



İscehisar Andezitinin Donma Çözülme Sürecinde Bazı Fiziksel Parametrelerdeki Değişiminin İncelenmesi

Investigation of the Variation in Some Physical Parameters of Iscehisar Andesites During Freeze-Thaw Process

Mustafa Yavuz Çelik^{1*} 

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapı Taşları Programı, 03200, Afyonkarahisar, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: mycelik@aku.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 08.11.2018

Kabul Tarihi / Accepted: 14.02.2019

Atıf şekli / How to cite: ÇELİK, M. Y. (2019). İscehisar Andezitinin Donma Çözülme Sürecinde Bazı Fiziksel Parametrelerdeki Değişiminin İncelenmesi. DEUFMD, 21(62), 669-683.

DOI:10.21205/deufmd.2019216229

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Doğal yapı taşlarını etkileyen atmosfer kaynaklı etkenlerin en önemlilerinden birisi sudur. Doğal taşlar içindeki çatlak ve boşluklarda hareket eden su, soğuk iklimlerde donma-çözülme yoluyla fiziksel ayrışmaya neden olmaktadır. Bu çalışmada, İscehisar (Afyonkarahisar) yöresinde çıkarılan ve yapı taşı olarak kullanılan andezitlerde, donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak gelişen fiziksel değişiklikler incelenmiştir. Çalışma kapsamında birinci aşamada, andezitlerin kimyasal, mineralojik-petrografik, gözenek boyut dağılımı ve fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada andezitlerde donma çözülme çevrimleri sırasında meydana gelen değişimler, görünür yoğunluk, gözeneklilik, su emme ve ultrases geçiş hızı ile incelenmiştir. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda andezitlerin görünür yoğunluk ve ultrases hızlarında azalma meydana gelirken, gözeneklilik ve su emme oranlarında ise artışlar meydana gelmiştir. Ultrases hızı %1,89 ve görünür yoğunluk %0,44 oranında azalırken, ağırlıkça su emme miktarı %5,38 ve açık gözeneklilik %5,05 oranında artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Andezit, Donma-çözülme, Fiziksel özellikler, Ultrases geçiş hızı

Abstract

Water is one of the most important atmospheric factors affecting natural building stones. Water moving in cracks and voids in natural stones causes physical deterioration by freezing-thawing in cold climates. In this study, the physical changes in andesites in Iscehisar (Afyonkarahisar) region which are used as building stones were investigated. In the first stage, chemical, mineralogical-petrographical, pore size distribution and physico-mechanical properties of andesites were determined. In the second stage, the changes of andesites during the freeze thaw cycles were investigated by apparent density, porosity, water absorption and ultrasound velocity. Because of the freeze-thaw cycles, the andesites have decreased apparent density and ultrasonic velocities, while the porosity and water absorption rates have increased. While the ultrasound velocity was 1,89% and the apparent density decreased by 0,44%, the water absorption amount increased by 5,38% and the open porosity increased by 5,05%.

Keywords: Andesite, Freeze-thaw cycles, Physical properties, Ultrasound wave velocity

1. Giriş

Hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde, tarihi ve kültürel niteliklere sahip birçok yapıda ve anıtta yapı malzemesi olarak kullanılmış olan doğal taşlar, günümüzde de geniş bir kullanım alanına sahiptir. Antik dönemlerden günümüze kadar gelen tarihi yapılar incelendiğinde, büyük bir kısmının doğal taşlardan yapıldığı görülmektedir. Bu tercihin en önemli sebeplerinden birisi, doğal taşların diğer geleneksel yapı malzemelerine göre, daha sağlam ve dayanıklı olmasıdır. İnşaat yapılan bölgenin civarında bol miktarda doğal yapı taşı rezervi bulunması da bu tercihi önemli ölçüde etkilemektedir. Doğal taşlar, sağlam ve dayanıklı olmasının yanı sıra, yöresel mimaride değişik şekillerde işlenerek çok önemli taş işçiliği örneklerinin ortaya çıkmasına da yol açmışlardır. Anadolu'nun birçok yöresinde volkanik kayalar, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinden beri yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Afyonkarahisar (Türkiye) yöresinde de bu dönemlerden kalma, volkanik kökenli yapı taşlarından inşa edilmiş çok sayıda tarihi yapı bulunmaktadır.

Afyonkarahisar bölgesi, üst Miyosen sonundan başlayarak tüm Pliyosen boyunca devam eden volkanik faaliyetlerin etkisinde kalmıştır. Bu volkanik faaliyetlerin sonucu olarak dasidik tüfler, aglomeralar, andezitler, trakitler, trakianandezitler ve bazaltlar bölgede çok geniş alanlar kaplamaktadır [1]. "Afyon volkanitleri" olarak adlandırılan bu volkanizma ürünleri, kalk alkali ve alkali niteliklerde olup kısmen kabuksal kısmen de mantosal köken özellikleri taşımaktadır [2, 3]. Afyon volkanitleri içerisinde de andezitler önemli bir alan kaplamaktadır. Andezitler, Afyonkarahisar yöresinde Ağın Dağı ve Konarı köyleri civarındaki ocaklardan çıkarılmakta ve yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Andezitlerin renk ve sertlik açısından uygun olan türleri genellikle parke taşı, döşeme ve kaplama taşı ve yapılarda değişik amaçlı olarak mimari tasarım elemanı olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında andezitler bordür, harpuşa, merdiven basamakları, istinat duvarları, mezar taşları, park ve bahçe düzenlemelerinde yaya yolları, oturma grupları, çiçeklik, çöp kutusu olarak ve tarihi bina restorasyonunda kullanılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Yapılarda değişik amaçlar için kullanılan andezitlerin görünümü.

Bütün varlıklar üzerindeki olumsuz etkileri bilinen ve endüstriyel ve kent bölgelerinde yüksek oranlarda bulunan bazı atmosferik kirleticiler, bazı atmosferik faktörler (yağmur, sis, nem, rüzgar, sıcaklık ve güneş ışığı) ile birleştiğinde yapılarda kullanılan doğal taşları, farklı biçimlerde etkiler ve taşın özelliklerine bağlı olarak da çeşitli hasar ve bozulmaları ortaya çıkartır [4].

Doğal yapı taşlarının, özelliklerini kaybederek ayrışmaya başlamasına yol açan etkenler; genellikle taşın yapısal özelliklerinden kaynaklanan iç faktörler ile atmosfer etkilerinden kaynaklanan dış faktörlerdir. Her yapı malzemesinin bir ömrü vardır. Doğal yapı taşlarının da kullanıldığı yerdeki çevresel etkilerden dolayı zamanla durabilitesini kaybetmeye başladığı görülmektedir. Uzun süre atmosfer etkisine maruz kalan doğal taşlar, yapısal ve dokusal özelliklerine bağlı olarak, mevcut fiziksel ve kimyasal özelliklerini kaybedebilmektedirler. Ayrışma, aşınma, bozunma, bozulma veya erozyon gibi değişik terimlerle tanımlanan bu süreç, zamanla çatlak oluşumu, ufalanma, dökülme ve sonuçta parçalanma oluşuncaya kadar devam etmektedir.

Doğal yapı taşlarını etkileyen atmosfer kaynaklı etkenlerin en önemlilerinden birisi sudur. Su gerek tek başına, gerekse diğer atmosferik ve 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, doğal taşların bozunmasında çok önemli bir rol oynamaktadır.

Yapıların özellikle zemine yakın kısımlarında kullanılan doğal taşlar, bir su kaynağı ile etkileşime girdiğinde, gözeneklerin özelliklerine bağlı olarak bu suyu bünyesine alma eğilimi gösterebilirler. 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 [5, 6]. Su emilimi ve kılcal su emme yoluyla emilen sular, zaman içerisinde doğal taşlar için fiziksel ve mekanik özelliklerde olumsuz etki yaratmaktadır. Suyun doğal taş içerisindeki hareketi neticesinde kılcal su emme, organizmaların gelişimi, donma-çözülme ve tuz kristalleşmesi gibi bozunmayı hızlandırıcı etkenler ortaya çıkabilmektedir.

Kılcal su emme etkisiyle emilen ve gözeneklere giren su, sıcaklığın sıfırın altına düştüğü iklimlerde buza dönüşmektedir. Eğer buz kristalleri küçük ise herhangi bir basınç ve gerilme oluşmayacağı için büyük boşluklar içeren taşlarda, buzun hacim genişlemesinden dolayı çatlak oluşmaz. Ancak, küçük çaplı gözenekler (0,1-1µm), çapına göre daha büyük buz kristalleri ile dolmaktadır. Bu durumda defalarca tekrarlanan donma-çözülme etkisiyle gözenek etrafında mikro çatlakların gelişmesi yoluyla fiziksel bir ayrışma başlamaktadır [7].

Bu çalışma kapsamında incelenen İsehisar andezitleri ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda andezitlerin yapı taşı olarak özellikleri Kuşçu vd. [8] ve Kuşçu vd. [9] tarafından incelenmiş ve fiziko-mekanik test sonuçlarına göre, su emme %7,44, görünür porozite % 8,02, basınç mukavemeti 68,08 MPa olarak bulunmuştur. Agregata olarak kullanımı Akbulut vd. [10] ve Çelik vd. [11] tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalarda, andezitlerin kırmataş olarak hazır beton agregası olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir. Çelik ve Kaçmaz [12], tuf ve İsehisar andezitlerini inceleyerek, andezitlerin kılcal su emme kapasitelerinin $4.11 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ olduğunu belirlemişlerdir. Çelik vd. [13], İsehisar andezitlerinde farklı sulu ortamların kapiler su emme özelliğine etkisini, Çelik ve Aygün [14], İsehisar andeziti ve tüflerin tuz kristalleşmesi yoluyla ayrışmasını, Çelik vd. [15], İsehisar andezitlerinin tuz kristalleşmesine bağlı ayrışmasında su itici kimyasal madde etkisini araştırmışlardır. Bu

çalışmalarda andezitlerin tuz kristalleşmesi deneyinde tek eksenli basınç dayanımının %16,37 azaldığı ve %0,97 kütle kaybı olduğunu belirtmişlerdir.

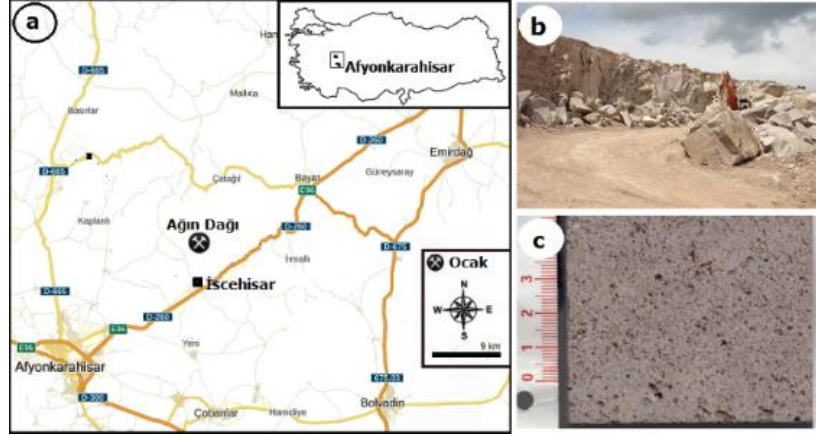
Literatürde tuf ve andezit gibi volkanik kayaların donma-çözülme dirençlerini konu alan çok sayıda çalışma yapılmıştır. Chen vd. [16], tüflerin suya doygunluğunun donma-çözülme çevrimlerinden kaynaklı bozulmasına etkisini incelemişler ve %80'in üzerindeki su doygunluğunun en fazla ayrışmaya yol açtığını belirlemişlerdir. Altındağ vd. [17], ignimbritlerin donma-çözülme çevrimleri artışına bağlı olarak mekanik özelliklerinin de değiştiğini, Ruedrich vd. [18], tuf, granit ve kireçtaşlarının donma-çözülme çevrimleri sonrasında ayrışma özelliklerinin sıcaklık ve nem oranına bağlı olarak değiştiğini, Çelik vd. [19], donma-çözülme deneylerinin Ayazini (Afyonkarahisar) tufünün mukavemetini %33,8 azalttığını, Özbek [20], ıslatma-kurutma ve donma-çözülme çevrimlerinin ignimbritlerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilediğini ve en fazla siyah renkli örneklerin ayrıştığını, Ghobadi vd. [21], donma-çözülme deneylerinde, tüflerde meydana gelen fiziksel ve mekanik değişiklikleri açıklamışlardır. Donma-çözülme işleminin yıkıcı etkisinin basınç dayanımına göre çekme dayanımında daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Yavuz [22], Alaçatı (İzmir) tufünün ayrışma ve dayanımını tuz kristalleşmesi, donma-çözülme ve ıslanma-kuruma gibi hızlandırılmış ayrışma testleriyle incelemiştir. Bu testlere göre, Alaçatı tufünün tuz kristalleşmesine duyarlı bir taş olduğunu tespit etmiştir. Liu vd. [23], donma-çözülme deneylerinde kayaların tek eksenli basınç dayanımı kestirimi amacıyla bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Yazarlar, elastik-plastik teorisine ve yorulma mekaniğine dayanarak, donma-çözülme hareketine karşı yeni bir tek eksenli basınç dayanımı tahmini (regresyon denklemi) önermişlerdir.

Bunların dışında kumtaşı, kireçtaşı, traverten, mermer ve granit gibi doğal yapı taşlarının donma-çözülme olaylarına bağlı olarak gelişen ayrışma, fiziksel değişim ve dayanım özelliklerini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır [24-36].

Laboratuvar ortamında donmuş kayalarda ultrases geçiş hızı ölçümleri de çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bu araştırmaların bir kısmı yüksek gözenekli sedimanter kayalar üzerinde yapılmıştır.

karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Bu amaçla andezit örneğinin kimyasal analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğal Taş Analiz Laboratuvarı'nda Rigaku/ZSX

Primus II marka XRF cihazı ile yapılmıştır. 0,063 mm tane boyutunda 50 gr'lık andezit örneği kimyasal analiz için hazırlanmıştır.



Şekil 3. Deneylerde kullanılan andezit örneklerinin alındığı ocağın lokasyon haritası (a), ocağın görünümü (b), andezitin yüzey görünümü (c).

Andezitin mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 3 adet ince kesit hazırlanarak Leica DM 2500P marka polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflar çekilmiştir. Mineralojik bileşimi belirlemek amacıyla XRD analizleri Çanakkale Seramik Fizik Laboratuvarı'nda Panaytical X-pert marka cihazda yapılmıştır (X-celeratör dedektör ve nikel filtre kullanılarak, 40 kw/30 mA). Daha ayrıntılı mineralojik ve dokusal inceleme amacıyla da Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı ile mikro analiz yapılmıştır. Andezit örneklerinin gözenek çap dağılımları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) Micromeritics Auto Pore IV 9500 cıvalı porozimetre cihazında belirlenmiştir.

Andezitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek için Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında TS EN standartlarına göre deneyler yapılmıştır. Her bir deneyde 70×70×70 mm boyutunda 10'ar adet andezit örneği kullanılmıştır. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek amacıyla toplam ve açık gözeneklilik (TS EN 1936, [47]), yoğunluk (TS EN 1936, [47]), P-dalgı hızı (TS EN 14579, [48]), su emme (TS EN 13755, [49]), tek eksenli basınç dayanımı (TS EN 1926, [50]) ve donma-çözülme (TS EN 12371, [51]) deneyleri yapılmıştır.

2.2.1. Donma-çözülme deneyleri

Andezit örneklerinin donma-çözülme deneyleri TS EN 12371 [51]'e göre yapılmıştır. 70×70×70 mm boyutundaki 10 adet örnek 70±5 °C sıcaklıkta etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Örnekler daha sonra standarda uygun olarak 48±2 saat süreyle su içerisinde bırakılmış ve suya doymun hale getirilmiştir. Bu işlemten sonra standart donma-çözülme çevrimlerine geçilmiştir. Örnekler -12 °C sıcaklıkta derin dondurucuya birbirlerine ve dondurucu cidarına değmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Her bir çevrim, örneklerin dondurucuda 6 saatlik donma süresi ve bunu takiben suya daldırılmış 6 saatlik çözülme periyodundan ibarettir. Çevrimler, 20 defa suda 20 defa dondurucuda bekletilerek tamamlanmıştır. Türkiye için hazırlanmış eş donma-çözülme çevrim sayısı haritasına göre (Şekil 2) Afyonkarahisar yöresinde yıllık donma-çözülme sayısı 20 olarak verilmiştir. Bundan dolayı bu çalışmada çevrim sayısı 20 olarak uygulanmıştır. Her bir çevrim sırasında örneklerin ağırlıkları ve ultrases dalga hızları ölçülmüştür.

2.2.2. Ultrases geçiş hızı deneyleri

Her bir donma-çözülme çevriminde ultra ses geçiş hızı ölçümleri TS EN 14579 [48] standardına göre, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında Ultrasonic Tester marka cihazda (P-dalgası, 54

kHz) yapılmıştır. Andezit örneğinde ultrases ölçümü yapılacak iki yüzeyi arasındaki uzaklık kumpas ile ölçülerek, ultrases alıcı-vericiler karşılıklı olarak aynı hizaya getirilmiş ve ultrases cihazı ölçüm için çalıştırılmıştır.

3. Bulgular

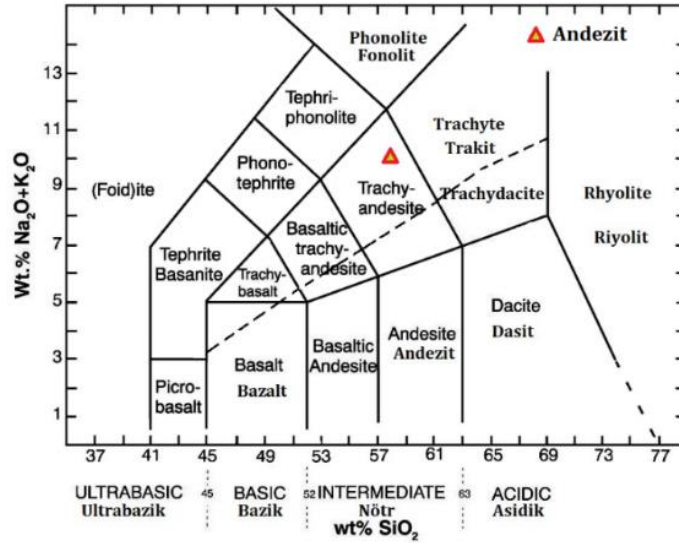
3.1. Kimyasal Analiz

Andezitin kimyasal bileşimini belirlemek amacıyla kimyasal analiz yapılmış olup örneğin ana element oksit içerikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Andezitlerin en büyük bileşeni SiO_2 (%58,30) dir. Bu değeri %15,80 ile Al_2O_3 izlemektedir. Na_2O ve K_2O alkali element bileşikleri sırasıyla %3,02 ve %7 olarak belirlenmiştir. Andezite kırmızımsı ayrışma rengini kazandıran yüksek demir (%4,96) içeriği olmalıdır. Kimyasal analiz ana element oksitlerinden alkaliler ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) ve silis (SiO_2) verileri kullanılarak çizilen Le Bas vd. [52] diyagramına göre andezitin traki-andezitik bileşimli olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).

Tablo 1. Andezitin kimyasal bileşimi

Kimyasal bileşen	%
SiO_2	58,3
Al_2O_3	15,8
Fe_2O_3	4,96
CaO	4,79
MgO	2,73
Na_2O	3,02
K_2O	7,00
P_2O_5	0,82
Cr_2O_3	0,03
SrO	0,13
MnO	0,09
ZnO	0,01
BaO	0,14
ZrO_2	0,03
A.Z.	0,93



Şekil 4. Toplam alkaliye karşı silis diyagramında (Le Bas vd. [52]) andezitin kökeni. Alkali-subalkali ayrımı Irvine ve Baragar [53]'e göre olup kesik çizgi ile gösterilmiştir.

3.2. Mineralojik ve Petrografik Analizler

3.2.1. Polarizan mikroskop incelemeleri

Polarizan mikroskop incelemelerinde feldispat (sanidin, plajiyoklaz), piroksen ve biyotit mineralleri tespit edilmiştir. Matriks içerisinde yer yer camsı malzeme (pomza) ve gözenekler

de bulunmaktadır. Andezit örneklerinde feldispat minerallerinin ağırlıklı olduğu görülmektedir. Feldispat mineralleri, andezit örneklerinde hem plajiyoklaz hem de alkali feldispat (sanidin) şeklinde bulunmaktadır (Şekil 5). Plajiyoklazlar hem fenokristal olarak bulunmakta hem de mikrolitler halinde matriksi

oluşturmaktadır. Sanidin minerali daha çok fenokristal olarak gözlenmektedir. Biyotit mineralleri koyu kahve-kızılımsı ve kahverengi renkli olup yer yer dilinim özelliği göstermektedir. Biyotitlerin çoğunlukla ayrışmaya uğradığı ve demir oksit açığa çıkardığı belirlenmiştir. Nitekim, andezitin morumsu-kırmızımsı rengin kaynağının da bu ayrışma olayları olduğu düşünülmektedir. Biyotitlerde aynı ayrışma olaylarının SEM analizinde de belirlenmiş olması bunu güçlendirmektedir.

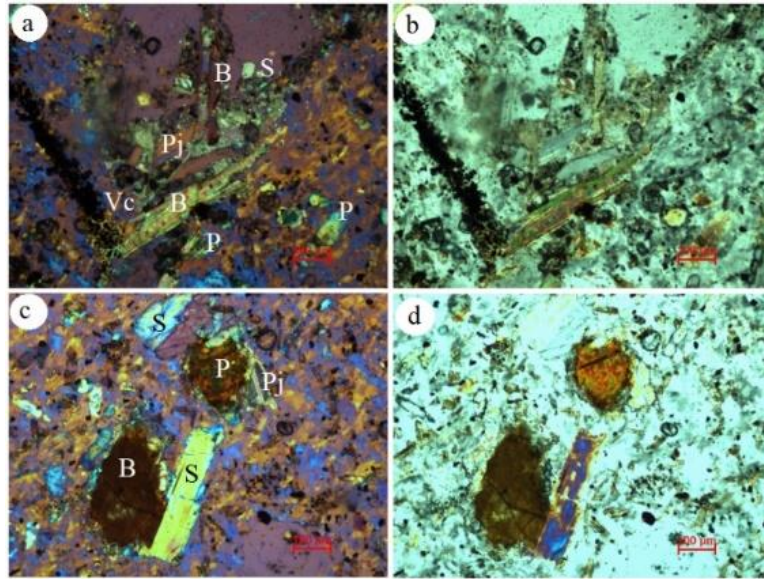
3.2.2. SEM incelemeleri

Andezitlerin mineralojik özelliklerinin yanı sıra ve ince kesitlerde gözlenemeyen kil minerallerinin belirlenebilmesi amacıyla SEM (Scanning Electron Microscope-Taramalı elektron mikroskopu) incelemeleri yapılmış ve elde edilen görüntüler Şekil 6'da verilmiştir. SEM incelemelerinde feldispat grubu minerallerin üzerinde smektit grubu kil mineralleri geliştiği gözlenmiştir. Kil minerallerinin varlığı

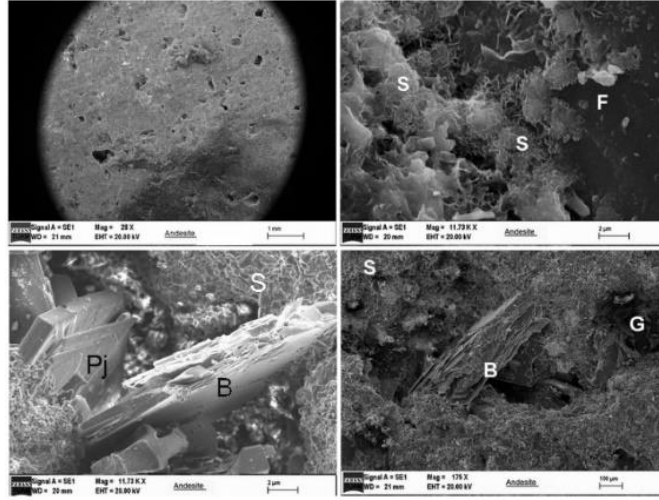
feldispatların yer yer bozuştuğunu göstermektedir.

3.2.3. XRD analizi

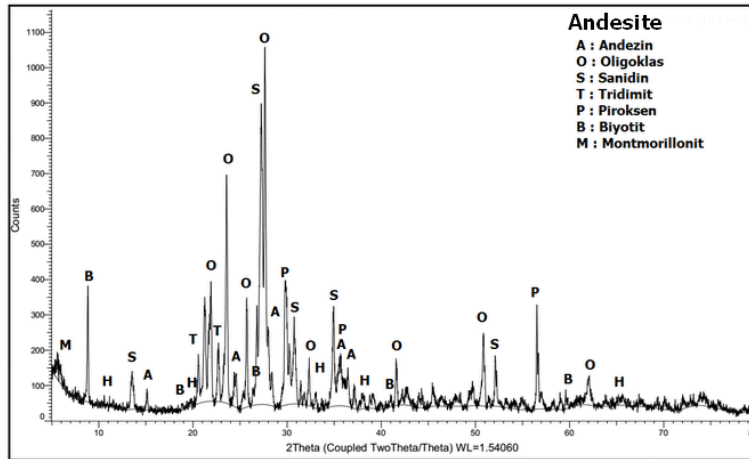
Andezitin mineralojik bileşimini belirlemek amacıyla yapılan XRD analiz sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. XRD analiz sonucunda andezitin büyük oranda feldispat minerallerinden meydana geldiği tespit edilmiştir. Andezit içinde yer alan feldispatlar, alkali feldispatlardan sanidin ve oligoklas, plajiyoklaslar andezin ile temsil edilmektedir. Bunların dışında piroksen, mika (biyotit) ve montmorillonit mineralleri bileşimde yer almaktadır. Montmorillonit (smektit) minerali içeriği, feldispatların ayrışmaya uğradığını göstermektedir. Andezite kırmızımsı ayrışma rengini kazandıran demir (Fe_2O_3 %4,96) içeriğinin piroksen ve biyotit minerallerinin ayrışması neticesinde açığa çıktığı değerlendirilmektedir. Bu durum ince kesitte polarizan mikroskop analizleri ile de desteklenmiştir.



Şekil 5. Deneylerde kullanılan andezitin ince kesit görünümü (S: sanidin, Pj: plajiyoklas, B: biyotit, P: piroksen, Vc: volkan camı).



Şekil 6. Deneylerde kullanılan andezitin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görünümü (S: smektit, Pj: plajiyoklas, B: biyotit, F: Feldspat, G: gözenek).



Şekil 7. Andezitin XRD analizi sonucunda elde edilen pikleri.

3.3. Fiziko-mekanik Özellikleri

Doğal yapı taşlarının kullanım yerlerinin belirlenmesinde bazı özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Özellikle dış mekanlarda, iklimsel farklılığı olan bölgelerde ve büyük inşaat yapılarında bu özellikler daha da önemli olmaktadır. Bu amaçla İscehisar andezitlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla standartlara uygun olarak, toplam ve açık gözeneklilik, yoğunluk, P-dalgı hızı, atmosfer basıncında su emme, tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Her bir deneyde 10'ar adet olmak üzere toplam 50 adet 7x7x7 cm kübik örnekler kullanılmıştır (Şekil 8).

Laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen andezit örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Doğal yapı taşlarının bazı özelliklerinin dayanımları ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili olduğu çeşitli araştırmalarda belirtilmiştir. Gurupasad vd. [54], gözenekliliğın, geçirimsizlik ve su emme için önemli bir faktör olduğunu, yüksek gözenekliliğe sahip doğal taşların da doğal olarak yüksek su emme değerine sahip olacağını bildirmişlerdir. İncelenen andezit örneklerinin açık gözenekliliğı ortalama %11,31 olarak bulunmuştur. Gözenekliliğe bağılı olarak atmosfer basıncında su emme değeri de %5,39 olarak ölçülmüştür.

Gözenekliliğin etkilediği diğer özellikler yoğunluk ve mekanik dayanımdır. Gözenekliliği yüksek olan doğal taşlar daha az yoğunluğa ve daha düşük mekanik dayanıma da sahip olmaktadır. Gözenekliliği yüksek olan doğal taşların, su emme oranları da yüksek olmaktadır. Bu özelliğinden dolayı yüksek gözenekliliğe sahip olan doğal taşların, donma çözülmeye karşı dayanımları azalmaktadır.

Gerçek yoğunluğu 2735 kg/m³ olan andezitin tek eksenli basınç dayanımı ortalama 70 MPa olarak belirlenmiştir. Doğal yapı taşlarının yüksek gözenekliliğe sahip olması izolasyon konusunda ise olumlu etkiye sahip olmaktadır. Erdoğan vd. [55], yaptıkları çalışmada, yapı taşlarında birim hacim ağırlığı ve tek eksenli basınç dayanımları ile ses yalıtım değerleri arasında lineer bir ilişki olduğunu ve yüksek dayanımlı kayaların daha iyi ses izolasyonu sağladığını belirtmişlerdir.



Şekil 8. Fiziko-mekanik testlerde kullanılan andezit örneklerinin görünümü.

3.3.1. Gözenek boyut dağılımı

Doğal yapı taşlarının gözenek miktarı ve gözenek boyutu dağılımı, hasara neden olabilecek olaylar karşısındaki davranışları etkileyen önemli bir faktördür. Bu hasar mekanizmalarından biri de donma-çözülme olaylarıdır. Donma-çözülme işlemi de su emme ile başlamaktadır. Suyun malzeme içine giriş mekanizmalarından birisi kılcal su emme olup doğrudan gözenek miktarı ve gözenek boyutu dağılımı ile ilişkilidir. Siegesmund ve Dürrast, [56]'a göre; çapları 0,1 µm ve 1 mm arasındaki gözenekler, pratik olarak kılcal su emme özelliğine sahiptir. Bu durumda doğal taşlarda gözenek çaplarının küçülmesiyle kılcal su emme kapasitesi de artmaktadır. Çapı 1 mm'den daha büyük olan makro gözenekler ise emilen bu suyun doğal taş içinde hareket etmesini sağlarlar.

Tablo 2. İncehisar andezitinin belirlenen fiziko-mekanik özellikleri

Özellik	min	max	ortalama
Açık gözeneklilik (%)	10,29	11,88	11,31
Yoğunluk (kg/m ³)	2711	2742	2735
Görünür yoğunluk (kg/m ³)	2071	2126	2099
Ağırlıkça su emme (%)	4,91	5,72	5,39
Hacimce su emme (%)	10,29	11,8	11,28
Ultrases dalga hızı (km/s)	3,60	3,80	3,71
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	53,05	80,14	70,00

Andezitlerin gözenek boyut dağılımı cıvalı porozimetre yöntemiyle belirlenerek grafiği Şekil 9'da verilmiştir. Deneyde, 0,52 psi değerinde cıva basıncı uygulanmış olup elde edilen ortalama gözenek çapı 0,0088 µm ve toplam gözenek hacmi 0,0626 mL/g olarak hesaplanmıştır. Cıvalı porozimetre deneyi sonucunda, andezit örneğinde gözenek çaplarının 0,003 µm-90 µm arası boyutlarda olduğu belirlenmiştir. Kılcal su emme açısından 0,1 µm-1 mm arasındaki gözenek dağılımı büyük önem taşımaktadır.

3.3.2. Ultrases deneyleri

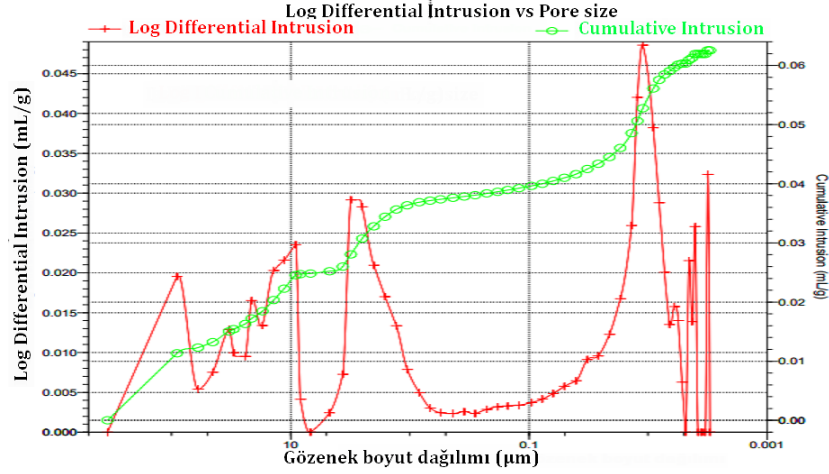
Bir doğal taşın ultrases geçiş hızı, temel olarak malzemenin cinsi, dokusu, tane boyutu ve şekli, gözenekliliği su içeriği (doyguluk derecesi) ve yoğunluğuna bağlıdır.

P-dalga hızları, doğal taşların kalite değerlendirmesi için sıklıkla bir teşhis aracı olarak kullanılmaktadır. Doğal taşlarda, iç çatlak ve diğer kusurların yanı sıra donma ve çözülme nedeniyle bozulma gibi değişiklikleri tespit etmek için ultrases geçiş hızı ölçüm yöntemi kullanılmaktadır [57].

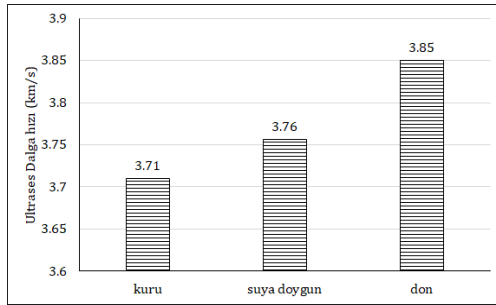
Bu çalışma kapsamında incelenen andezit örneklerinin kuru, suya doygun ve donmuş koşullardaki ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Yapılan incelemelere göre andezitin kuru, suya doygun ve donmuş koşullardaki ortalama ultrases geçiş hızlarının artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 10). Kuru örnekler göre, suya doygun örnekler ortalama %1,24 ve donmuş örnekler %3,77 oranında artış

göstermiştir. Ultrases geçiş hızında meydana gelen sınırlı miktardaki artış andezit örnekleri içerisinde bulunan gözeneklere suyun dolması

ve daha sonrada bu suyun donarak gözeneklerin katı hale gelmesi sonucunda meydana gelmiştir.



Şekil 9. Andezitin gözenek boyut dağılımı.



Şekil 10. Andezitin kuru, suya doygun ve don koşullardaki ultrases özelliklerinin değişimi.

3.4. Donma-çözülme deneyleri

Sıcaklığın sıfırın altına sıklıkla düştüğü soğuk bölgelerde, dış mekanlarda kullanılacak doğal yapı taşlarının don etkilerine karşı dayanıklı olması istenmektedir. Bu istekten yola çıkarak İncehisar andezitlerine laboratuvarında 20 çevrim donma-çözülme deneyleri uygulanmıştır. Her bir çevrim sırasında örneklerin ağırlıkları ve ultrases dalga hızları ölçülmüştür. Bu ölçümlerden elde edilen verilere göre bazı fiziksel parametrelerde (görünür yoğunluk, açık gözeneklilik, ağırlıkça su emme ve ultrases geçiş hızlarında) meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

TS EN 12371 [51] (Doğal taşlarda dona dayanım) standardında taşın ayrışması için kriterler;

(0): Numune bütün (bozulmamış) halde,

(1): Numunenin bütünlüğünü bozmayan çok küçük hasar (köşelerin ve kenarların çok az yuvarlaklaşması),

(2): Bir veya birkaç küçük çatlak (≤ 0.1 mm genişliğinde) veya küçük parçaların kopması (kopan her parça ≤ 30 mm),

(3): Bir veya birkaç çatlak, delik veya skala 2'de belirtilenlerden daha büyük parçaların kopması veya damarlarda malzeme bozulması veya numunenin önemli miktarda ufalanma veya ayrışma göstermesi,

(4): Numunede büyük çatlaklar mevcut veya numune iki parçaya kırılmış veya ayrılmış, şeklinde tanımlanmıştır.

Deneylerde kullanılan andezit örnekleri de deney sonrası gözle bu skalalara göre incelenmiştir (Şekil 11). Andezit örneklerinde donma-çözülme çevrimleri sonrasında yapılan gözle inceleme sonucunda fiziksel bir deformasyon ve bozulma gözlenmemiş olup örneklerin durumu, ilgili standartta yer alan verilere göre "skala (0): Numune bütün (bozulmamış) halde" olarak tanımlanmıştır.



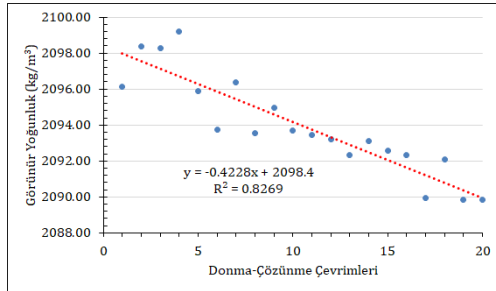
Şekil 11. Deney sonrası andezit örneğinin görünümü. Örneklerde fiziksel bütünlüğü bozacak bir deformasyon görülmemektedir.

3.4.1. Görünür yoğunlukta meydana gelen değişiklikler

Görünür yoğunluk, kuru numune kütesinin görünür hacmine oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

$$\delta b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \delta r_h \quad (1)$$

Görünür yoğunluk δb (kg/m³), Denklem (1) ile hesaplanmıştır (δb : görünür yoğunluk, m_d : kuru ağırlık, m_s : suya doymun ağırlık, m_h : su içerisindeki ağırlık, δr_h : suyun yoğunluğu). Andezitlerde donma-çözülme çevrimleri ile görünür yoğunluk değerleri arasındaki ilişkilere ait grafik Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Andezitlerde donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak meydana gelen görünür yoğunluk değişimleri.

Andezit örneklerinde %0,44 oranında görünür yoğunlukta bir azalma meydana gelmiştir. Donma-çözülme çevrimleri ile görünür yoğunluk azalmaları arasında ilişki ($R^2=0,8269$) ters orantılı olup donma-çözülme çevrimleri arttıkça görünür yoğunluk değerinin azaldığı görülmektedir. Görünür yoğunluğun %1’in

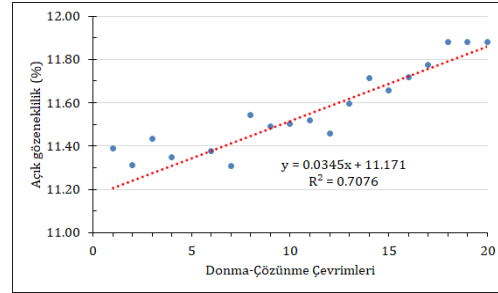
altında azalması fiziksel bütünlüğün bozulmaması ile de örtüşmektedir.

3.4.2. Açık gözeneklilikte meydana gelen değişiklikler

Andezitlerde donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak meydana gelen açık gözeneklilik değişimleri, TS EN 1936 standardına göre belirlenmiştir.

$$P_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \quad (2)$$

Açık gözeneklilik değişimleri Denklem (2) ile hesaplanmış ve elde edilen verilerin grafiği Şekil 13’de verilmiştir (P_o : açık gözeneklilik, m_d : kuru ağırlık, m_s : suya doymun ağırlık, m_h : su içerisindeki ağırlık).



Şekil 13. Andezitlerde donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak meydana gelen açık gözeneklilik değişimleri.

Andezit örneklerinin açık gözeneklilik değerlerinde %5,05 oranında artış meydana gelmiştir. Donma-çözülme çevrimleri ile açık gözeneklilik artışları arasında doğru orantılı ($R^2=0,7076$) bir ilişki olup donma-çözülme çevrimleri arttıkça açık gözeneklilik değerinin arttığı belirlenmiştir. Bu duruma donma-çözülme çevrimlerinin, andezit örnekleri içerisinde fiziksel bütünlüğü bozmayacak şekilde mikro çatlaklar oluşturmasının yol açması olasıdır.

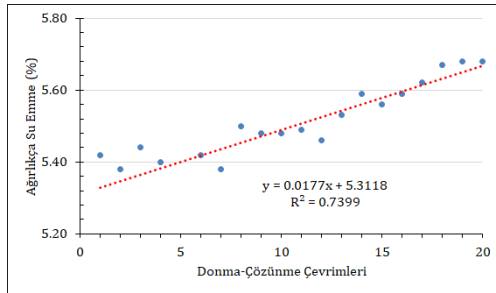
3.4.3. Ağırlıkça su emmede meydana gelen değişiklikler

Doğal taşlarda su emme miktarı gözeneklilik ile ilişkilidir.

$$\gamma = \frac{G_d - G_k}{G_k} \quad (3)$$

Andezitlerde donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak meydana gelen ağırlıkça su emme

değişimleri Denklem (3) ile hesaplanmış ve elde edilen verilerin grafiği Şekil 14’de verilmiştir (γ : ağırlıkça su emme, G_d : suya doymun ağırlık, G_k : kuru ağırlık). Donma-çözülme çevrimleri ile açık gözeneklilik artışları arasında doğru orantılı ($R^2=0,7399$) bir ilişki olup donma-çözülme çevrimleri arttıkça ağırlıkça su emme değerinin arttığı tespit edilmiştir. Andezit örneklerinin ağırlıkça su emme değerlerinde %5,38 oranında artış meydana gelmiştir. Bu veriler aynı zamanda açık gözeneklilik değerlerinde %5,05 oranındaki artış ile de uyumludur.



Şekil 14. Andezitlerin donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak meydana gelen ağırlıkça su emme değişimleri.

3.4.4. Ultrases geçiş hızında meydana gelen değişiklikler

Doğal yapı taşlarının ayrışması sonucunda fiziksel ve mekanik özelliklerinde olumsuz yönde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikleri belirlemede kullanılan yöntemlerden biri de ultrases geçiş hızı ölçümü yöntemidir. Bu yöntemin esası, malzeme içinde meydana gelen süreksizliklere bağlı olarak ultrases geçiş hızında azalma prensibine dayanmaktadır. Ayrışmanın şiddeti arttıkça ultrases geçiş hızı azalmaktadır. Bu çalışmada da donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak her çevrimde ultrases geçiş hızları ölçülerek meydana gelen ayrışma düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Son çevrim sonucunda ultrases geçiş hızında %1,89 azalma tespit edilmiştir. Bu durum ayrışmanın çok fazla oranda gerçekleşmediğinin de bir göstergesidir.

4. Tartışma ve Sonuç

DeneySEL çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kimyasal analiz verileri andezitin traki-andezit kökenli olduğunu göstermiştir. Polarizan mikroskop incelemelerine göre andezitin porfirik dokulu olduğu gözlenmiştir. Feno kristal olarak bulunan sanidin, plajiyoklaz, piroksen ve

biyotit mineralleri, mikro plajiyoklaz ve piroksen minerallerinden oluşan bir hamur içerisinde bulunmaktadır. Piroksen ve biyotit minerallerinin yer yer bozduğu ve demir oksit açığa çıkardıkları tespit edilmiştir. SEM incelemelerinde feldispat grubu minerallerin üzerinde kil minerallerinin olduğu görülmüştür. Kil minerallerinin varlığı feldispatların yer yer bozduğunu göstermektedir. Mineralojik bileşimde büyük oranda feldispatların (sanidin, oligoklaz ve andezin) yer aldığı piroksen, mika (biyotit) ve montmorillonit minerallerinin de bunlara eşlik ettiği belirlenmiştir.

Andezitlerin kullanım yerlerinin belirlenmesinde önemli bir yer tutan fiziksel ve mekanik özelliklere göre; açık gözenekliliği ortalama %11,31 ve su emme değeri de %5,39 olarak belirlenmiştir. Gerçek yoğunluğu 2735 kg/m³ olan andezitin tek eksenli basınç dayanımı ortalama 70 MPa olarak tespit edilmiştir.

Donma-çözülme çevrimlerinde gözeneklilik boyut dağılımı önemli bir yer tutmaktadır. Civalı porozimetre yöntemi ile ölçülen andezitin gözenek boyut dağılımının 0,08 µm-300 µm arasında olduğu belirlenmiştir. Kılcal su emme açısından önem taşıyan 0,1 µm-1 mm arasındaki gözenek boyutu da bu dağılım içerisinde yer almaktadır.

Bu çalışmanın ana konusunu içeren donma-çözülme deneyleri sonrasında andezit örneklerinin gözle görülen bir ayrışmaya maruz kalmadığı ve fiziksel bütünlüğünü koruduğu gözlenmiştir. Bu duruma göre andezit örnekleri, ilgili standartta yer alan verilere göre "skala (0): Numune bütün (bozulmamış) halde" olarak tanımlanmıştır.

Donma-çözülme çevrimleri sırasında andezit örneklerinin görünür yoğunluk, açık gözeneklilik, ağırlıkça su emme ve ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre andezitlerin görünür yoğunluk ve ultrases hızlarında azalma oluşurken, gözeneklilik ve su emme oranlarında ise artışlar meydana gelmiştir. Ultrases geçiş hızı ortalama %1,89 ve görünür yoğunluk ortalama %0,44 oranında azalmış, ağırlıkça su emme miktarı ortalama %5,38 ve açık gözeneklilik ortalama %5,05 oranında artmıştır.

Laboratuvar deneyi verilerine göre andezit örneklerinin donma-çözülme işlemine dayanıklı

olduğu belirlenmiştir. Söz konusu andezitler dış mekanlarda kullanılabilir özelliktedir. Ancak daha soğuk iklim şartlarında kullanılabilmesi için daha fazla donma-çözülme çevrimlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür

Yazar, Laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Sayın Müh. B. Serbest'e teşekkür eder.

Kaynakça

- [1] Metin, S., Genç, Ş., Bulut, V. 1987. Afyon ve Dolayının Jeolojisi, MTA Rapor No: 8103 (Yayınlanmamış), Ankara.
- [2] Ercan, T., Dinçer, A., Metin, S., Türkecan, A., Günay, E. 1978. Uşak Yöresindeki Neojen Havzalarının Jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt. 21, s. 97-106.
- [3] Çevikbaş, A., Ercan, T., Metin, S. 1988. Geology and Regional Distribution of Neogene Volcanics Between Afyon-Şuhut. METU Journal of Pure and Applied Sciences, Cilt. 21(1-3), s. 479-499.
- [4] Gökaltun, E. 1999. Atmosferik Kirleticilerin Kuru ve Islak Çökme Mekanizmalarının Kireçtaşlarındaki Parlaklık Kaybına Etkisi. BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt. 1(1), s. 134-156.
- [5] 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, Cilt. 107, s. 1-15. DOI: 10.1016/j.enggeo.2009.03.009
- [6] 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 Building Materials, Cilt. 24, s. 2536-2541. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.06.002
- [7] Torraca, G. 2009. Lectures on Materials Science for Architectural Conservation. Getty Conservation Institute, Los Angeles, 193s.
- [8] Kuşcu, M., Yıldız, A., Bağcı, M. 2003. Investigation of Ağın Andesite as a Building Stone (İscehisar- Afyon, W-Turkey). International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones, İstanbul, Turkey, 243-253.
- [9] Kuşcu, M., Bağcı, M., Yıldız, A. 2006. Konarı (İscehisar-Afyon) Traki-andezitlerinin Yapıtışı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. MERSEM 2006' Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon, 281-290.
- [10] Akbulut, H., Gürer, C., Yıldız, A. 2006. İscehisar Andezitlerinin Yol Üst Yapı Kırmataşı Olarak Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye IV. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 2-3 Mart 2006, Afyonkarahisar, 183-191.
- [11] Çelik, M.Y., Arsoy, Z., Sert, M., Şahbaz, A. 2018. İscehisar (Afyonkarahisar) Andezitinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, The 1st International Engineering and Technology Symposium (IETS'18), 03-05 May, Batman, 948-955.
- [12] Çelik, M.Y., Kaçmaz, A.U. 2016. The Investigation of Static and Dynamic Capillary by Water Absorption in Porous Building Stones Under Normal and Salty Water Conditions, Environmental Earth Sciences, Cilt. (2016) 75:307. DOI: 10.1007/s12665-015-5132-x
- [13] Çelik, M.Y., Ersoy, M., Yeşilkaya, L., Yılmaz, S., Köken, İ. 2017. Andezitlerde Farklı Sulu Ortamların Kapiler Su Emme Özelliğine Etkisinin İncelenmesi, Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi, 13-15 Aralık, Antalya, 295-304.
- [14] Çelik, M.Y., Aygün, A. 2018. The Effect of Salt Crystallization In Porous Building Stones by Sodium Sulfates and Sodium Chlorides on Degradation, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, DOI: 10.1007/s10064-018-1354-y
- [15] Çelik, M.Y., Ersoy, M., Arsoy, Z., Sert, M., Yeşilkaya, L. 2018. İscehisar Andezitlerinin Tuz Kristalleşmesine Bağlı Ayrışmasında Su İtici Kimyasal Madde Etkisinin Araştırılması, Bilimsel Madencilik Dergisi, Cilt. 57(2), s. 81-94, DOI: 10.30797/madencilik.433911
- [16] Chen, T.C., Yeung, M.R., Mori, N. 2004. Effect of Water Saturation on Deterioration of Welded Tuff Due to Freeze-Thaw Action, Cold Regions Science and Technology, Cilt. 38, s. 127-136, DOI: 10.1016/j.coldregions.2003.10.001
- [17] Altındag, R., Alyıldız, S. I., Onargan, T. 2004. Mechanical Property Degradation of Ignimbrite Subjected to Recurrent Freeze-Thaw Cycles, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Cilt. 41, s. 1023-1028. DOI: 10.1016/j.ijrmm.2004.03.005
- [18] Ruedrich, J., Kircher, D., Siegesmund, S. 2011. Physical Weathering of Building Stones Induced by Freeze-Thaw Action: a Laboratory Long-Term Study, Environmental Earth Sciences, Cilt. 63, s. 1573-1586. DOI: 10.1007/s12665-010-0826-6
- [19] Çelik, M.Y., Akbulut, H., Ergül, A. 2014. Water Absorption Process Effect on Strength of Ayazini Tuff, such as the Uniaxial Compressive Strength (UCS), Flexural Strength and Freeze and Thaw Effect, Environmental Earth Sciences, Cilt. 71, s. 4247-4259, DOI: 10.1007/s12665-013-2819-8
- [20] Özbek, A. 2014. Investigation of the Effects of Wetting-Drying And Freezing-Thawing Cycles on Some Physical and Mechanical Properties Of Selected Ignimbrites, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Cilt. 73, s. 595-609, DOI:10.1007/s10064-013-0519-y
- [21] Ghobadi, M.H., Taleb Beydokhti, A.R., Nikudel, M.R., Asiabanha, A., Karakus, M. 2016. The effect of freeze-thaw process on the physical and mechanical properties of tuff. Environmental Earth Sciences, Cilt. 75, s. 846. DOI:10.1007/s12665-016-5664-8
- [22] Yavuz, A.B. 2012. Durability assessment of the Alaçatı tuff (İzmir) in western Turkey, Environmental Earth Sciences, Cilt. 67, s. 1909-1925, DOI:10.1007/s12665-012-1632-0
- [23] Liu, Q., Huang, S., Kang, Y., Liu, X. 2015. A prediction model for uniaxial compressive strength of deteriorated rocks due to freeze-thaw. Cold Regions Science and Technology, Cilt. 120, s. 96-107, DOI: 10.1016/j.coldregions.2015.09.013
- [24] Nicholson, D.T., Nicholson, F.H. 2000. Physical deterioration of sedimentary rocks subjected to experimental freeze-thaw weathering. Earth Surface Processes and Landforms, Cilt. 25, s. 1295-1307, DOI:10.1002/1096-9837

- [25] Yavuz, H., Altındag, R., Sarac, S., Ugur, I., Sengun, N. 2006. Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze-thaw and thermal shock weathering. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Cilt. 43, s. 767-775, DOI: 10.1016/j.ijrmmms.2005.12.004
- [26] Altındag, R., Şengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Onargan, T. 2006. The Integrity Loss of Physicomechanical Properties of Building Stones When Subjected to Recurrent Cycles of Freeze-Thaw (F-T) Process. Chapter 6.2: Freeze-Thaw, Fracture and Failure of Natural Building Stones, (Ed. Kourkoulis, S.K.), 363-372.
- [27] Şengün, N., Altındag, R., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Kistır, R. 2008. Kireçtaşlarında Donma-Çözülme (F-T) Çevrimlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt. 12, s. 128-134.
- [28] Tan, X., Chen, W., Tian, H., Cao, J. 2011. Laboratory Investigations on the Mechanical Properties Degradation of Granite Under Freeze-Thaw Cycles, *Cold Regions Science and Technology*, Cilt. 68, s. 130-138, DOI: 10.1016/j.coldregions.2011.05.007
- [29] Özçelik, Y., Careddu, N., Yilmazkaya, E. 2012. The Effects of Freeze-Thaw Cycles on the Gloss Values of Polished Stone Surfaces, *Cold Regions Science and Technology*, Cilt. 82, s. 49-55, DOI: 10.1016/j.coldregions.2012.05.007
- [30] Bayram, F. 2012. Predicting Mechanical Strength Loss of Natural Stones After Freeze-Thaw in Cold Regions, *Cold Regions Science and Technology*, Cilt. 83-84, s. 98-102, DOI: 10.1016/j.coldregions.2012.07.003
- [31] Martínez-Martínez, J., Benavente, D., García-del-Cura, M. A. 2011. Spatial Attenuation: The Most Sensitive Ultrasonic Parameter for Detecting Petrographic Features and Decay Processes in Carbonate Rocks. *Engineering Geology*, Cilt. 119 (3-4), s. 84-95, DOI: 10.1016/j.enggeo.2011.02.002
- [32] Barbera, G., Barone, G., Mazzoleni, P., Scandurra, A. 2012. Laboratory Measurement of Ultrasound Velocity During Accelerated Aging Tests: Implication for the Determination of Limestone Durability, *Construction and Building Materials*, Cilt. 36, s. 977-983, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.06.029
- [33] Draebing, D., Krautblatter, M. 2012. P-wave Velocity Changes in Freezing Hard Low-Porosity Rocks: a Laboratory-Based Time-Average Model, *The Cryosphere*, Cilt. 6, s. 1163-1174, DOI: 10.5194/tc-6-1163-2012
- [34] Molina, E., Cultrone, G., Sebastian, E., Alonso, F.J. 2013. Evaluation of Stone Durability Using a Combination of Ultrasound, Mechanical and Accelerated Aging Tests, *Journal of Geophysics and Engineering*, Cilt. 10,3, s. 035003, DOI: 10.1088/1742-2132/10/3/035003
- [35] Gökçe, M.V., İnce, İ., Fener, M., Taşkıran, T., Kayabali, K. 2016. The Effects of Freeze-Thaw (F-T) Cycles on the Gödene Travertine Used in Historical Structures in Konya (Turkey), *Cold Regions Science and Technology*, Cilt. 127 s. 65-75, DOI: 10.1016/j.coldregions.2016.04.005
- [36] Çelik, M.Y., 2017. Afyonkarahisar Yöresi Tüflerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Ultrases Dalga Hızı ile İlişkinin İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, Cilt. 20(4): s. 961-970, DOI: 10.2339/politeknik.369111
- [37] Timur, A. 1968. Velocity of Compressional Waves in Porous Media at Permafrost Temperatures, *Geophysics*, Cilt. 33, s. 584-595, DOI: 10.1190/1.1439954
- [38] King, M.S. 1977. Acoustic Velocities and Electrical Properties of Frozen Sandstones and Shales, *Canadian Journal of Earth Sciences*, Cilt. 14, s. 1004-1013, DOI:10.1139/e77-092
- [39] Pandit, B.I., King, M.S. 1979. A Study of the Effects of Pore-Water Salinity on Some Physical Properties of Sedimentary Rocks at Permafrost Temperatures, *Canadian Journal of Earth Sciences*, Cilt. 16, s. 1566-1580, DOI:10.1139/e79-143
- [40] Pearson, C., Murphy, J., Hermes, R. 1986. Acoustic and Resistivity Measurements on Rock Samples Containing Tetrahydrofuran Hydrates - Laboratory Analogs to Natural-Gas Hydrate Deposits, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, Cilt. 91, s. 14132-14138, DOI: 10.1029/JB091iB14p14132
- [41] Remy, J.M., Bellanger, M., Homandtienne, F. 1994. Laboratory Velocities and Attenuation of P-Waves in Limestones During Freeze-Thaw Cycles, *Geophysics*, Cilt. 59, s. 245-251, DOI: 10.1190/1.1443586
- [42] Sondergeld, C.H., Rai, C.S. 2007. Velocity and Resistivity Changes During Freeze-Thaw Cycles in Berea Sandstone, *Geophysics*, Cilt. 72, s. 99-105, DOI:10.1190/1.2435198
- [43] Takeuchi, S., Simmons, G. 1973. Elasticity of Water-Saturated Rocks as a Function of Temperature and Pressure, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, Cilt. 78, s. 3310-3320, DOI:10.1029/JB078i017p03310
- [44] Toksoz, M.N., Cheng, C.H., Timur, A. 1976. Velocities of Seismic-Waves in Porous Rocks, *Geophysics*, Cilt. 41, s. 621-645, DOI: 10.1190/1.1440639
- [45] Bonner, J.L., Leidig, M.R., Sammis, C., Martin, R.J. 2009. Explosion Coupling in Frozen and Unfrozen Rock: Experimental Data Collection and Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Cilt. 99, s. 830-851, DOI:10.1785/0120080259
- [46] Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C. 1997. The Surficial Physical Deterioration Behaviour of Neogene Volcano-Sedimentary Rocks of Eskişehir Yazılıkaya, NW Turkey. *Proc. Int. Symp. on Engineering Geology and the Environment*, Athens, Greece, A.A. Balkema, Rotherdam, Cilt. 3, s. 3065-3069,
- [47] TS EN 1936. 2010. Türk Standartları, Doğal Taşlar Deney Metotları, Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik, TSE, Ankara.
- [48] TS EN 14579. 2006. Türk Standartları, Doğal Taşlar Deney Metotları- Ses İlerleme Hızı Tayini, TSE, Ankara.
- [49] TS EN 13755. 2006. Türk Standartları, Doğal Taşlar Deney Metotları-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, TSE, Ankara.
- [50] TS EN 1926. 2013. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, TSE, Ankara.
- [51] TS EN 12371. 2003. Türk Standartları, Doğal Taşlar Deney Metotları-Dona Dayanım Tayini, TSE, Ankara.
- [52] Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Woolley, A.R. 1992. The Construction of the Total Alkali-Silica Chemical Classification of Volcanic Rocks, *Mineralogy and Petrology*, Cilt. 46, s. 1-22, DOI:10.1007/BF01160698

- [53] Irvine, T.N., Baragar, W.R.A. 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, Cilt. 8, s. 523-548. DOI: 10.1139/e71-055
- [54] Guruprasad, B., Ragupathy, A., Badrinarayanan, T.S., Rajkumar, K.B. 2012. The Stress Impact on Mechanical Properties of Rocks in Hydro Fracturing Technique, International Journal of Engineering Science and Technology, Cilt. 4(2), s. 571-580,
- [55] Erdoğan, Y., Yaşar, E., Güneşli, H. 2008. Doğal Yapı Taşlarının Isi-Ses Yalıtımı ile Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. IX. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 340-350, İzmir.
- [56] Siegesmund, S., Dürrast, H. 2011. Physical and Mechanical Properties of Rocks. In: Stone in Architecture, 4th edition, Siegesmund S., Snethlage R. eds., Berlin: Springer, s. 97-225.
- [57] Siegesmund, S., Snethlage, R. 2011. Stone in Architecture; Properties, Durability. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.