S., Ugur, I. ve Sengun, N., Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze–thaw and thermal shock weathering, **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 43, 767–775, (2006).
- [9] Sarıcı, D.E. ve Özdemir E., Determination of effects of thermal changes on color and surface roughness at marbles, **Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University**, 38 (1), 57-70, (2017).
- [10] Özdemir, E., Termal ısınma-soğuma döngülerine maruz bırakılan mermerlerde soğuma şeklinin fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisinin araştırılması, **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 11 (4), 1295-1303, (2021).
- [11] Guler, S., Türkmenoğlu, Z. F. ve Varol, O.O., Thermal shock and freeze-thaw resistance of different types of carbonate rocks, **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 137, 104545, (2021).
- [12] Bozdağ, A., Bayram, A. F., İnce, İ. ve Asan, K., The relationship between weathering and welding degree of pyroclastic rocks in the Kilistra ancient city, Konya (Central Anatolia, Turkey), **Journal of African Earth Sciences**, 123, 1-9, (2016).
- [13] Mardoukhi, A., Mardoukhi, Y., Hokka, M. ve Kuokkala, V.T., Effects of test temperature and low temperature thermal cycling on the dynamic tensile strength of granitic rocks, **Rock Mechanics and Rock Engineering**, 54(1), 443-454, (2021).
- [14] Ghobadi, M. H. ve Babazadeh, R., Experimental studies on the effects of cyclic freezing-thawing, salt crystallization, and thermal shock on the physical and mechanical characteristics of selected sandstones, **Rock Mechanics and Rock Engineering**, 48(3), 1001-1016, (2015).
- [15] Esenli, V., Kırmataş Hammaddeleri ve Standartları, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96 (pp. 1-18), İstanbul, (1996).
- [16] Yılmaz, A., Saltan, M. ve Akıllı, M., Göller yöresinde işletilen kireçtaşı agregalarının yol inşaatı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması,



- Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 18 (3), 199-207, (2012).
- [17] Bohloli, B., Effect of the geological parameters on rock blasting using the Hopkinson Split Bar, **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 34, 32, (1997).
- [18] Aldaş, G.G., Effect of some rock mass properties on blasting induced ground vibration wave characteristics at Orhaneli surface coal mine, [Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü], (2002).
- [19] Kekeç, B. ve Gökay M. K., Farklı kayaçlar üzerinde oluşturulan yapay titreşim dalga hareketlerinin incelenmesi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 21 67 – 75, (2010).
- [20] Broch, E., The influence of water on some rock properties, Proceeding of the 3rd Congress of the International Society for Rock Mechanics, pp 33–38, Colorado, (1974)..
- [21] Hawkins, A.B. ve McConnell, B.J., Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content, **Engineering Geology**, 25 (2),115–130, (1992).
- [22] Okay, A.I. ve Şahintürk, O., Geology of the eastern Pontides. AAPG memoirs 68: regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region, **American Association of Petroleum Geologists**, 291-311 Tulsa, Oklahoma, U.S.A., (1997).
- [23] Parlak, O., Çolakoğlu, A., Dönmez, C., Sayak, H., Türkel, A., Yıldırım, N. ve Odabaşı, I., Geochemistry and tectonic significance of ophiolites along the İzmir-Ankara-Erzincan suture zone in northeastern Anatolia, Geological Society, London, Special Publications, 372(1), 75-105, (2013).
- [24] ISRM, The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), suggested methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, (pp. 628). Ankara, Turkey, (2007).
- [25] ANON., Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I–rock and soil materials, **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, 19, 364–371, (1979).
- [26] Ünal, M. ve Beyaz, T., Hasankeyf kireçtaşlarının suda dağılmaya ve tuz kristalleşmesine karşı direncinin araştırılması, **Engineering Sciences (NWSAENS)**,14(2):55-62, (2019).
- [27] Erçıkıdı B., Karaman K. Cihangir F, Yılmaz T., Aliyazıcıoğlu Ş. ve Kesimal A., Core size effect on the dry and saturated ultrasonic pulse velocity of limestone samples, **Ultrasonics**, 72, 143-149, (2016).
- [28] Vasarhelyi, B. ve Van, P., Influence of water content on the strength of rock, **Engineering Geology**, 84 (s 1–2),70–74, (2006).
- [29] Karaman, K., Kaya Şev Duraylılığının Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi (Ünye, Ordu), **Jeoloji Mühendisliği Dergisi**, 37 (1), 27–47, (2013).