



Orijinal Araştırma / Original Research

İSCEHİSAR ANDEZİTLERİNİN TUZ KRİSTALLENMESİNE BAĞLI AYRIŞMASINDA SU İTİCİ KİMYASAL MADDE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WATER REPELLENT CHEMICALS ON THE WEATHERING OF ISCEHİSAR ANDESITES DUE TO SALT CRYSTALLIZATION

Mustafa Yavuz Çelik^{a,*}, Metin Ersoy^{a,**}, Zeyni Arsoy^{a,***}, Murat Sert^{b,****}, Liyaddin Yeşilkaya^{a,*****}

^a Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapı Taşları Programı, Afyonkarahisar, TÜRKİYE

^b Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 4 Aralık / December 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 30 Mart / March 2018

ÖZ

Anahtar Sözcükler:
Andezit,
Tuz kristalizasyonu,
Su itici kimyasal madde,
Gözeneklilik,
Ağırlık kaybı.

Bu çalışmada Afyonkarahisar yöresinde üretilen İscehisar andezitlerinde tuzların yıkıcı etkileri sonucu oluşan bazı fiziksel ve mekanik değişiklikler incelenmiştir. Bu amaçla çalışma kapsamında andezitlerin petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, XRD), kimyasal analiz, gözenek çapı dağılımı ve fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada da su emmeyi ve dolayısıyla da tuz kristallendirmeyi önlemek amacıyla da su itici ve koruyucu kimyasal maddeler kullanılan andezit numunelerinde aynı deneyler tekrarlanmıştır. Andezit numunelerinin tuz kristallendirme olaylarına bağlı ayrışma miktarları, ağırlık kaybı, ultrases hızı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi bazı fiziksel ve mekanik parametrelerde meydana gelen değişimler yardımıyla belirlenmiştir. Normal numunelerde ortalama %0,3695 kuru kütle kaybı, su itici kimyasal madde uygulanmış numunelerde ise ortalama %0,186 kütle artışı ölçülmüştür. Basınç dayanımı değerleri normal numunelerde %32, su itici kimyasal uygulanmış numunelerde %37 azalmıştır.

ABSTRACT

Keywords:
Andesite,
Salt crystallization,
Water repellent chemical,
Porosity,
Weight loss.

In this research, some physical and mechanical changes in İscehisar andesites produced in Afyonkarahisar region were investigated because of destructive effects of salts. For this purpose, petrographic-mineralogical (polarizing microscope, XRD), chemical analysis, pore diameter distribution and physico-mechanical properties of andesites were determined. In the second step, the same experiments were repeated in the case of andesite samples using water repellent and protective chemical substances to prevent water absorption and consequently salt crystallization. The amounts of decomposition due to salt crystallization events of the andesite samples were determined by the changes in mechanical and physical properties like weight loss, ultrasonic velocity and uniaxial compressive. Mean dry weight loss was 0.3695% in normal samples and 0,186% mass increase in water-repellent samples. Compressive strength values were found to be 32% for normal samples and 37% for water repellent chemically treated samples.

* Sorumlu yazar: mycelik@hotmail.com • <https://orcid.org/0000-0002-9695-7370>

** metinersoy@aku.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-7997-6847>

*** zeyniarsoy@aku.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-5694-6338>

**** msert@aku.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-5376-9874>

***** yesilkay@aku.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-8911-4853>

GİRİŞ

Tarihin değişik dönemlerinde farklı yapı malzemeleri kullanılmıştır. Günümüze kadar gelmiş olan tarihi yapıların, doğal taşlardan yapılmış olduğu görülmektedir. Tüm uygarlıkların doğal taşları tercih etmelerinin nedeni, taşıyıcı niteliği ve mimari özellikleri yanı sıra dayanıklı olmalarıdır. Antik dönemlerde kabaca şekillendirilerek, yapıların değişik yerlerinde taşıyıcı amaçlı kullanılan doğal taşlar, teknolojik gelişmelere paralel olarak değişik şekillerde işlenerek farklı amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır. Bu doğal taşların en çok kullanılanlarından birisi de andezitlerdir (Yavuz vd., 2017).

Ülkemizde İç Anadolu ve Ege Bölgeleri'nde yaygın olarak bulunan andezit oluşumları volkanik kayalar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Çankırı, Niğde, Kayseri, Ankara, Afyon, Isparta, Çanakkale, İzmir, Balıkesir ve Uşak başlıca andezit üretimi yapılan iller arasındadır. Andezitler geçmişte olduğu gibi günümüzde de en çok inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları arasında duvarlarda kaplama, yerlerde döşeme, yaya yollarında, park ve bahçelerde kaldırım, bordür ve parke taşı sayılabilir. Bunun yanı sıra merdiven basamakları, istinat duvarları, çeşitli profiller (harpuşta, takoz), tarihi binaların restorasyonu ve kent mobilyaları (oturma grupları, çiçeklik) olarak kullanılmaktadır. Andezitler homojen ve solmayan renkleri ile cilasız, silinmiş, çekiçlenmiş veya kaba yontulmuş yüzey biçimleri ile son yıllarda yurtiçi ve yurtdışı doğal taş kullanıcılarının tercihi olmuştur (MTA, 2017).

Anadolu medeniyetlerinde yaygın olarak kullanılan ve günümüzde de birçok alanda kullanıldığı görülen andezitler, kullanım yeri ve özelliklerine bağlı olarak çevresel faktörlerin etkisiyle zamanla ayrışmaya başlarlar. Ayrışmaya etki eden faktörler fiziksel, kimyasal veya biyolojik kökenli olabilmektedir. Ayrışmayı hızlandıran en önemli etkenlerden birisi su olup her üç ayrışma türünde de önemli rol oynamaktadır. Gözenek ve çatlaklara giren sular donma-çözülme yoluyla fiziksel ayrışmayı sağlarken çözünebilir tuzları da taşıyarak gözeneklerde buharlaşma yoluyla tuz kristallenmesine neden olurlar. Böylelikle donma-çözülme etkileri yanı sıra tuz kristallenmesi nedeni ile yapılarda kullanılan doğal taşlar zaman içinde çevresel etkiler nedeni ile erozyona uğrayarak ciddi oranda zarar görmektedir. Bu hasarların giderilmesi amacıyla doğal taşların bünyesine su giri-

şinin engellenmesi gerekmektedir. Özellikle tarihi yapılarda suların doğal taşlar içerisine girmesini engellemek için koruyucu ve su itici kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Böylece su ve suda çözülmüş zararlı tuzların doğal taşların içerisine girmesi engellenerek olabilecek zararlı etkileri bertaraf edilmiş olur.

Korunması gereken bir tarihi yapının bozulma durumunun incelenmesi, nedenlerin tespit edilmesi ve buna uygun müdahale yönteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Kısmen ayrışmaya başlamış yapı malzemesinin değiştirilmesi yerine güçlendirilerek ömrünün uzatılması restorasyon çalışmasının bir gereğidir. Bu amaçla doğal yapı taşlarının yüzey koruyucu kimyasal maddeler kullanılarak su emme miktarının azaltılması yönünde çalışmalar yapılması gerekmektedir. Koruyucu malzeme kullanım metotları temelde aynı olmakla birlikte, farklı koruyucu malzeme farklı yapı taşları üzerinde denendiğinde değişik sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle öncelikle laboratuvar ortamında denenmesi büyük önem taşımaktadır. Literatürde bu amaçla yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Ioannou, 2008; Kılıç ve Gültekin, 2009; Thomachot-Schneider vd., 2011; Pinna vd., 2011; Licchelli, 2013; Pérez vd., 2014; Tulliani vd., 2014).

Literatürde, İscehisar andeziti ile ilgili bazı çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmalar andezitlerin yapı taşı olarak (Kuşçu vd., 2003; Kuşçu vd., 2006) ve agrega olarak kullanımı (Akbulut vd., 2006) hakkındadır. Doğal yapı taşlarının tuz kristallenmesine dirençlerini konu alan çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, İscehisar andezitinin tuz kristallenmesine dirençlerini konu alan bir çalışmaya rastlanmamıştır (Sperling ve Cooke, 1985; Ruiz-Agudo vd., 2007; Angeli vd., 2008; Angeli vd., 2010; Beck ve Al-Muhtar, 2010; Shahidzadeh-Bonn vd., 2010; Vázquez vd., 2013, Ca'rdenes vd., 2014).

Andezitlerin tuz kristallenmesine dirençlerini konu alan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Ünal vd., (2006) farklı oluşumlara sahip doğal yapı taşlarının tuz kristallenmesine bağlı bozulma özellikleri ultrasonik hız ölçümleri ve ağırlık kaybı hesaplaması ile belirlemeye çalışmışlardır. Deneyler sonucunda andezitin en az bozunduğunu belirlemişlerdir. Zedef vd., (2007) Konya yöresinde tarihi yapılarda kullanılan dasit, andezit ve tüflerin tuz kristallenmesine dirençlerini kuru ağırlık kayıplarıyla bulmaya çalışmışlardır. Deneyler

sonucunda en dayanıklı kayacın dasit olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada andezitlerin tuz kristallenmesine direncini değerlendirmek için laboratuvarda sodyum sülfat çözeltileri ile yaşlandırma deneyleri yapılmıştır. Ayrışmanın etkisini azaltmak amacıyla su itici kimyasal madde sürülen numunelerle deneyler tekrar edilmiştir. Andezitlerde tuz kristallenmesi sonrası ayrışma özellikleri ağırlık kaybı, tek eksenli basınç dayanımı ve ultrasonik hız ölçümleri ile belirlenmiştir. Özellikle tarihi yapılarda kullanılan andezitlerde tuz kristallenmesi nedeniyle meydana gelen tahribatin miktarı ve derecesi bu çalışma yoluyla belirlenecek ve yörede yeni yapılarda kullanılacak olan andezitlerin de tuz kristallenmesine dirençleri hakkında veri elde edilmiş olacaktır.

1. MALZEME VE YÖNTEM

1.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan andezit numuneleri, İncehisar kuzeyinde yer alan Ağın dağı andezit ocaklarından temin edilmiştir. Söz konusu ocaklar aktif olup üretilen andezitler, bölgede yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Andezitler pembemsi, grimsi, morumsu renkler sunarlar.

Tuz kristallenme deneylerinde sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) tuzu kullanılmıştır. TS EN 12370 standardına göre hazırlanan çözelti ağırlıkça %14'lük olup, 100 g çözeltilde 14 g tuz, 86 g saf su kullanılmıştır. Laboratuvar deneylerinde kullanılan numuneler (5x5x5 cm), Afyon Meslek Yüksek Okulu Mermer Teknolojisi atölyesinde hazırlanmıştır. Su itici kimyasal madde olarak Teknosil marka şeffaf, siloksan esaslı, solvent bazlı ticari kimyasal madde kullanılmıştır. Su itici kimyasal madde; numuneler yıkanıp kurutulduktan sonra yüzeyine fırça ile bir kat olarak uygulanmıştır. Numuneler, polimerizasyon işlemini sağlaması için 36 saat bekletildikten sonra deneylerde kullanılmıştır.

1.2. Yöntem

Deneylerde kullanılan İncehisar andezitlerinin malzeme karakterizasyonu için; kimyasal analizlerin yanı sıra mineralojik-petrografik özellikleri belirlemek amacıyla polarizan mikroskop, XRD analizleri yapılmıştır. Kimyasal analiz-

ler, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü Doğal Taş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazında yapılmıştır. Petrografik incelemeleri için ince kesitler hazırlanmış ve polarizan mikroskop incelemeleri, Nikon Eclipse 2V100POL model polarizan mikroskop ile dokusu ve mineralojik bileşimi açısından incelenmiştir. XRD analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında, Bakır (Cu) X ışını tüpü kullanılarak Shimadzu marka XRD-6000 model cihaz ile yapılmıştır. SEM analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı ile yapılmıştır. Andezit numunelerinin 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/cm² vakum altında 140 °C kontak açısı şeklindedir.

Kimyasal, XRD ve gözenek çap dağılımı için 1'er, SEM analizi için 4 adet andezit numunesi kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan andezitlerin yoğunluk, su emme, gözeneklilik, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı gibi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yoğunluk deneyinde 5, diğer fiziko-mekanik deneylerde ve tuz kristalizasyonu deneylerinde 12'şer adet 50x50x50 mm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

1.2.1. Tuz Kristalizasyonu Deneyi

Andezitlerin tuzlu çözeltilerle yaşlandırma deneylerinde, numuneler önceden hazırlanmış bir kap içerisinde birbirleri arasında en az 10 mm ve kapla aralarında en az 20 mm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler, ıslatılmaları amacıyla (20±0,5) °C da 2 saat çözelti içerisinde bırakılmıştır. Bekleme süresi sonrası numuneler çözeltilerden alınmış ve bir etüvde kurutulmuştur. Etüv, kurutmanın ilk anlarında yüksek bağıl nemlilik sağlayacak şekilde ve numunelerin sıcaklığını 10 saatten az 15 saatten fazla olmayan bir süre içerisinde (105±5) °C'a yükseltecek şekilde ayarlanmıştır. Numuneler en az 16 saat süreyle etüvde bırakılmış ve yeniden soğuk sodyum sülfat çözeltisine daldırılmadan önce (2,0±0,5) saat oda sıcaklığına soğutulmuştur. İşlem numunenin dağılma parçalanma gibi durumları hariç 15 kez tekrar edilmiştir.

Deney sonunda ağırlık kayıpları Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta M = \frac{(M_f - M_{d1})}{M_d} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

Burada;

ΔM : Deney öncesi ve sonrası kütlelerdeki bağıl fark (kütle kaybı veya kütle artışı); %

M_f : On beşinci işlemde sonra etiketle birlikte kuru deney numunesinin kütlesi; g

M_{d1} : Birinci işlemde önce etiketle birlikte kuru deney numunesinin kütlesi; g

M_d : Kuru deney numunesinin kütlesi; g

Hem normal hem de su itici kimyasal madde sü-rülmüş andezit numunelerinde tuz kristallenmesi sonrası ayrışma özellikleri ağırlık kaybı, tek eksenli basınç dayanımı ve ultrasonik hız ölçümleri ile belirlenmiştir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Kimyasal Analiz

Andezitlerin oksit bileşiklerini ve buna bağlı olarak da kökenlerini belirlemek amacıyla yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Andezitin ana element oksit analizi sonuçlarına göre en büyük bileşen SiO_2 ’dir. Andezitin SiO_2 oranı %56,70 olarak belirlenmiştir. İkinci en büyük kimyasal bileşen Al_2O_3 oranı %16,10’dır. Na_2O ve K_2O alkali element bileşikleri sırasıyla %2,80 ve %7,09 olarak belirlenmiştir. Kimyasal analiz verilerine göre, andezitin kökenini bulmak amacıyla Le Bas vd, (1992) tarafından önerilen toplam alkali (Na_2O+K_2O) ve silis (SiO_2) diyagramı kullanılmıştır. Bu verilere göre andezitin traki-andezitik bileşimli oldukları belirlenmiştir (Şekil 1).

2.2. Petrografik ve Mineralojik Analizler

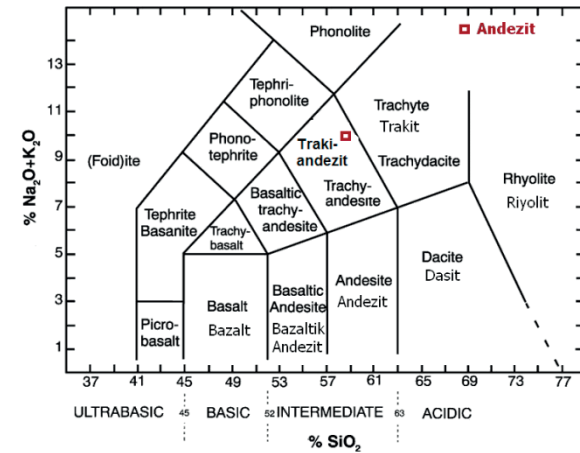
Petrografik tanımlama için üç adet andezit numunesinden ince kesitler hazırlanmış ve Polarizan mikroskop altında mineral tanımlamaları yapılmıştır. Elde edilen görüntüler Foto 1’de verilmiştir. Yapılan incelemelerde, andezitlerin porfirik dokulu olduğu belirlenmiştir. Matris genellikle mikro plajiyoklas ve piroksen minerallerinden oluşmuş olup az miktarda volkan camı görülmektedir.

Fenokristal olarak feldispat (oligoklas, sanidin), piroksen, amfibol ve biyotit mineralleri gözlen-

miştir. Piroksen minerallerinde kırık ve çatlaklar çok belirgindir. İnce kesitlerde bol miktarda gözlekler de bulunmaktadır. Andezitlerde gözlenen pembemsi-kırmızısı renk, mafik minerallerin ayrışması sonucunda oluşmuştur. Ayrışma sonucunda mafik minerallerin etrafında demiroksit sıvamaraları gözlenmektedir.

Çizelge 1. Andezitin kimyasal analiz sonucu, ana element oksit dağılımı

Kimyasal bileşim	(%)
SiO_2	56,70
Al_2O_3	16,10
Fe_2O_3	5,39
MgO	2,10
CaO	5,40
Na_2O	2,80
K_2O	7,09
TiO_2	1,19
P_2O_5	1,00
SrO	0,13
A.Z	1,47
Toplam	99,37



Şekil 1. Deneylerde kullanılan andezitin Le Bas vd, (1992) diyagramına (toplam alkali içeriğine karşı silis) göre kökeni traki-andezitik olarak belirlenmiştir

2.3. XRD Analizi

İncelenen andezit numunelerinin XRD analiz sonucu Şekil 2’de verilmiştir. XRD analizi sonucunda andezitlerin büyük oranda K-feldispat olarak ortoklas ve sanidin, plajiyoklas olarak da andezin

minerallerinden meydana geldiği belirlenmiştir. Bunlara ek olarak tridimit, piroksen, biyotit ve montmorillonit mineralleri tespit edilmiştir. Montmorillonit varlığı ayrışmalar sonucunda kil oluşu-

munu ifade etmektedir. Yapılan analiz sonucunda andezitlerin %19,2 oranında amorf malzeme içerdiği belirlenmiştir. Bu durum mikroskop analizinde volkanik cam varlığı ile de desteklenmektedir.

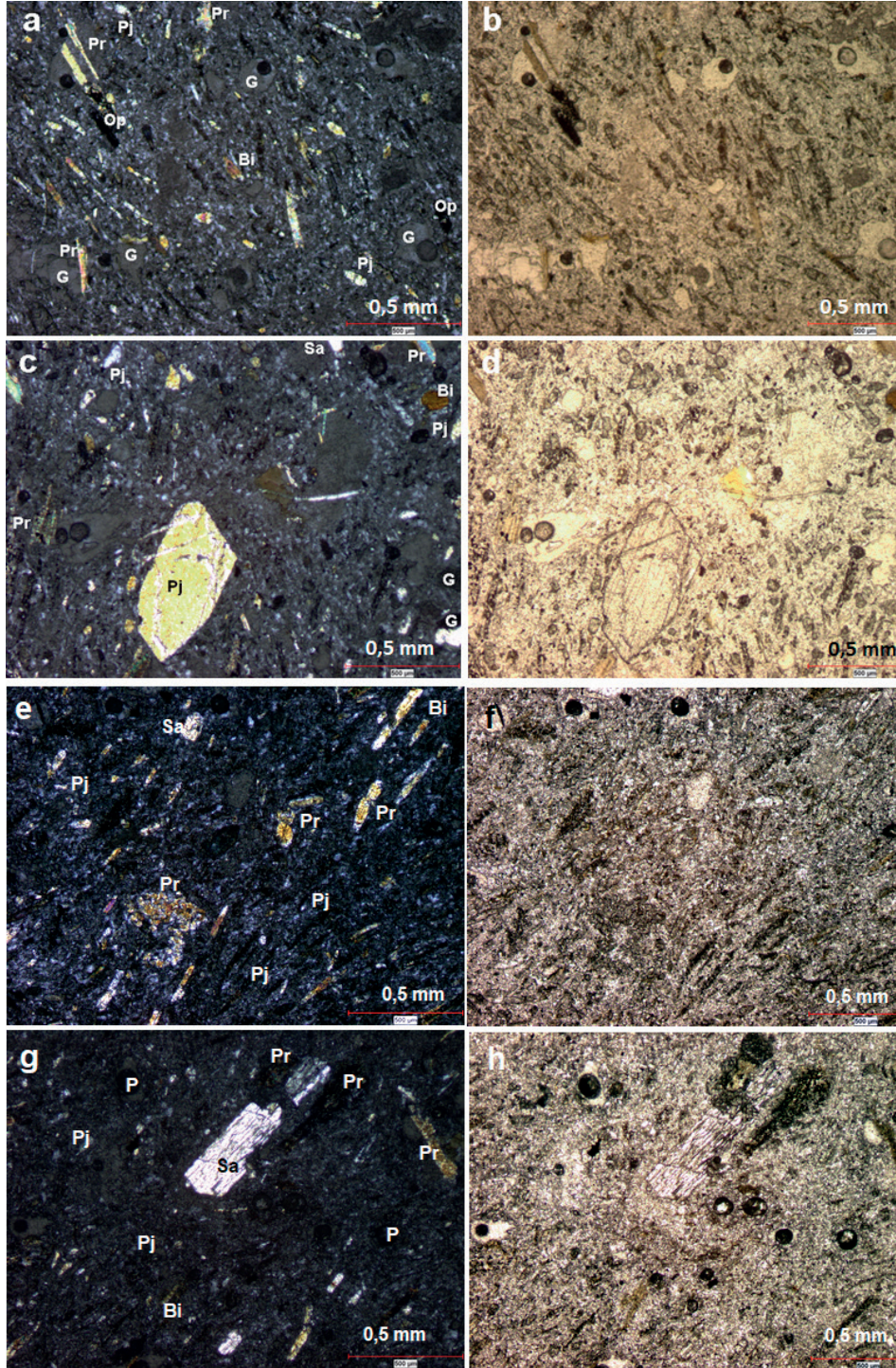
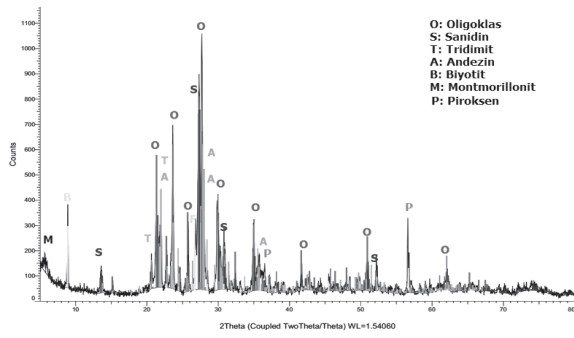


Foto 1. Andezitte ince kesit görünümleri (a, c): Çift nikol, (b, d): Tek nikol. (Pr: piroksen ve Pj: plajkioklas, Op: opak mineral, Bi: biyotit, G: gözenek)



Şekil 2. Andezitin XRD analizi sonucu elde edilen piklerin görünümü

2.4. Gözenek Çapı Dağılımı

Boyutları dikkate alınarak gözenekler 3 sınıfa ayrılmıştır (Klopfel, 1985):

mikro gözeneklilik (<0,1 µm),

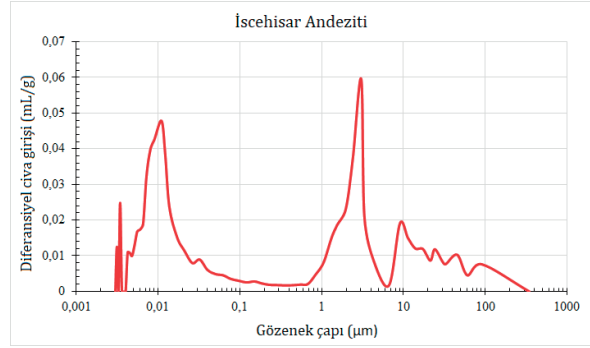
mezo gözeneklilik (kılcal gözeneklilik) (0,1 µm-1 mm),

makro gözeneklilik (>1 mm).

Kılcal su emme, pratik olarak çapları 0,1 µm ve 1 mm arasındaki gözeneklerle ilişkilidir. Kayaçların gözenek çapları küçüldükçe kılcal su emme özelliği artar. Makro gözenekler ise çapı 1 mm'den büyük olup daha çok suyun malzeme içindeki hareketini sağlarlar (Siegesmund ve Dürrast, 2011).

Deneylerde kullanılan andezitin cıvalı porozimetre yöntemiyle ölçülen gözenek çapı dağılımı grafiği Şekil 3'de verilmiştir. Gözenek çapı deneyinde civa basıncı 0,52 psi değerine ulaşmıştır. Ölçüm yapılan andezit numunesinin ortalama gözenek çapı 0,0246 µm, toplam gözenek hacmi 0,0572 mL/g olarak hesaplanmıştır.

İncelenen andezit numunesinin 0,003 –100 µm arasında gözenek çapı dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Gözeneklerin büyük bir kısmı da 0,01-3 µm aralığında yer almaktadır. Andezitin gözenek boyut dağılımı, çift doruklu (bimodal) olup 0,01-10 µm arasındadır. Birinci doruk 0,01 µm civarında iken ikinci doruk 3 µm civarında yoğunlaşmıştır. Çözünerek suyla beraber taşınabilen tuz çözeltileri daha çok kılcal kapilarite yoluyla malzeme içerisine girmektedir. Bu nedenle 0,1 µm–1 mm arasındaki gözenek dağılımı büyük önem taşımaktadır. Gözenek çapı dağılımının bu değerler arasında olduğu göz önüne alındığında andezitin tuz çözeltilerini infiltre edebilecek miktarda küçük gözenek çapı dağılımına sahip oldu-



Şekil 3. Andezitin cıvalı porozimetre yöntemiyle ölçülen gözenek çapı dağılım grafiği

2.5. Fiziko Mekanik Özellikler

Doğal yapı taşlarının fiziko-mekanik özellikleri gerek mühendislik uygulamalarında gerekse de kullanım yerlerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Özellikle dış mekanlarda kullanılacak olan doğal yapıtaşlarının gözeneklilik, su emme gibi bazı fiziksel özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerinin de bilinmesi büyük önem taşımaktadır. İncehisar andezitlerinden alınan numunelerin bazı fiziksel ve mekanik değerleri belirlenmiştir. Deneylere ait standartlar, elde edilen sonuçlar ve kullanılan numunelere ait veriler Çizelge 2'de verilmiştir.

Doğal yapıtaşlarının gözeneklilik, su emme ve yoğunluk gibi özellikleri mekanik dayanımları ile doğrudan ilişkilidir. Düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekli kayaçların genellikle daha düşük mekanik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Deneysel verilere göre andezitlerin gerçek yoğunluğu 2.782 kg/m³ iken görünür yoğunluğu 2.231 kg/m³, açık gözeneklilik %4,74 iken toplam gözeneklilik %19,73 olarak tespit edilmiştir. Doğal yapı taşlarında yüksek gözeneklilik bazı fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilerken, ısı ve ses izolasyonunu olumlu etkilemektedir. Yoğunluk ve gözeneklilik, genellikle yapı taşlarının dayanımını etkilemektedir. Düşük yoğunluklu ve gözenekli kayaçlar genellikle düşük dayanımlıdır. Gözeneklilik, geçirimsizlik ve su emme için önemli faktörlerden birisidir. Dolayısıyla yüksek gözeneklilik doğal olarak yüksek su emmeye neden olur (Guruprasad, vd. 2012). Yapı taşları bünyesindeki gözeneklerde bulunan hava izolasyon konusunda büyük önem taşımaktadır. Erdoğan vd. (2008), yapı taşlarında ses yalıtım değerleri ile birim hacim ağırlığı ve tek eksenli basınç dayanımları arasında lineer bir ilişki olduğunu ve yük-

Çizelge 2. Andezitlerin standartlara göre yapılan fiziko-mekanik deneylerine ait veriler

Deneyler	İlgili standart	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma
Yoğunluk (gerçek) (kg/m ³)	ASTM D 5550-06	5	2782,00	4,00
Ağırlıkça su emme (%)	TS EN 13755	12	2,44	0,37
Açık gözeneklilik (%)	TS EN 1936	12	4,74	1,17
Toplam gözeneklilik (%)	TS EN 1936	12	19,73	1,69
Ultras ses dalgası hızı (km/s)	TS EN 14579	12	4,16	0,14
Eğilme dayanımı (N/mm ²)	TS EN 12372	12	14,87	2,16
Tek eksenli basınç dayanımı (N/mm ²)	TS EN 1926	12	70,00	17,00

sek dayanımlı kayaçların daha iyi ses izolasyonu sağladığını belirtmişlerdir.

3 nokta eğilme dayanımı 14,87 N/mm² iken tek eksenli basınç dayanımı da 70,00 N/mm² olarak bulunmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı verileri 53,05 ile 105,61 N/mm² arasında geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu çalışmada izotropinin etkisi incelenmemiş olup bu durumun numunelerin içerisinde bulunabilen mikro fissürlerden kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmektedir.

2.6. Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Deneyleri

Doğal yapı taşlarının gözeneklilik değerlerine bağlı olarak su emme değerleri de değişmektedir. Özellikle tarihi yapılarda su emmeye bağlı olarak donma çözülme ve tuz kristallenmesi nedeniyle ayrışmalar görülmektedir. Tarihi yapılardaki gözenekli yapı taşlarının ayrışmasında en etkili olanlarından biri tuz kristalizasyonu ile ortaya çıkan hasarlardır. Doğal yapı taşlarının ayrışmasında tuz kristalizasyonunun etkisini incelemek amacıyla laboratuvar tuz kristallenmesi deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde sodyum sülfat dekahidrat (Na₂SO₄ 10H₂O), sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür (MgCl), potasyum klorür (KCl) gibi tuzlar kullanılmaktadır (Amoroso ve Fassina, 1983; Winkler, 1996).

Deneyde kullanılan sodyum sülfat dekahidrat (Na₂SO₄ 10H₂O), sıcaklık ve nem koşullarına bağlı olarak hem mirabilit (Na₂SO₄ 10H₂O) hem de tenardit (Na₂SO₄) olarak kristallenebilmektedir (Flatt, 2002; Benavente vd., 1999). Sodyum sülfat, yüksek nemli ortamlarda mirabilit (Na₂SO₄ 10H₂O), düşük nemde tenardit (Na₂SO₄) oluştur-

mak üzere kristallenmektedir (Flatt, 2002). Mirabilitin dehidratasyonu ile de tenardit (Na₂SO₄) oluşmaktadır. Sodyum sülfat, susuz fazdan (tenardit) dekahidrat formuna (mirabilit) geçişi sırasında genişleme (mol hacminde 4,15 kat artış) özelliğine sahip olduğu için en zararlı tuzlardan birisi olarak tanımlanmaktadır (Doehne, 1994).

TS EN 12370'e göre açık gözenekliliği %5'den fazla olan doğal yapı taşlarını bu deney uygulanmalıdır. Test edilen andezitlerin açık gözenekliliği de %19,73 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında da tuz kristallerinin su itici kimyasal madde uygulanmış ve uygulanmamış andezitlerde ayrışma etkisini belirlemek amacıyla sodyum sülfat çözeltileri kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır.

2.6.1. Su itici kimyasal madde uygulanmamış numunelerin tuz kristalizasyonu deneyleri

TS EN 12370'e göre yapılan tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde, 5x5x5 cm küp şeklindeki su itici kimyasal madde uygulanmamış İncehisar andezit numunelerinde 15 çevrim sonunda kuru kütle değişimi verileri Çizelge 3'de verilmiştir. Su itici kimyasal madde uygulanmamış (normal) andezit numunelerinin kuru kütle kaybı ortalama %0,3695 olarak bulunmuştur. Su itici kimyasal madde uygulanmamış andezit numunelerinin 1, 5, 10 ve 15. çevrimler sonrasında görünümü Foto 2'de verilmiştir. Su itici kimyasal madde uygulanmamış andezit numunelerinin tuz kristalizasyonu deneyleri sonrasında herhangi bir ayrışma ve çatlak oluşumuna rastlanmamıştır. Ancak çok küçük kırıntılar şeklinde ayrışmalar gözlenmiştir. Bu durumun numunelerde kütle bütünlüğünün bozulmasına yol açmadığı görülmüştür.

2.6.2. Su itici kimyasal madde uygulanmış numunelerin tuz kristalizasyonu deneyleri

TS EN 12370'e göre yapılan tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde, 5x5x5 cm küp şeklinde-

ki numunelere su itici kimyasal madde uygulanmış İsehisar andezit numunelerinde 15 çevrim sonunda kuru kütle değişimi verileri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde, su itici kimyasal madde uygulanmamış andezit numunelerinde Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen veriler

	Kuru ağırlık (Md) (gr)	Tel bağlı numune ağırlığı (Md1) (gr)	15. Çevrim sonrası ağırlık (Mf) (gr)	Kuru kütle kaybı (%)	Ortalama (%)	Standart sapma
1	271,84	272,85	271,96	0,3274		
2	270,81	271,68	270,60	0,3988		
3	261,98	262,91	262,03	0,3359		
4	269,86	270,65	269,50	0,4261		
5	269,32	270,36	269,29	0,3973		
6	272,03	272,94	271,75	0,4375	0,3695	0,0623
7	275,68	276,56	275,40	0,4208		
8	281,69	282,79	281,75	0,3692		
9	263,62	264,64	263,79	0,3224		
10	276,59	277,49	276,70	0,2856		
11	264,16	265,13	264,44	0,2612		
12	277,06	277,98	276,73	0,4512		



1. çevrim



5. çevrim



10. çevrim



15. çevrim

Foto 2. Su itici kimyasal madde uygulanmamış andezit numunelerinin 1, 5, 10 ve 15. çevrimler sonrasında görünümü

Su itici kimyasal madde uygulanmış andezit numunelerinin kuru kütle artışı ortalama %0,1859 olarak bulunmuştur. Bu durum, su itici kimyasal maddenin numunelerin içerisine tam olarak infiltrate olamadığı yerlerdeki açıklıklardan, içerisine az oranda girmiş olan tuz kristallerinden kaynaklanmaktadır. Bazı numunelerde ise tuz kristallenmesinin ayrıştırma etkisinden dolayı kütle kaybı meydana gelmiştir. Kütle artış oranının ihmal edile-

lebilecek oranda artış göstermesi ve kütle kaybı olmamasından dolayı koruma işleminin başarılı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Su itici kimyasal madde uygulanmış andezit numunelerinin 1, 5, 10 ve 15. çevrim sonrasında görünümü Foto 3'de verilmiştir. Su itici kimyasal madde uygulanmış andezit numunelerinin tuz kristalizasyonu deneyleri sonrasında herhangi bir ayrışma ve çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.

Çizelge 4. Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde, su itici kimyasal madde uygulanmış andezit numunelerinde Eşitlik 1 kullanılarak elde edilen veriler

Numune kodu	Kuru ağırlık (Md) (gr)	Tel bağlı numune ağırlığı (Md1) (gr)	15. Çevrim sonrası ağırlık (Mf) (gr)	Kuru kütle kaybı (%)	Kuru kütle artışı (%)	Ortalama (%)	Standart sapma
1	267,84	269,69	271,26	-	0,5862		
2	273,84	275,38	276,87	-	0,5441		
3	275,18	276,74	276,59	0,0545	-		
4	274,84	276,62	276,09	0,1928	-		
5	283,40	284,85	284,67	0,0635	-		
6	266,75	268,45	269,55	-	0,4124		
7	285,28	287,68	287,66	0,0070	-	0,1859	0,3158
8	273,31	274,57	274,46	0,0402	-		
9	276,18	267,75	269,02	-	0,4598		
10	275,77	277,52	277,76	-	0,0870		
11	263,60	265,41	267,11	-	0,6449		
12	274,84	276,48	276,08	0,1455	-		



1. çevrim



5. çevrim



10. çevrim



15. çevrim

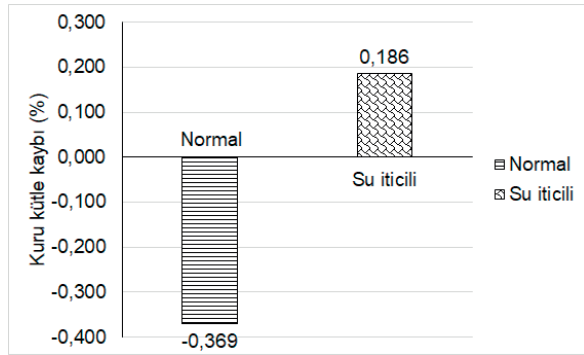
Foto 3. Su itici kimyasal madde uygulanmış andezit numunelerinin 1, 5, 10 ve 15. çevrimler sonrasında görünümü

2.7. Tuz Kristallenmesi Deneyleri Sonrası Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi

Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde, 15 çevrim sonunda İschehisar andezitinde meydana gelen yapısal değişiklikleri incelemek amacıyla kuru kütle ağırlığı değişimi yanı sıra, ultra ses geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

2.7.1. Kuru kütle ağırlığı değişimi

Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde, 15 çevrim sonunda numunelerin Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanan kuru kütle ağırlığı değişimleri Şekil 4'de verilmiştir. Su itici kimyasal madde sürülmemiş normal numunelerde ortalama %0,3695 kuru kütle kaybı ölçülmüşken, su itici kimyasal madde uygulanmış numunelerde ise ortalama %0,186 kütle artışı ölçülmüştür.



Şekil 4. Tuz kristallenmesine direncin tayini sonrası, su itici kimyasal madde uygulanmış ve uygulanmamış andezit numunelerinde 15 çevrim sonunda meydana gelen kuru kütle ağırlığı değişiklikleri

Tuz kristallenmesi deneyleri sırasında andezit numuneleri yaklaşık 2 saat tuz çözeltisinde bekletilmekte ve sonra numuneler 105 °C'deki fırında kurumaya bırakılmaktadır. Çözelti içerisinde gözenekler tuz çözeltisi ile doymun hale gelmekte, fırında ise suyun buharlaşması ile çözeltideki tuzlar gözeneklerde kristallenmektedir. İlerleyen çevrimlerde ise yeniden tuz çözeltileri ortamda birikerek ikincil kristallenmeler meydana getirmektedir. Bu olaylar sırasında oluşan kristal yapısındaki hacim artışı gözenek duvarlarına belirli bir basınç uygulamaktadır. Çevrimsel olarak tekrarlanan bu basınç artışı taşların

yapısını zayıflatmakta ve belirli bir süre sonra taş içerisinde öncelikle kılcal çatlaklar oluşturmaktadır. Bu mikro çatlaklar ilerleyen çevrimlerde daha da genişleyerek taş malzemede tane kayıplarına yol açmaktadır. Deneysel verilere göre İschehisar andezitlerinin çok gözenekli bir yapısı olmasına karşılık tuz kristallenmesine karşı dayanıklı olduğu söylenebilir. Bu durum andezitlerin toplam gözenekliliğinin %19,73 olmasına karşılık, su emme miktarının %2,44 olması nedeniyle çok fazla tuz kristali absorbe etmemesinden kaynaklanmaktadır. Gözeneklerde biriken tuz kristalleri, fazla büyümemesinden dolayı yeterli iç basınç üretememiştir. Bu nedenle numunelerde ilerleyen çevrimlerde tuz kristallenmesi basınçlarına bağlı olarak herhangi bir çatlak gözlenmemiş olup hiçbir numune ilksel bütünlüğünü kaybetmemiştir. Numunelerde kısmen az miktarda renk solmaları gözlenmiştir.

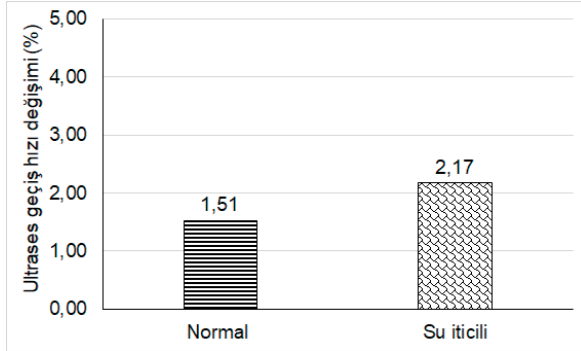
Kütle artışının sebebi, numunelerin gözeneklerinin tuzlu su çözeltisi ile doymun hale gelmesi ve kurutma aşamasında suyun buharlaşması ile çözeltideki tuzların gözeneklerde kristallenmesidir. Su itici kimyasal madde sürülen numunelerde elde edilen kütle artışının çok küçük olması ve kütle kaybı olmaması, su itici kimyasal maddenin su itici özelliğinden kaynaklanmaktadır. Su itici kimyasal madde, yüzeyde gözenekleri kapatarak malzeme yüzeyini hidrofob (suyu itici) hale getirmiştir. Ancak ilerleyen deney çevrimlerinde bazı çatlak oluşumları az da olsa kimyasal maddenin stabilitesini bozarak az miktarda su emilimi sağlayabilmektedir.

2.7.2. Ultrases dalga hızı değişimi

Andezit numunelerinin 15 çevrim sonunda tuz kristallenmesinden nasıl etkilendiklerinin belirlenmesinde P dalgası hızı ölçümlerinden yararlanılmıştır. P dalgası hızı ölçüm sonuçları değişimi Şekil 5'de verilmiştir.

Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde her iki (su itici kimyasal uygulanmamış ve uygulanmış) andezit numuneleri grubunda da başlangıç aşamasında P dalgası hızı açısından önemli bir fark gözlenmemiştir. Başlangıçta ultrases dalga hızı ölçümleri ortalama 4,15 ve 4,16 km/s olarak ölçülmüştür. 15 çevrim sonrasında P dalgası hızlarında normal andezitlerde %1,56, su itici kimyasal uygulanmış andezitlerde ise %2,17 oranında

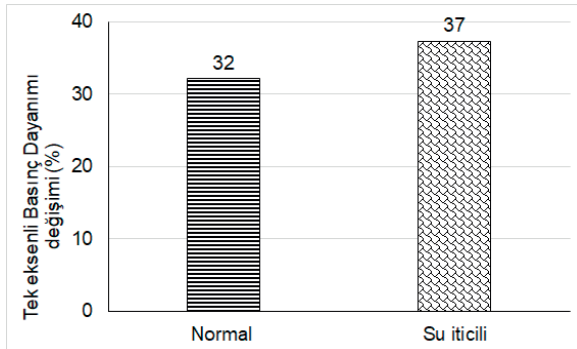
artış belirlenmiştir. Bu da kuru kütle ağırlık değişiminin %1'in altında kalması ile uyumludur. Andezit örneklerinin çok fazla ayrışmaması ve bazı gözeneklerde tuz kristalleri birikmesi nedeniyle bu artış meydana gelmiştir. Su itici kimyasal madde uygulanmış numunelerde ise kimyasal maddenin yüzeyden itibaren içeri penetrasyon yapmasından dolayı gözeneklerin dolması ve daha homojen bir ortam oluşması olarak açıklanabilir.



Şekil 5. Tuz kristallenmesine direncin tayini sonrası, su itici kimyasal madde uygulanmış ve uygulanmamış andezit numunelerinde meydana gelen ultra ses geçiş hızı değişiklikleri

2.7.3. Tek eksenli basınç dayanımı değişimi

15 çevrim sonunda numuneler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre; her iki grupta da düzenli bir dayanım azalması saptanmıştır. Sodyum sülfat çözeltisinde numunelerin 15 çevrim sonunda ölçülen tek eksenli basınç dayanımı değerleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Tuz kristallenmesine direncin tayini sonrası, su itici kimyasal madde uygulanmış ve uygulanmamış andezit numunelerinde meydana gelen tek eksenli basınç dayanımı değişiklikleri

Tek eksenli basınç dayanımı değerleri, taze andezit numunelerinde ortalama 70 N/mm², su itici kimyasal madde uygulanmış numunelerde ise ortalama 92 N/mm² olarak belirlenmiştir. Tuz kristallenmesi deneyinde, 15 çevrim sonunda taze numunelerin basınç dayanımı değerlerinde %32, su itici kimyasal uygulanmış numunelerde ise %37 azalma ölçülmüştür.

Sodyum sülfat kristallerinin mol hacimleri susuz fazdan (tenardit) dekahidrat formuna (mirabilit) geçiş sırasında artış göstermektedir. Dolayısıyla deney sırasında boşluklarda defalarca meydana gelen bu değişimler mikro çatlaklar oluşturmaktadır. Bu mikro çatlaklardan dolayı numunelerin basınç dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. Deney çevrimlerinin daha fazla olmasına bağlı olarak yapı taşı bünyesinde kaçınılmaz olarak mikro çatlaklar meydana gelebilecektir.

2.7.4. Tuz kristallenmesi etkisinin sem (taramalı elektron mikroskobu) ile incelenmesi

Doğal taşların önemli ayrışma mekanizmalarından birisi olan tuz kristallerinin andezit numuneleri üzerindeki etkisi, SEM (Taramalı elektron mikroskobu) ile incelenmiştir. Tuz kristallenmesi deneyi sonrası andezit numunesi yüzeyinde sülfat kristalleri gözlenmiştir (Foto 4a).

SEM analizinde, sodyum sülfat bileşimli mineraller kısa prizmatik, agregatlar şeklinde ve uzun yassı levhamsı, mızrak kümeleri şekilli kristaller halinde gözlenmiştir.

Su itici kimyasal madde uygulanmış numunesinin yüzey görünümü de Foto 4b'de verilmiştir. Bu numunelerin yüzeyinde normal andezit numunelerinden çok daha az oranda sülfat kristallerine rastlanmıştır. Bu durum su itici kimyasal maddenin yüzeyi hidrofobik hale getirmesi nedeniyle ilişkilidir. Bazı alanlarda su itici kimyasal maddenin stabilitesinin bozulmasından dolayı yer yer çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklardan da az miktarda da olsa tuzlu su, numune içerisine girmiş olabilmektedir.

Sülfat minerali olduğu belirlenen alanda elemental EDX analizi yapılmıştır (Foto 4c). EDX analizi sonucunda Oksijen %54,13, sodyum %24,67 ve sülfür elementi %21,20 oranında belirlenmiş ve sülfat minerali olduğu teyit edilmiştir.

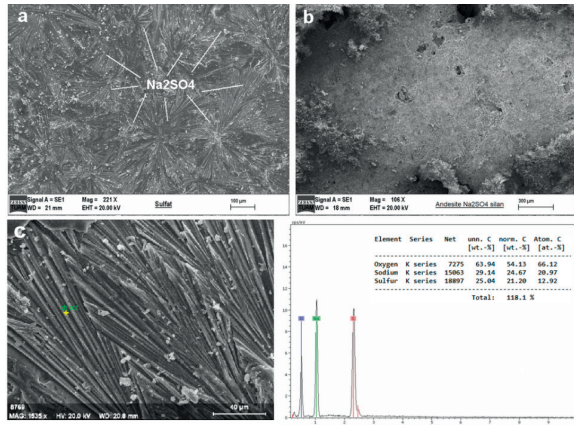


Foto 4. Tuz kristallenmesi deneyi sonrası andezit numunesi yüzeyinde oluşan sülfat kristallerinin görünümü (a), su itici kimyasal madde uygulanmış numunesinin yüzey görünümü (b) ve sülfat kristalinde belirlenen noktanın EDX elementel analiz sonucu

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal yapı taşlarının bozunmasında en önemli süreçlerden birisi tuz kristallenmesi olarak kabul edilmektedir. Yapıların bulunduğu zemindeki yer altı suları bazen çözünür tuzlar içerebilmektedir. Bu durumda kılcal su emme yoluyla bünyeye giren ve hareket ederek yükselen tuzlu sular, gözeneklerde birikerek kristallenir. Yapı taşlarının ömürlerinin uzatılması için bu suların malzeme içine girişinin önlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada andezitlerde tuz kristallenmesi nedeniyle oluşabilecek ayrışmayı belirlemek amacıyla sodyum sülfat çözeltisi kullanılarak, su itici kimyasal uygulanan ve uygulanmayan numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Tuz kristallenmesi nedeniyle özellikle tarihi yapılarda önemli tahribatlar meydana geldiği bilinmektedir. Oluşan tahribatlar restorasyon ve konservasyon yöntemleriyle bertaraf etmek amacıyla önemli çalışmalar yapmak gerekmektedir. Bu çalışmalar için tarihi yapılarda kullanılan yapı taşlarının fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra gözenek boyut dağılımı ve buna bağlı olarak su emme miktarının yanı sıra tuz kristallenmesine direncinin de bilinmesi gerekmektedir. Yapılan analiz ve deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Andezitin karakterizasyon testlerinde kimyasal, mineralojik ve petrografik analizler yapılmıştır. Buna göre andezitler, traki-andezit bileşimli olup

büyük oranda K-feldispat olarak ortoklas ve sanidin, plajiyoklas olarak da andezin mineralerinden meydana geldiği belirlenmiştir. Andezitin gözeneklerinin 0,01-10 µm arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Andezitin gözenek boyut dağılımı, çift doruklu (bimodal) olup birinci doruk 0,01 µm civarında iken ikinci doruk 3 µm civarında yoğunlaşmıştır.

15 çevrim tuz kristallenmesi deneyleri sonrasında, su itici kimyasal madde uygulanan ve uygulanmayan numunelerin kuru ağırlık değişimleri, ultrases dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımları incelenmiştir.

Su itici kimyasal madde uygulanmamış normal numunelerde %0,3695 kuru kütle kaybı, su itici kimyasal madde uygulanmış numunelerde ise %0,186 kütle artışı ölçülmüştür. Bu durumda su itici kimyasal madde uygulanması durumunda andezitlerin kuru ağırlık kayıplarının azaltılabileceği belirlenmiştir.

Su itici kimyasal madde uygulanmamış normal numunelerde ultrases dalga hızları 4,15 ve 4,16 km/s olarak ölçülmüştür. 15 çevrim sonrasında P dalgası hızlarında normal andezitlerde %1,56, su itici kimyasal uygulanmış andezitlerde ise %2,17 oranında artış belirlenmiştir. Bu da andezitlerin çok fazla ayrışmadığının ve ultrases dalga hızının azalmasını sağlayan gözenek ve çatlakların tuz kristalleri veya kimyasal madde ile dolduğunun bir göstergesidir. Ayrıca kuru kütle ağırlık değişiminin %1'in altında kalması ile de uyumludur.

Su itici kimyasal madde uygulanmamış normal numunelerde, sodyum sülfat çözeltisinde 15 çevrim sonunda ölçülen tek eksenli basınç dayanımı değerleri 70 N/mm², su itici kimyasal madde uygulanmış numunelerde ise 92 N/mm² olarak belirlenmiştir. Tuz kristallenmesi deneyinde, 15 çevrim sonunda taze numunelerin basınç dayanımı değerlerinde %32, su itici kimyasal uygulanmış numunelerde ise %37 azalma ölçülmüştür.

Yapılarda su emme ve tuz kristallenmesi kaynaklı bozulmaların önlenmesi 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 kontrol altına alınması, aynı zamanda tuz kristallenmesinden dolayı oluşacak tahribatların da azaltılmasını sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince 17.MYO.02 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Akbulut, H., Gürer, C., Yıldız, A., 2006. İncehisar Andezitlerinin Yol Üst Yapı Kırmataşı Olarak Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Türkiye IV. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 183.

Amoroso, G. G., Fassina, V. 1983. Stone Decay and Conservation – Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1453.

Angeli, M., Benavente, D., Bigas, J. P., Menendez, B., Hebert, R., David, C., 2008. Modification of the Porous Network by Salt Crystallization in Experimentally Weathered Sedimentary Stones. Materials and Structures, 41, 1091–1108.

Angeli, M., Hébert, R., Menéndez, B., David, C., Bigas, J.P., 2010. Influence of Temperature and Salt Concentration on the Salt Weathering of a Sedimentary Stone with Sodium Sulphate. Engineering Geology, 115, 193–199.

ASTM D 5550-06., 2005. Gaz Piknometresiyle Özgül Kütle Tayini (Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer).

Beck, K., Al-Mukhtar, M., 2010. Evaluation of the Compatibility of Building Limestones From Salt Crystallization Experiments. Geological Society, London, Special Publications, 333, 111-118.

Benavente, D., Garcia del Cura, M. A., Fort, R., Ordonez, S., 1999. Thermodynamic Modelling of Changes Induced by Salt Pressure Crystallization in Porous Media of Stone. Journal of Crystal Growth, 204, 168-178.

Ca'rdenes, V., Mateos. F. J., Fernádez-Lorenzo, S., 2014. Analysis of the Correlations between Freeze–Thaw and Salt Crystallization Tests. Environ Earth Sci, 71, 1123–1134.

Doehne, E., 1994. In Situ Dynamics of Sodium Sulfate Hydration and Dehydration in Stone Pores: Observations at High Magnification Using the Environmental Scanning Electron Microscope.

Erdoğan, Y., Yaşar, E., Güneşli, H. 2008. Doğal Yapı Taşlarının Isı-Ses Yalıtımı ile Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. IX. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 340-350, İzmir.

Fassina, O. A. Z., editor, The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, (Venice, Italy): 143-150.

Flatt, R. J., 2002. Salt Damage in Porous Materials: How High Supersaturations are Generated. Journal of Crystal Growth, 242, 435–454.

Guruprasad, B., Ragupathy, A., Badrinarayanan, T.S., Rajkumar, K.B., 2012. The Stress Impact on Mechanical Properties of Rocks in Hydro Fracturing Technique. Int J Eng Sci Tech (IJEST), 4 (2), 571-580.

Ioannou, I., Hoff, W. D., 2008. Water Repellent Influence on Salt Crystallisation in Masonry. Proc. ICE Constr. Mater, 161, 17–23.

Kılıç, İ., Gültekin, A. H., 2009. Effects of Surface Protection Resin on Water Absorption and Strength of Sandstone. 5th International Advanced Technologies Symposium, Karabuk University, 2196-2199.

Klopfer, H., 1985. Feuchte. In: Lutz P et al (eds) Lehrbuch der Bauphysik. Teubner, Stuttgart, 329–472.

Kuşcu, M., Yıldız, A., Bağcı, M., 2003. Investigation of Ağın Andesite as a Building Stone (İncehisar-Afyon, W-Turkey). International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones, 243-253, İstanbul, Turkey.

Kuşcu, M., Bağcı, M., Yıldız, A., 2006. Konarı (İncehisar-Afyon) Traki-Andezitlerinin Yapıtaşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. MERSEM 2006' Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 281-290.

Le Bas M. J., Le Maitre R. W., Woolley A. R., 1992. The Construction of the Total Alkali-Silica Chemical Classification of Volcanic Rocks. Miner. Petrol, 46, 1-22.

Licchelli, M., Malagodi, M., Weththimuni, M. L., Zanchi, C., 2013. Water-repellent Properties of Fluoro Elastomers on a Very Porous Stone. Effect of the application procedure. Progress in Organic Coatings, 76, 495–503.

MTA, 2017. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/yapi-taslari>

Pérez, N. A., Lima, E., Bosch, P., Méndez-Vivar, J., 2014. Consolidating Materials for the Volcanic Tuff in Western Mexico. *Journal of Cultural Heritage*, 15, 352–358.

Pinna, D., Salvadori, B., Porcinai, S., 2011. Evaluation of the Application Conditions of Artificial Protection Treatments on Salt-Laden Limestones and Marble. *Constr Build Mater*, 25, 2723-2732.

Ruiz-Agudo, E., Mees, F., Jacobs, P., Rodriguez Navarro, C., 2007. The Role of Saline Solution Properties on Porous Limestone Salt Weathering by Magnesium and Sodium Sulfates. *Environ Geol*, 52, 269–281.

Shahidzadeh-Bonn, N., Desarnaud, J., Bertrand, F., Chateau, X., Bonn, D., 2010. Damage in Porous Media due to Salt Crystallization, *Physical Review*, E 81, 066110.

Siegesmund S., Dürrast H., 2011. Physical and Mechanical Properties of Rocks. In: *Stone in Architecture*, 4th edition, Siegesmund S., Snethlage R. eds., Berlin: Springer, 97–225,

Sperling, C. H. B., Cooke, R.U., 1985. Laboratory Simulation of Rock Weathering by Salt Crystallisation and Hydration Processes in Hot, Arid Environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, 541-555.

Thomachot-Schneider, C., Gommeaux, M., Fronteau, G., Oguchi, C.T., Eyssautier, S., Kartheuser, B., 2011. A Comparison of the Properties and Salt Weathering Susceptibility of Natural and Reconstituted Stones of the Orval Abbey (Belgium). *Environ. Earth Sci*, 63, 1447-1461.

Tulliani, J. M., Serra, C. L., Sangermano, M. 2014. A Visible and Long-Wavelength Photocured Epoxy Coating for Stone Protection. *Journal of Cultural Heritage*, 15, 250–257.

TS EN 12370, 2001. Doğal Taşlar-Deney Metotları-Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini. TSE, Ankara, 8 s.

TS EN 1936, 2010. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Porozite Tayini. TSE, Ankara, 10 s.

TS EN 13755, 2014. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. TSE, Ankara, 10 s.

TS EN 14579, 2006. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini. TSE, Ankara, 14 s.

TS EN 1926, 2013. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini. TSE, Ankara, 19 s.

TS EN 12372, 2007. Doğal taşlar-Deney Yöntemleri-Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı Tayini. TSE, Ankara, 17 s.

Ünal, M., Özkan, İ., Kekeç, B., 2006. “Yapıtaşlarında Tuz Kristalleşmesine Bağlı Bozunmanın Ultrasonik Hız Ölçümleri ile Kestirimi. Mersem 2006, Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 431-437.

Vázquez, M. A., Galán, E., Ortiz, P., Ortiz, R., 2013. Digital Image Analysis and Edx Sem as Combined Techniques to Evaluate Salt Damp on Walls. *Construction and Building Materials*, 45, 95–105.

Winkler, E.M. 1996. Properties of Marble as Building Veneer – *International Journal of Rock Mechanics. Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 33, 215-218.

Yavuz, A.B., Kaputoglu, S.A., Çolak, M., Tanyu F.B. 2017. Durability Assessments of Rare Green Andesites Widely Used as Building Stones in Buca (Izmir), Turkey. *Environ Earth Sci*, 76, 211.

Zedef, V., Kocak, K., Doyen, A., Ozsen, H., Kekeç, B., 2007. Effect of Salt Crystallization on Stones of Historical Buildings and Monuments. Konya, Central Turkey. *Building and Environment*, 42, 1453-1457.