

Arif Emre Dursun  
Hakan Terzioğlu

Orijinal Araştırma / Original Research

**Prediction of Specific Energy Using P-Wave Velocity and Schmidt Hammer Hardness Values of Rocks Based on Laboratory Studies**  
*Laboratuvar Çalışmalarına Bağlı Olarak Kayaçların P-Dalga Hızı ve Schmidt Çekici Sertliği Değerleri Kullanılarak Özgül Enerjinin Tahmini*

Damla İzerdem  
Özgür Özcan

Orijinal Araştırma / Original Research

**Flowsheet Development Studies for Gold and Clay Containing Sulphide Ores**  
*Altın ve Kil İçeren Sülfürlü Mineraller İçin Akım Şeması Geliştirme Çalışmaları*

Mustafa Yavuz Çelik  
Ramazan Tıǧlı

Orijinal Araştırma / Original Research

**Afyonkarahisar Yöresinde Yapı Taşı Olarak Kullanılan Tüflerin Karakterizasyonu ve Tuz Kristallenmesine Dirençlerinin İncelenmesi**  
*The Characterisation and Investigation of the Salt Crystallization Resistance of Tuffs Used as Building Stones in Afyonkarahisar Region*

Gökhan Aydın  
Serkan Kaya  
İzzet Karakurt  
Furkan Yıldırım

Orijinal Araştırma / Original Research

**Aşındırıcı Sujetiyile Doğaltaş Kesmede Granit Atıklarının Aşındırıcı Olarak Değerlendirilmesi**  
*Evaluation of Granite Wastes as Abrasive in Natural Stone Cutting With Abrasive Waterjet*

Volkan Arslan

Orijinal Araştırma / Original Research

**Toplam Renk Farklılığı Parametresi Kullanılarak Bulanık Mantık Yöntemiyle İstatistiksel Kalite Kontrolü: Alüminyum Üretim Tesisinde Bir Uygulama**  
*Statistical Quality Control With Fuzzy Logic Method Using Total Color Difference Parameter: An Application in Aluminum Production Plant*

İlter Kilerci  
Aytaç Başsüllü  
Burak Önder  
Onur İpek

Orijinal Araştırma / Original Research

**Trapez Kesitli Rijit Çelik Tahkimatlarda Kullanılan Çelik Profillerin Yüke Uygun Şekilde Seçiminin Sonlu Elemanlar Metodu Destekli Olarak İncelenmesi**  
*Finite-Elements Method Aided Examination of the Selection of Steel Profiles in Accordance with the Rock Mass Used in Trapezoidal Cross-Sectioned Roadway Support*



**BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ**  
***Scientific Mining Journal***

Cilt / Vol: 58, Sayı / No: 3, Eylül / September, 2019

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın hakemli dergisidir.  
*A peer-reviewed quarterly journal of the Chamber of Mining Engineers of Turkey*

**Baş Editor / Editor-in-Chief**

Dr. Nejat Tamzok, Türkiye Kömür İşletmeleri / *Turkish Coal Enterprises*

**Editörler / Editors**

Dr. Bülent Toka, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü / *General Directorate of Mineral Research and Exploration*

Dr. İlkay Bengü Can, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Dr. Nuray Demirel, Orta Doğu Teknik Üniversitesi / *Middle East Technical University*

Dr. Mehtap Gülsün Kılıç, Dicle Üniversitesi / *Dicle University*

**Editör Yardımcıları / Editor Assistants**

Dr. Mustafa Erkayaoğlu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi / *Middle East Technical University*

Ercan Polat, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / *Muğla Sıtkı Koçman University*

## BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ

### *Scientific Mining Journal*

Bilimsel MADENCİLİK Dergisi makale dizin ve özetlerinin yer aldığı veri tabanları:

*Scientific MINING Journal is indexed or abstracted in:*

SCOPUS

Google Scholar

ULAKBİM TR Dizin

GeoRef

OpenAIRE

Makale Yazım Kuralları, Yayın Danışma Kurulu, Hakem Değerlendirme Süreci ve Hakem Listelerine <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir.

*Author Instructions, Editorial Advisory Board, the Peer Review Process and Reviewer Lists can be accessed from <http://www.mining.org.tr>*

### **Etik Kurallar / Publication Ethics**

Dergiye gönderilecek çalışmalarda, araştırma ve yayın etiğine uyulması tartışmasız bir ön koşul olarak kabul edilmektedir. Yayın Etik Kurallarına <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir.

*Complying with the research and publication ethics is considered an indisputable precondition to be published. Publication Ethics can be accessed from <http://www.mining.org.tr>*

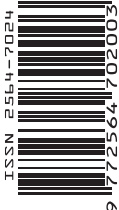
BİLİMSEL  
**MADENCİLİK**  
SCIENTIFIC MINING JOURNAL **DERGİSİ**

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını / The Publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey

**EYLÜL** **CİLT** **SAYI**  
*SEPTEMBER* *VOLUME* *NUMBER*  
2019 58 3

**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

- Arif Emre Dursun 173 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
Hakan Terzioğlu **Prediction of Specific Energy Using P-Wave Velocity and Schmidt Hammer Hardness Values of Rocks Based on Laboratory Studies**  
*Laboratuvar Çalışmalarına Bağlı Olarak Kayaçların P-Dalga Hızı ve Schmidt Çekici Sertliği Değerleri Kullanılarak Özgül Enerjinin Tahmini*
- Damla İzerdem 189 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
Özgür Özcan **Flowsheet Development Studies for Gold and Clay Containing Sulphide Ores**  
*Altın ve Kil İçeren Sülfürlü Mineraller İçin Akım Şeması Geliştirme Çalışmaları*
- Mustafa Yavuz Çelik 197 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
Ramazan Tıgılı **Afyonkarahisar Yöresinde Yapı Taşı Olarak Kullanılan Tüflerin Karakterizasyonu ve Tuz Kristallenmesine Dirençlerinin İncelenmesi**  
*The Characterisation and Investigation of the Salt Crystallization Resistance of Tuffs Used as Building Stones in Afyonkarahisar Region*
- Gökhan Aydın 211 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
Serkan Kaya **Aşındırıcı Sujetiyle Doğaltaş Kesmede Granit Atıklarının Aşındırıcı Olarak Değerlendirilmesi**  
İzzet Karakurt *Evaluation of Granite Wastes as Abrasive in Natural Stone Cutting With Abrasive Waterjet*  
Furkan Yıldırım
- Volkan Arslan 219 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**Toplam Renk Farklılığı Parametresi Kullanılarak Bulanık Mantık Yöntemiyle İstatistiksel Kalite Kontrolü: Alüminyum Üretim Tesisinde Bir Uygulama**  
*Statistical Quality Control With Fuzzy Logic Method Using Total Color Difference Parameter: An Application in Aluminum Production Plant*
- İlter Kilerci 229 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
Aytaç Başsüllü **Trapez Kesitli Rijit Çelik Tahkimatlarda Kullanılan Çelik Profillerin Yüke Uygun Şekilde Seçiminin Sonlu Elemanlar Metodu Destekli Olarak İncelenmesi**  
Burak Önder *Finite-Elements Method Aided Examination of the Selection of Steel Profiles in Accordance with the Rock Mass Used in Trapezoidal Cross-Sectioned Roadway Support*  
Onur İpek







Orijinal Araştırma / Original Research

## AFYONKARAHİSAR YÖRESİNDE YAPI TAŞI OLARAK KULLANILAN TÜFLERİN KARAKTERİZASYONU VE TUZ KRİSTALLENMESİNE DİRENÇLERİNİN İNCELENMESİ

THE CHARACTERISATION AND INVESTIGATION OF THE SALT CRYSTALLIZATION RESISTANCE OF TUFFS USED AS BUILDING STONES IN AFYONKARAHİSAR REGION

Mustafa Yavuz Çelik<sup>a,\*</sup>, Ramazan Tıǧlı<sup>b,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapı Taşları Programı, Afyonkarahisar, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Maden Mühendisi, Serbest, Antalya, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 24 Ağustos / August 2018

Kabul Tarihi / Accepted : 26 Haziran / June 2019

### Anahtar Sözcükler:

Yapı taşları,  
Tuf,  
Karakterizasyon,  
Tuz kristalizasyonu,  
Gözeneklilik,  
Ağırlık kaybı.

### Keywords:

Building stone,  
Tuff,  
Characterisation,  
Salt crystallization,  
Porosity,  
Weight loss.

### ÖZ

Bu çalışmada, Afyonkarahisar civarında yapı taşı olarak kullanılan Ayazini ve Seydiler tüflerine bir dizi karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Söz konusu kayaların petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, XRD), kimyasal analiz, gözenek çapı dağılımı ve fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Doğal yapı taşlarının ayrışmasında su önemli bir faktördür. Suyla beraber taşınan tuz çözeltileri, kılcal çatlaklar yoluyla yapıtaşları içinde hareket ederler ve buharlaşma sonucunda çatlak ve boşluklarda tuz kristalleri oluşur. Bu oluşumlar, kayaların bozunmasına neden olmaktadır. Deneye tabi tutulan kayaların tuz kristallenmesine dirençlerini belirlemek amacıyla sodyum sülfat dekahidrat çözeltisiyle deneysel çalışmalar yapılmıştır. Tüflerin tuz kristalleşmesine bağlı bozunma özellikleri ağırlık kaybı hesaplaması, tek eksenli basınç dayanımı ve ultrasonik hız ölçümleri ile belirlenmiştir. Gözenek miktarı daha fazla olan Ayazini tüflerinin ayrıştığı gözlemlenirken Seydiler tüflerinin tuz kristalleşmesine karşı daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

### ABSTRACT

In this research, a series of characterization studies were carried out on Ayazini and Seydiler tuffs which are used as building stones around Afyonkarahisar. Petrographic-mineralogical (polarizing microscope, XRD), chemical analysis, porosity distribution and physico-mechanical properties of the mentioned rocks have been determined. Water is an important factor in the weathering of natural building stones. The salt solutions carried with the water move through the building blocks through capillary cracks and due to evaporation salt crystals form in the cracks and spaces. These formations cause the rocks to degrade. Experimental studies were conducted with sodium sulphate decahydrate solution in order to determine the resistance of the rocks to the salt crystallization. Disintegration properties of tuffs due to salt crystallization were determined by weight loss calculation, uniaxial compressive strength and ultrasonic velocity measurements. Seydiler tuffs have been determined to be more resistant to salt crystallization while Ayazini tuffs which have higher porosity amount are observed to be decomposed.

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

\*\* bramazant90@hotmail.com • <https://orcid.org/0000-0001-7558-7027>

## GİRİŞ

Tüfler, volkanizma sırasında patlamalarla püsküren genellikle 2 mm'den daha küçük boyuta sahip olan toz ve lav parçalarının, karalarda üst üste birikerek taşlaşmasıyla oluşan kor kırıntılı kayaçlardır (Karaman ve Kibici, 2008). Tüfler, piroklastik kayaçlar içerisinde tanımlanırlar. Tüfler bileşenlerine göre sınıflandırıldıklarında üç ana bileşeni vardır: cam bileşenler (pümis, cam), kristal bileşenler ve kayaç parçası (litik) (Schmid, 1981). Tüflerin bileşiminde yer alan feldispat, kuvars, biyotit, hornblend gibi fenokristallerin yanı sıra çeşitli kayaç kırıntıları ve pomza parçaları bağlayıcı bir matriks içerisinde yer alırlar (Kadir ve Karakaş, 2000). İyi pekişmemiş tüfler, zaman içerisinde bol gözenekli yapısı nedeniyle diğer doğal taşlara göre daha çabuk ayrışmaktadır. Afyonkarahisar'ın büyük bir bölümü volkanik tüflerle kaplıdır. "Frig Vadisi" olarak bilinen bölgede, tüf kayalar içerisinde oyulmuş yerleşim yerleri, tapınak, anıt ve kaya kiliseleri Frig döneminden günümüze kadar gelmiştir (Foto 1). Ayazini ve Seydiler tüfleri, antik çağlardan beri bölgede geleneksel yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayazini ve Seydiler bölgesinde günümüzde de çok sayıda taş ocağı bulunmaktadır (Foto 2).



Foto 1. Frig vadisinde tüflere oyulmuş yerleşim yerleri ve doğal anıtlar.



Foto 2. Ayazini (a) ve Seydiler (b) yöresinde tüf ocakları.

Selçuklu ve Osmanlı Dönemi yapıları ile tarihi dokunun yaşatıldığı ve Anadolu'daki Türk kültürünü

yansıtan önemli eserlerin yer aldığı illerden birisi de Afyonkarahisar'dır. Afyonkarahisar'da günümüze kadar gelebilen cami, medrese, köprü ve han gibi genel kullanıma açık tarihi yapıların yanı sıra, çeşme, hamam, bent ve su kemeri gibi su mimarisi yapıları da önemli bir yer tutmaktadır. Bu tarihi yapıların birçoğunda Ayazini ve Seydiler tüfleri kullanılmıştır (Foto 3) (Çelik ve Sel, 2008).



Foto 3. Afyonkarahisar'da çeşitli yapılarda kullanılan tüfler.

Doğal yapı taşları, sağlam ve dayanıklı olmaları nedeniyle kullanıldığı yerde yüzlerce yıl durabilitesini korumaktadır. Ancak, yapısal ve dokusal özelliklerine bağlı olarak bazı doğal yapıtaşları, atmosfer ve çevresel etkileşimler sonucu ayrışmaya başlamaktadırlar. Tüflerin dayanımı, bileşimde yer alan minerallere, boşluk miktarına, kimyasal bileşimine ve cam içeriğine göre değişmektedir (Çelik ve Tan, 2016).

Tüfler ocaktan çıkarıldığında bir miktar doğal nem içeriğinden dolayı kolay şekillendirilmektedir. Yapıtaşı olarak kullanılacak tüfler hemen kullanılmaz, işlendikten sonra açık havada kurumaya bırakılır ve bu süreçte sağlam kalanlar kullanılır. Boşluklu yapısından dolayı tüflerin, iklim koşulları ve yıprandırıcı atmosfer etkileri karşısında gösterdiği değişiklikler, tarihi yapılarda kullanılan tüflerde de sıklıkla gözlenmektedir. Bu değişiklikler, tüflerin tanelerinin ayrışarak parçalanması ve ana kütteden ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir (Çelik ve Tan, 2016).

Yapılarda kullanılan doğal taşlar, zemin veya yüzey suları ile karşılaştığında gözenek özelliklerine göre suyu bünyesine alma eğilimi gösterir. Su gerek tek başına gerekse diğer



çevresel etkenlerle beraber, yapı malzemeleri için önemli bir bozunma faktörüdür. Doğal yapı taşlarında ayrışmayı hızlandıran birçok kimyasal reaksiyonun da başlıca elemanı sudur. Doğal taşlar içinde suyun taşınması ve yer değiştirmesine yol açan mikro çatlak ve boşluklar; su emiliminin yanı sıra, kılcal su emme, organizmaların gelişimi, tuz taşınması ve kristalleşmesi gibi bozunmayı hızlandırıcı etkenleri ortaya çıkarabilir (Cueto, 2009; Vazquez vd., 2010).

Tuz kristallenmesi, potansiyel olarak kayaçlara en fazla zarar verici etkiye sahip olduğundan, bunların içinde en önemli olanıdır. Çözünabilir tuzlar, yapı ve anıtlarda parçalanmalara, yüzey dekorasyonlarının dökülmesine neden olan başlıca etkendirler. Doğal taşlar, bünyelerinde genel olarak suda çözünabilen tuzlar ihtiva ederler. Çözünür tuzlar, duvar malzemesinden (kum, tuğla, harç), topraktan veya havadaki gazlarının duvar yüzeyleriyle teması sonucunda ortaya çıkabilir (Öcal ve Dal, 2012).

Literatürde Ayazini ve Seydiler tüfleri ile ilgili çeşitli araştırmalara rastlanmakta olup; bu çalışmalar tüflerinin jeolojisi, çimento sanayiinde ve yapı taşı olarak kullanımı konularında yapılmıştır (Kavas ve Çelik, 2001; Kuşçu ve Yıldız, 2001; Demir vd., 2006; Çelik vd., 2014; Çelik ve Ergül, 2015).

Doğal yapı taşlarının tuz kristallenmesine dirençlerini konu alan birçok çalışma yapılmıştır. Araştırmacılar kumtaşı, tuf ve diğer gözenekli yapı taşlarının tuz kristallenmesine dirençlerini belirlemek için genellikle sodyum sülfat çözeltilerini kullanmışlardır (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).

Dal (2011), kireçtaşı ve mermer üzerinde doğal ortam koşullarında oluşabilecek gerçek tuz miktarını temsil etmek amacıyla %1 ve %3 oranlarında  $Na_2SO_4$  ve  $MgSO_4$  etkilerine maruz bırakılarak yapı taşının bozulma miktarı, bozulma şekli ve renk değişimi incelenmiştir. Sedimanter kayaçların (kireçtaşı) ağırlık kaybının metamorfik kayaçların (mermer) ağırlık kaybından daha fazla olduğunu tespit etmiştir.

Ünal ve Gündoğdu (2011), yapı malzemesi olarak kullanılan 6 farklı tufün tuz kristalleşmesine karşı dirençlerini, kuru ağırlık kaybı ve ultrasonik hız

ölçümleri yapılarak belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar, tüflerin dayanımlarının tuz kristalleşmesinden önemli derecede etkilendiğini belirlemişlerdir. Ünal vd., (2006), farklı oluşumlara sahip doğal yapı taşlarının tuz kristalleşmesine bağlı bozunma özellikleri ultrasonik hız ölçümleri ve ağırlık kaybı hesaplaması ile belirlemeye çalışmışlardır. Deneyler sonucunda andezitin en az bozunduğunu, Limra ve Altinekin traverteninin en fazla bozunduğunu belirlemişlerdir.

Gözenekli taşlarda yapısal performans, su emme ve tuzların rolünün doğru anlaşılması, kültürel mirasın korunmasında koruma prosedürleri ve stratejilerinin tasarımında, temel bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, yapı taşı olarak kullanılan yüksek gözenekli tüflerin fiziko-mekanik, kimyasal, mineralojik-petrografik ve gözenek özelliklerinin belirlenmesi de dahil olmak üzere seçilen taşlarda, karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, tuz kristallenmesine bağlı olarak tüflerin direncini değerlendirmek için deneyler yapılmıştır. Tüflerin tuz kristalleşmesine bağlı bozunma özellikleri ağırlık kaybı hesaplaması ve ultrasonik hız ölçümleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece, özellikle tarihi yapılarda meydana gelen tuz kristallenmesi ile yapı malzemesi ilişkisinin ortaya konulması temin edileceği gibi yörede yeni inşa edilecek yapılar için seçilecek malzemelerin tuz kristallenmesine dirençleri hususunda veri temin edilmiş olacaktır.

## 1. MALZEME VE YÖNTEM

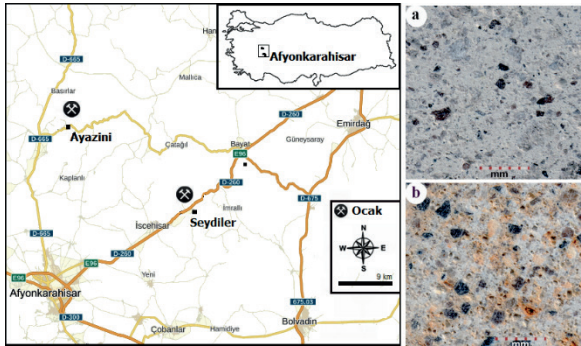
### 1.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan tuf numuneleri, Afyonkarahisar civarındaki ocaklardan temin edilmiştir. Söz konusu ocaklar aktif olup üretilen tüfler bölgede yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Afyonkarahisar-Ankara karayolu üzerinde bulunan Seydiler köyü ve Afyonkarahisar-Eskişehir karayolu civarında bulunan Ayazini yöresindeki ocaklardan tuf numuneleri temin edilmiştir. Bu tüfler beyaz, gri, krem, demirli oksitleşme sonucu gelişmiş sarımsı renkler sunarlar. Söz konusu numunelerin alındığı lokasyonları gösteren yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.

Tuz kristallenme deneylerinde Acros marka sodyum sülfat dekahidrat kullanılmıştır. TS EN 12370 standardına göre hazırlanan çözelti



%14'lük olup, 100 g çözeltide 14 g sodyum sülfat dekahidrat, 86 g saf su kullanılmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan yapı taşı numunelerinin alındığı ocakların lokasyon haritası ve tüflerin görünümü Ayazini tufü (a), Seydiler tufü (b).

## 1.2. Yöntem

Malzeme karakterizasyonu için numunelere kimyasal, mineralojik-petrografik (polarizan mikroskop, XRD, SEM) test ve analizler uygulanmıştır. Kimyasal analizler, Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ), Maden Mühendisliği bölümü Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazında 1'er adet numune üzerinde yapılmıştır. Petrografik incelemeleri için Ankara MTA'da ince kesitler (4'er adet) hazırlanmış ve polarizan mikroskop incelemeleri, Leica DM 2500P model polarizan mikroskop ile tane büyüklüğü, dokusu ve mineralojik bileşimi açısından incelenmiştir. XRD analizleri Çanakkale Seramik Fizik laboratuvarlarında Panalytical X-pert MRD (X-celerator dedektör) ile yapılmıştır. Numunelerin tuz kristalizasyonu deneyleri sonrası SEM analiz için numuneler karbonla kaplanmış ve AKÜ Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 V<sub>p</sub> model SEM cihazı ile incelemeler yapılarak resimleri çekilmiştir.

Deneylerde kullanılan yapı taşlarının yoğunluk, su emme, gözeneklilik, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı gibi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla fiziksel ve mekanik test/deneyler yapılmıştır. Bu deneyler, Çizelge 1'de belirtilen TS EN standartlarına göre yapılmıştır. Fiziko-mekanik deneylerde her bir tuf cinsi için 6'şar adet 70x70x70 mm, tuz kristalleşmesi deneylerinde ise 50x50x50 mm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

Çizelge 1. Fiziko mekanik testlerde kullanılan numuneler ve ilgili standartlar

Testler	İlgili standart
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	TS EN 1936
Ağırlıkça su emme (%)	TS EN 13755
Gözeneklilik (%)	TS EN 1936
Ultrasonik dalga hızı (km/s)	TS EN 14579
Basınç dayanımı (MPa)	TS EN 1926
Tuz kristal. direnç (%)	TS EN 12370

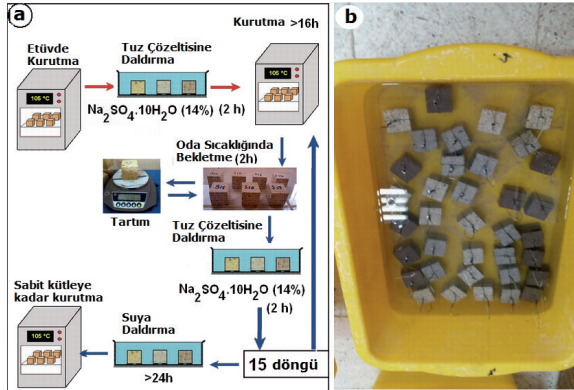
Tüflerin ultrases geçiş hızı ölçümleri TS EN 14579 standardına uygun olarak, AKÜ Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Proceq Pundit Lab marka ultrases test cihazı (P-dalgası) ile yapılmıştır (54 kHz). Deneyde kullanılan doğal yapı taşlarının su emme özelliklerine etki eden en önemli bileşenlerden birisi de gözenek çapı ve dağılımıdır. Bu amaçla, tuf numunelerinin gözenek dağılımları, AKÜ Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) cıvalı porozimetre Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazında belirlenmiştir. Deney şartları 480,00 erg/cm<sup>2</sup> vakum altında 140 °C kontak açısı şeklindedir.

### 1.2.1. Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Deneyleri

Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyleri TS EN 12370 standardına göre yapılmıştır. Bu çalışma AKÜ Maden Mühendisliği Bölümü Doğaltaş Laboratuvarı'nda %14'lük sodyum sülfat dekahidrat çözeltisi ile yapılmıştır. Tuz kristallenmesine direncin tayini deney prosedürü Şekil 2'de verilmiştir.

Deney için kenar uzunlukları 50±1 mm olan küp numuneler hazırlanmıştır. Çözeltinin yoğunluğu kullanımdan önce kontrol edilmiş ve çözelti her periyot için yeniden hazırlanmıştır. Numuneler önceden hazırlanmış bir kap içerisinde birbirleri arasında en az 10 mm ve kapla aralarında en az 20 mm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler, ıslatmak için (20±0,5) °C'da 2 saat çözelti içerisinde bırakılmıştır. Bekleme süresi sonrası numuneler çözeltiden alınmış ve bir etüvde kurutulmuştur. Etüv, kurutulmanın ilk anlarında yüksek bağıl nemlilik sağlayacak şekilde ve numunelerin

sıcaklığını 10 saatten az 15 saatten fazla olmayan bir süre içerisinde ( $105\pm 5$ ) °C'a yükseltecek şekilde düzenlenmiştir. Numuneler en az 16 saat süreyle etüvde bırakılmış ve yeniden soğuk sodyum sülfat çözeltisine daldırılmadan önce ( $2,0\pm 0,5$ ) saat oda sıcaklığına soğutulmuştur. İşlem numunenin dağılma parçalanma gibi durumları hariç 15 kez tekrar edilmiştir. Deney sonunda ağırlık kayıpları Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 2. Tuz kristallenmesine direncin tayini deney prosedürü akım şeması (a) ve numunelerin tuz çözeltisindeki görünümü (b).

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

Burada;

$\Delta M$ : Deney öncesi ve sonrası kütlelerdeki bağlı fark (kütle kaybı veya kütle artışı); %

$M_f$ : 15. işlemten sonra etiketle birlikte kuru deney numunesinin kütlesi; g

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

$M_d$ : Kuru deney numunesinin kütlesi; g

## 2. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 2.1. Kimyasal Analizler

Doğal yapı taşı olarak kullanılan ve bu çalışma kapsamında incelenen Ayazini ve Seydiler tüflerinin ana element oksit içerikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Tüflerin ana element oksit analizi sonuçlarına göre en büyük bileşen  $\text{SiO}_2$ 'dir. Ayazini ve Seydiler tüflerinin  $\text{SiO}_2$  oranı sırasıyla;

%72,30 ve 73,50 olarak belirlenmiştir. İkinci en büyük bileşen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  olup sırasıyla %13,60 ve 14,70'dür. Kimyasal analiz verilerine göre, tüflerin kökenini bulmak amacıyla Le Bas, vd. (1992) tarafından önerilen toplam alkali ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) ve silis ( $\text{SiO}_2$ ) diyagramı kullanılmıştır. Ayazini ve Seydiler tüflerinin Le Bas, vd. tarafından önerilen toplam alkali ve silis diyagramına göre; riyolitik bileşimli olduklarını göstermiştir (Şekil 3).

Çizelge 2. Ayazini ve Seydiler tüflerinin kimyasal analizleri

Kimyasal bileşim (%)	Ayazini Tüfü	Seydiler tüfü
$\text{SiO}_2$	72,30	73,50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13,60	14,70
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,43	0,52
MgO	0,12	0,11
CaO	1,02	0,85
$\text{Na}_2\text{O}$	2,29	3,78
$\text{K}_2\text{O}$	6,24	5,70
$\text{TiO}_2$	0,11	0,06
A.Z.	2,84	0,78
Top.	99,95	100,00

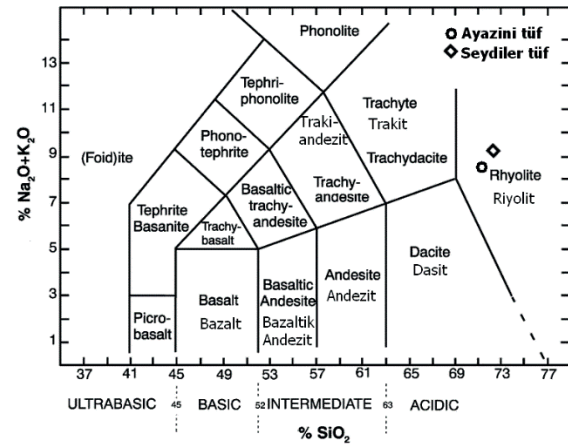
### 2.2. Petrografik ve Mineralojik Analizler

#### 2.2.1. Polarizan Mikroskop Analizi

Polarizan mikroskop altındaki incelemeler petrografik açıdan; tüflerin mineralojik bileşimlerinin ve dokusal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Petrografik tanımlama için iki farklı tüf numunesinden 4'er adet ince kesit hazırlanmıştır.

Ayazini tüflerinin ince kesit incelemeleri sonunda bu tüflerin vitrofirik, porfirik ve vesiküler dokulu oldukları tespit edilmiştir. Ayazini tüf numunelerinde volkan camı (pomza) parçaları yanı sıra değişen oranlarda kuvars, feldispat mineralleri gözlenmiştir. Feldispatlar genellikle plajiyoklas kristalleri halindedir. Plajiyoklas minerallerinde Carlsbad ve polisentetik ikizlenmeler karakteristiktir. Vitrik bileşenler, cam kıymıkları ve pomza parçaları şeklinde gözlenebilmektedir (Foto 4).

Seydiler tüflerinin ince kesit incelemelerinde yer yer volkan camından oluşan matriks içerisinde düzensiz dağılmış fenokristaller gözlenmiştir. Esas mineral olarak feldispat, kuvars ve hornblend mineralleri tespit edilmiştir. Tüfler genellikle kristal vitrik tüf olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3. Deneylerde kullanılan tüflerin Le Bas, vd. (1992) diyagramında (toplam alkali içeriğine karşı silis) sınıflandırılması.

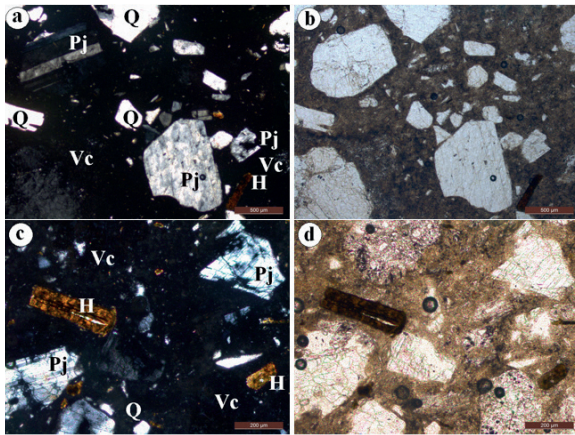
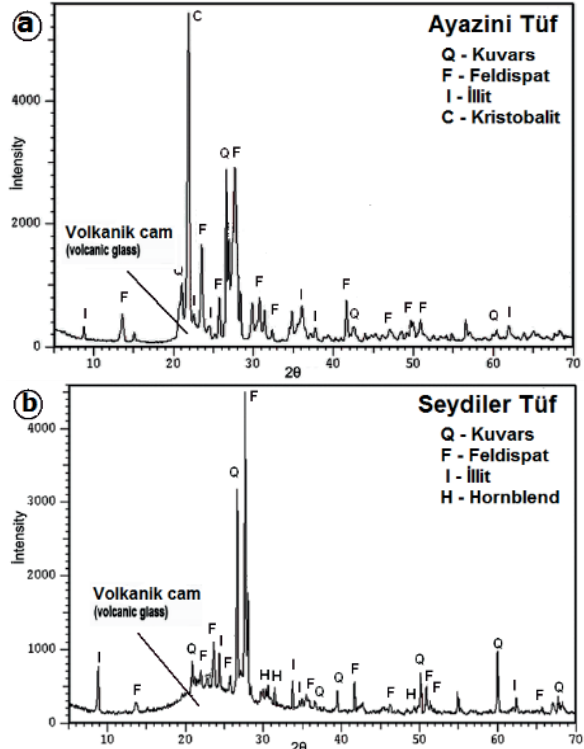


Foto 4. Ayazini ve Seydiler tüflerinin polarizan mikroskop görüntüleri, çift nikol (a, c), tek nikol (b, d). Plajiyoklas (Pj), kuvars(Q), hornblend (H), volkanik cam (pomza) (Vc).

### 2.2.2. XRD Analizi

İncelenen tüf örneklerinin XRD analiz sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. XRD analizi sonucunda tüflerde kuvars, feldispat, illit, hornblend ve kristobalıt mineralleri belirlenmiştir. Montmorillonit ve illit gibi kil minerallerinin varlığı volkanik cam bileşenlerin ve feldispatların yer yer bozuştugu

göstermektedir. XRD grafiğinde tüflerde  $2\theta=20^\circ$  ve  $2\theta=15^\circ$ den itibaren zeminin yükselmesi amorf malzeme (volkanik cam) varlığını desteklemektedir.



Şekil 4. Tüflerin XRD analizi sonucu piklerin görünümü, Ayazini tüfü (a), Seydiler tüfü (b).

### 2.3. Gözenek Boyutu Dağılımı

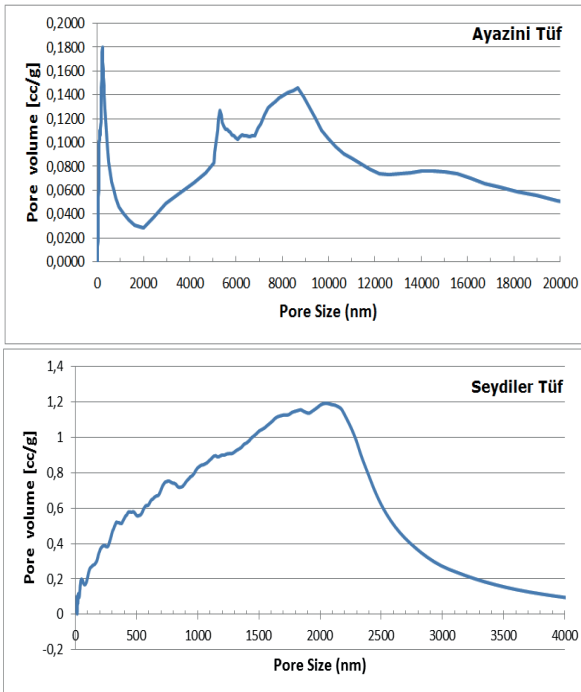
Doğal taşlarda su emme ve suyun hareketi, büyük ölçüde gözenek miktarı ve boyut dağılımına bağlıdır. Emilen su miktarı tuz kristalleşmesi, donma ve çözülme gibi olaylardan dolayı, doğal taşlarda önemli hasarlar meydana gelmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle dış mekanlarda kullanılacak doğal taşlarda bu olayların sebep olduğu hasarları belirleyebilmek için gözenek çapı ve dağılımını bilmek gerekmektedir. Gözenek çapı dağılımının belirlenmesinde, cıvalı porozimetre yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Klopfer (1985) tarafından gözenekler, boyutlarına göre şu şekilde sınıflandırılmıştır: mikro gözenek ( $<0,1 \mu\text{m}$ ), mezo gözenek (kılcal gözeneklilik) ( $0,1 \mu\text{m}-1 \text{mm}$ ) ve makro gözenek ( $>1 \text{mm}$ ). Kapiler (kılcal) su emme, pratik olarak çapları  $0,1 \mu\text{m}$  ve  $1 \text{mm}$  arasındaki gözeneklerle ilişkilidir. Kayaçların

gözenek çapları küçüldükçe kılcallık özelliği artar. Makro gözenekler ise çapı 1 mm'den büyük olup daha çok suyun malzeme içindeki hareketini sağlarlar (Siegesmund ve Dürrast 2011).

Ayazini ve Seydiler tüflerinin gözenek boyutu dağılımını belirlemek amacıyla cıvalı porozimetre deneyi yapılmıştır. Ayazini tüflerinin gözenek boyut dağılımları Şekil 5a'da verilmiştir. Ayazini tüfleri yaklaşık 10 nm (0,010 µm) ile 20.000 nm (20 µm) arasındaki gözenek boyutlarına sahiptir. Gözeneklerin boyutu, nanometreden mikrometreye kadar geniş ölçüde değişmektedir. Cıvalı porozimetre sonuçları, gözeneklerin çoğunun (>%80) 200.000 ile 10 nm arasında olduğunu göstermektedir.

Seydiler tüflerinin gözenek çapı dağılım grafiği Şekil 5b'de verilmiştir. Seydiler tüfleri, yaklaşık 10 nm (0,010 µm) ile 4.000 nm (4 µm) arasında gözenek boyutlarına sahiptir. Gözeneklerin büyüklüğü nanometreden mikrometreye kadar geniş çapta değişmektedir. Cıvalı porozimetre sonuçları, gözeneklerin çoğunun (>%80) 3.000 ile 10 nm arasında boyuta sahip olduğunu göstermektedir. Seydiler tüfleri, Ayazini tüflerine kıyasla daha küçük gözeneklidir.



Şekil 5. Tüflerin gözenek boyutu dağılımı, Ayazini tüfleri (a), Seydiler tüfleri (b).

## 2.4. Fiziko Mekanik Özellikler

Tüflerin ultrases dalga hızları ile yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri arasında pozitif yönlü ilişkiler, porozite ve kütlece su emme değerleri arasında negatif yönlü ilişkilerin varlığı bilinmektedir. Tüflerin dalga hızları değerlerinin artması ile tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk ağırlığı ve eğilme dayanımı değerleri lineer olma üzere doğru orantılı olarak artmakta, porozite ve kütlece su emme değerleri ise aynı şekilde azalmaktadır. Tüflerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz olmasında porozite miktarı önemli bir parametredir. Nitekim tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk ve eğilme dayanımı değerleri ile kütlece su emme değerleri porozite miktarına göre azalmakta veya artmaktadır (Çelik, 2017).

Doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri, kullanım yerlerinin saptanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla Ayazini ve Seydiler tüflerinin yoğunluk, su emme (ağırlıkça), gözeneklilik oranları, sismik hız değerleri, basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Fiziko-mekanik deneylerde elde edilen verilerin minimum, maksimum ve ortalamaları Çizelge 3'de verilmiştir. Kayaçların mekanik özelliklerinin gözeneklilik, su emme, yoğunluk gibi fiziksel özellikleri ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekli doğal taşlar genellikle daha dayanıksızdır. Test edilen doğal taşların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri arasında bazı ilişkiler olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre en düşük yoğunluk  $2380 \text{ kg/m}^3$  ile Ayazini tüflerinde ölçülmüş olup buna bağlı olarak yine en düşük ultrases dalga hızı ( $1,20 \text{ km/s}$ ) ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri ( $13,84 \text{ MPa}$ ) de bu taşta aittir. Sesin geçiş hızı taşın yoğunluğuna, gözenek özelliğine ve çatlaklı yapısına bağlı olarak değişmektedir. Taşın yoğunluğu düşük ve bünyesinde gözenekli yapı ve çatlaklar var ise sesin geçiş hızı da bunlara bağlı olarak düşük olmaktadır. Benzer şekilde en yüksek toplam gözeneklilik (%28,50) değerine sahip olan Ayazini tufünün, en yüksek su emme değerine (%15,44) ve en düşük tek eksenli basınç dayanımı değerlerine ( $13,84 \text{ MPa}$ ) sahip olduğu belirlenmiştir. Kayacın gözeneklilik değerlerinin yüksek olması kayacın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilerken su emme değerinin de



Çizelge 3. Tüflerin fiziko-mekanik özellikleri (Her bir deney için 6 numune kullanılmıştır).

Test	Ayazini Tüfü			Seydiler Tüfü		
	min	max	ort	min	max	ort
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	2150	2510	2380	2230	2560	2400
Ağırlıkça su emme (%)	14,89	16,39	15,44	3,12	4,10	3,58
Açık gözeneklilik (%)	26,19	27,55	26,70	6,04	10,47	7,27
Toplam gözeneklilik (%)	26,16	30,49	28,50	8,29	9,63	8,80
Ultras ses dalgası hızı (km/s)	1,02	1,36	1,20	1,79	2,01	1,95
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	9,53	20,86	13,84	50,91	69,29	60,47

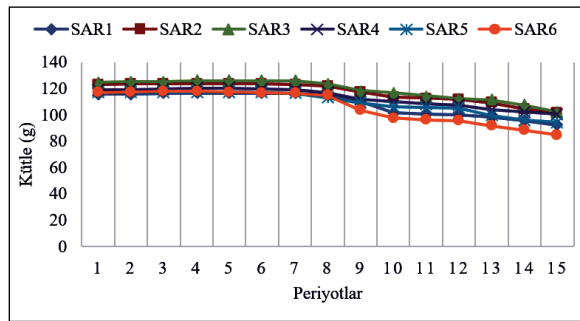
yüksek olmasına yol açmaktadır. Benzer şekilde, toplam gözenekliliği %8,80 olan Seydiler tüfünün basınç dayanımı 60,47 MPa iken ağırlıkça su emme değeri de %3,58 olarak bulunmuştur.

## 2.5. Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Deneyleri

### 2.5.1. Ayazini Tüfü Sodyum Sülfat Dekahidrat Deneyi

TS EN 12370'e göre yapılan tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi 5x5x5 cm küp şeklindeki Ayazini tüfü (SAR) örnekleri ile yapılmış olup on beş periyot boyunca kütle değişimi grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Ayazini tüfünün Sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde 1, 5, 10, ve 15. periyotlardaki görünümü Foto 5'de görülmektedir.

Sodyum sülfat dekahidrat deneyinde Ayazini tüfü numunelerinin 1, 5, 10, 15. periyotlarındaki kütle değerleri sırasıyla 119,17 g, 120,01 g, 107,36 g, 95,14 g olarak ölçülmüştür. Şekil 6 incelendiğinde, Ayazini tüfünün gözeneklilik değeri yüksek olduğu için ilk yedi periyotta tuz kristalleri gözeneklerde birikmiş bu sebepten dolayı ağırlıkta artış gözlenmiştir. 8. periyottan sonra kütle kayıpları oluşmaya başlamıştır. Bu durum tuz kristallenmesi nedeniyle Ayazini tüfünün ayrışmaya başladığı şeklinde ile izah edilebilir. İlk olarak yüzeyden dökülmeler şeklinde gelişen ayrışmalar daha sonra artarak devam etmiştir. İlk ağırlığı ortalaması 119,17 g olan Ayazini tüfü, 15. periyotun sonunda %25,26 ağırlık kaybına uğramıştır. 15. periyotun sonunda Ayazini tüflerinin düzgün geometrik şekilleri bozulmuş ve kenar-köşe detayları kaybolmuştur.



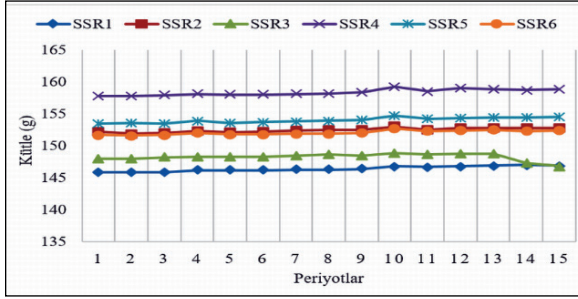
Şekil 6. Ayazini tüfü numunelerinin tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde kütle değişim grafiği.



Foto 5. Sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde 1, 5, 10, ve 15. periyotlardaki Ayazini tüfü numunelerinin görünümü.

### 2.5.2. Seydiler Tüfü, Sodyum Sülfat Dekahidrat Deneyi

Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi 5x5x5 cm küp şeklindeki Seydiler tüfü (SSR) örnekleri ile yapılmış olup on beş periyot boyunca kütle değişimi grafiği Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Seydiler tüf örneklerinin tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinde kütle değişim grafiği.

Seydiler tüfünün Sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde 1, 5, 10, ve 15. periyotlardaki görünümü Foto 6'da görülmektedir. Sodyum sülfat dekahidrat deneyinde Seydiler tüfü numunelerinin 1, 5, 10, 15 periyotlarındaki ortalama kütle değerleri sırasıyla 151,51 g, 151,64 g, 152,53 g ve 152,06 g'dir. Seydiler tüfünün gözeneklilik değeri %7,27 iken Ayazini tüfünün %26,70'dir. Bu özelliğinden dolayı Seydiler tüfünde ağırlık kaybı, 15 periyot boyunca yaşanmamış olup üstelik %0,36 ağırlık artışı kaydedilmiştir. Bu durum tüfün boşluk ve yüzeylerinde biriken tuz kristalleri ile açıklanabilir. Tüfün gözenek ve yüzeylerinde biriken sodyum sülfat tuzunun varlığı SEM analizi ile doğrulanmıştır. Gözenek çapı dağılımı da bunu desteklemektedir. Seydiler tüflerinin %80'i 3.000 ile 10 nm arasında iken Ayazini tüflerinin %80'i 200.000 ile 10 nm arasında gözenek çapı dağılımı göstermektedir. Seydiler tüflerinin gözenekleri daha küçük bir çap dağılıma sahiptir. Bu durumda Seydiler tüfü daha fazla tuz kristallenmesi döngüsüne maruz kalmadığı sürece 15 döngüde tuz kristallenmesine dayanıklı olduğu söylenebilir.

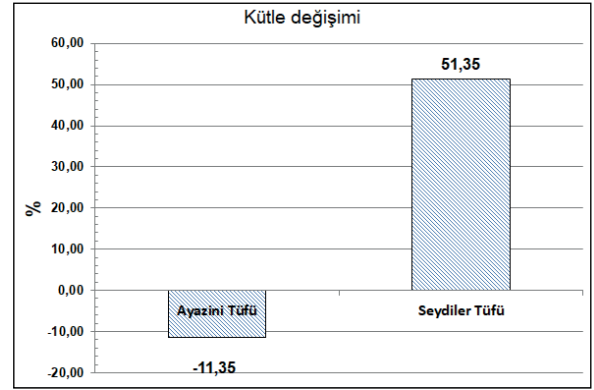


Foto 6. Sodyum sülfat dekahidrat çözeltisinde 1, 5, 10, ve 15. periyotlardaki Seydiler tüfünün görünümü.

## 2.6. Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Sonrası Tüflerde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi

Tuz kristallenmesine direncin tayini sonrası tüflerde meydana gelen değişiklikler, kütle değişimi, ultra ses geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı verileriyle incelenmiştir (Çizelge 4).

15 periyot sonunda Ayazini tüflerinin (SAR) aşınma oranının yüksekliği nedeniyle kübik yapıda şekil değişikliği oluşmuş geometrik düzgün yapı bozulmuştur. Bu nedenle ultra ses geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri ölçülemedi. Ayazini tüflerinde kütle kaybı değeri %11,35 oranında azalma olarak ölçülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Ayazini ve Seydiler tüflerinde kütle değişimi.

Seydiler tüflerinde ultra ses geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı verilerinin yükseldiği belirlenmiştir. Ultrases geçiş hızı değeri %51, tek eksenli basınç dayanımı değeri de %23 artış göstermiştir. Tuz kristallenmesi deneyinde, gözenekli yapıdan dolayı, boşlukların tuz kristalleri ile dolması ve ayrışmanın da henüz başlamamış olması, hem ultra ses geçiş hızı hem de tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin yükselmesine yol açmıştır. Aynı şekilde kütle artışı da %51,35 oranında gerçekleşmiştir.



Çizelge 4. Tuz kristallenmesine direncin tayini sonrası tüflerde meydana gelen değişiklikler

	Ayazini	Tüfü	Seydiler	Tüfü
	Orijinal numune	Sodyum Sülfat deneyi sonrası	Orijinal numune	Sodyum Sülfat deneyi sonrası
Kütle değişimi (%)	-	-11,35	-	51,35
Ultra ses geçiş hızı (km/s)	1,2	Ölçülemedi	1,95	2,95
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	13,84	Ölçülemedi	60,47	74,12

## 2.7. Tuz Kristallenmesi Etkisinin SEM ile İncelenmesi

Tuz kristallenmesi testinin ana hedefi, yapı taşlarının uzun süreli dayanımını öngörmek, her taş türünün bozunma ve bozunma özelliklerini incelemek ve tuzun ayrışma üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Deneyde kullanılan sodyum sülfat dekahidrat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), sıcaklık ve nem koşullarına bağlı olarak hem mirabilit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) hem de tenardit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) olarak kristallenebilir (Flatt, 2002; Benavente vd, 1999). Sodyum sülfat, yüksek nemli ortamlarda mirabilit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), düşük nemde tenardit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) oluşturmak üzere kristalleşir (Flatt, 2002). Mirabilitin dehidratasyonu ile de tenardit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 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 biridir (Doehne, 1994). Uygun koşullarda oluşursa anhidrat sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -tenardit) sulu çözeltisinde 10 mol su alarak mirabilit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) kristaline dönüşür. Kristalizasyon, bir katı maddenin boşluklarında meydana gelirse

genleşme nedeniyle boşluk çeperlerinde yaratacağı basınç hasar oluşturabilir. Sodyum sülfat için en uygun tenardit-mirabilit dönüşüm ortamı 30-33 °C %85 bağıl nem ortamıdır (Stark, 2002). SEM analizinde mirabilit kristalleri kısa prizmatik, agregatlar şeklinde, tenardit ise uzun yassı levhamsı şekilli kristaller halinde gözlemlenir.

Doğal yapı taşlarında nemin kaynağı genellikle kılcal etki ile yükselen zemin suyu veya temelde bulunan sabit bir su kaynağıdır. Bu su kaynağının çeşitli tuz bileşikleri içermesi halinde doğal taşlarda ayrıştırma etkisi daha fazla olacaktır. Bu ayrışmanın etkisini görebilmek amacıyla tuzlu suda tuf örneklerine tuz kristalleşmesi deneyi yapılmıştır. Tuz kristalleşmesi deneyi 15 periyot sonunda doğal taş yüzeylerinde ve gözeneklerinde oluşan birikinti tuz (sülfat bileşikleri) varlığı Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile araştırılmıştır. Tuf örneklerinde, sülfat kristallenmesini belirlemek üzere sülfat olduğu belirlenen tanelerde EDX analizi yapılmıştır. Ayazini tufünde belirlenen sülfat kristalleri ve elde edilen EDX grafiği Foto 7’de, Seydiler tufünün EDX grafiği Foto 8’de verilmiştir.

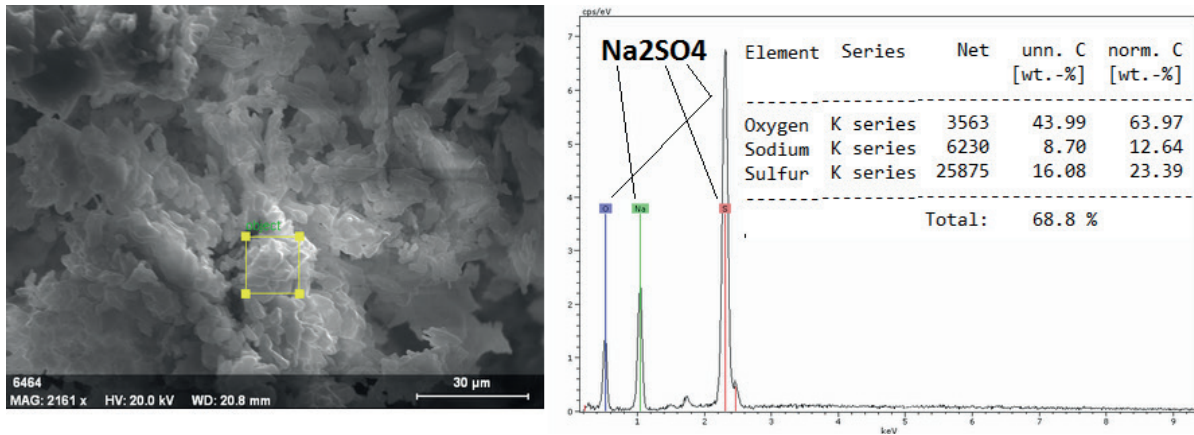


Foto 7. Ayazini tüflerinde gözlenen sülfat kristalleri (tenardit) ve elde edilen EDX grafiği

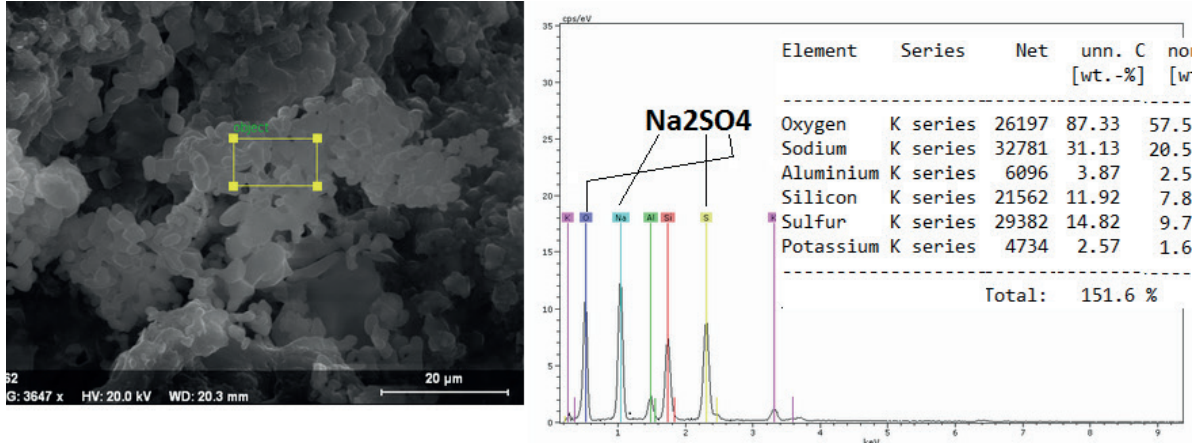


Foto 8. Seydiler tüflerinde belirlenen sülfat kristalleri (tenardit) ve elde edilen EDX grafiği

## SONUÇLAR

Tuzlu su, zeminden veya yüzeyden yapı taşları ile temas halinde olduğu zaman kılcal yollarla içeri girerek malzeme içerisinde yükselir. Suyun ve içerisinde çözülmüş halde bulunan tuzun zamana bağlı tahribatı malzemenin mukavemetini etkiler. Bu nedenden dolayı yapıtaşlarının gözenek oranı ve boyut dağılımı ve bunlara bağlı su emme miktarı önemlidir. Bu çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinde yapıtaşı olarak kullanılan Ayazini ve Seydiler tüflerinin kimyasal, mineralojik ve petrografik, fiziko-mekanik ve gözeneklilik özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerin yanında tuz kristallenmesine dayanım potansiyelleri değerlendirilmiştir. Yapılan analiz ve deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Polarizan mikroskop incelemelerinde; volkan camı (pomza) parçaları yanı sıra değişen oranlarda kuvars, feldispat mineralleri gözlenmiştir. Tüfler genellikle kristal vitrik tüf olarak tanımlanmıştır.

Tüflerin gözenek çapı dağılımı cıvalı porozimetre ile tespit edilmiş olup, Ayazini tüfleri 10 nm (0,010 µm)-20.000 nm (20 µm) arasında, Seydiler tüfleri 10 nm (0,010 µm) ile 4.000 nm (4 µm) arasında gözenek dağılımı gösterdiği belirlenmiştir.

Doğal yapı taşlarının kullanım alanlarının belirlenmesinde kullanılan en önemli parametreler fiziksel ve mekanik özelliklerdir. Bu çalışma kapsamında incelenen Ayazini ve Seydiler tüflerinin fiziksel ve mekanik özellikler arasında bazı ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Buna göre en düşük görünür yoğunluk 2380 kg/m<sup>3</sup> ile Ayazini

tüflerinde ölçülmüş olup buna bağlı olarak yine en düşük ultrases dalga hızı (1,20 km/s) ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri (13,84 MPa) de bu taş aittir. Ayazini tüfü %15,44 değeri ile en yüksek su emme değerine sahiptir. Bu durum en yüksek toplam gözeneklilik (%28,50) değerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek gözeneklilikten dolayı Ayazini tüfü, 13,84 MPa en düşük tek eksenli basınç dayanımı göstermektedir.

Fiziko-mekanik özelliklerin etkisi tuz kristallenmesi deneyinde de teyit edilmiştir. Seydiler tüfüne göre daha zayıf özelliklere sahip olan Ayazini tüfü çok daha fazla ayrışmaya maruz kalmıştır.

Ayazini tüflerinin tuz kristallenmesi deneyi sonrasında geometrik yapı bütünlüğü bozulmuştur. Bu durum tuz kristallenmesi nedeniyle oluşan ayrışma nedeniyle gerçekleşmiştir. Geometrik yapının bozulması nedeniyle ultra ses geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri ölçülemez. Seydiler tüflerinde ise ultrases geçiş hızı ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri yükselmiş olup artış miktarı sırasıyla %51 ve %23 olarak gerçekleşmiştir. Bu artışın nedeni Seydiler tüflerinin daha küçük çaplı gözeneklere sahip olması ve bu gözeneklerde tuz birikimlerinin olması şeklinde açıklanabilir. Söz konusu tuz kristallerinin varlığı her iki tüf cinsinde de SEM ve EDX yöntemleriyle belirlenmiştir.

Bazı durumlarda da zemin suları tuzlu bileşimde olabilir. Çevresel ve atmosfer etkilerine göre bu özellikte yağmur ve zemin suyuna sahip olan yörelerde özellikle tarihi yapıların büyük bir tehdit altında olduğu söylenebilir. Nitekim çoğu

yapılarda kullanılan doğal taşların bol gözenekli ve yüksek kılcal su emme potansiyeline sahip olması durumunda tuzlu bileşiklerden dolayı ayrışma ve yapısal tahribat kaçınılmaz olmaktadır. Özellikle tarihi yapılarda kullanılan doğal taşların fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra gözenek boyut dağılımı ve kılcal su emme miktarının yanı sıra tuz kristalleşmesine direncinin de bilinmesi gerekmektedir. Yapılarda su 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 azaltılması, dolayısıyla da tuz kristalleşmesinden dolayı oluşan tahribatların önlenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

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.

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.

Cueto, N., Benavente, D., Martínez-Martínez, J., Garcíadel-Cura, M.A., 2009. Rock Fabric, Pore Geometry and Mineralogy Effects on Water Transport In Fractured Dolostones, *Engineering Geology*, 107, 1-15.

Çelik, M.Y., Sel, H., 2008. Afyondaki Tarihi Çeşmelerde Doğal Taş Kullanımı ve Restorasyonu. *MERSEM 2008 Türkiye VI. Mermer Sempozyumu*, (Editör: M. Ersoy vd) Afyon, 39-58.

Çelik, M.Y., Ergül, A., 2015. The Influence of the Water

Saturation on the Strength of Volcanic Tuffs Used As Building Stones. *Environ Earth Sci*, 74:3223–3239.

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. *Environ Earth Sci*, 71:4247–4259.

Çelik, M.Y., Tan, G., 2016. Döğler (İhsaniye-Afyon) Tüflerinin Doğal Yapı Taşı Olarak Teknolojik Özellikleri ve Mevlevi (Türbe) Cami Restorasyonu. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 19(4):399-408.

Çelik, M.Y., 2017. Afyonkarahisar Yöresi Tüflerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Ultrases Dalga Hızı ile İlişkinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(4): 961-970.

Dal, M., 2011. Pınarhisar kalkerleri ve Marmara Beyazı Mermerinde Tuzların Yıkıcı Etkileri. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 47-56.

Demir, İ., Başpınar, M.S., Görhan, G., 2006. Afyonkarahisar – Ayazini Tüflerinin Mekanik Özellikleri ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliği. *MERSEM 2006 Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyon, 31-38.

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. 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.

Kadir, S., Karakaş, Z., 2000. Konya Miyosen Yaşlı Volkanik Birimlerin Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal İncelemesi ile Neoform Kil Mineral Oluşumlarının İrdelenmesi. *MTA Dergisi*.122, 95-106.

Karaman, M.E., Kibici, Y., 2008. *Temel Jeoloji Prensipleri*. Belen Yayıncılık ve Matbaacılık, Ankara, 335 sf.

Kuşçu, M., Yıldız, A., 2001. Ayazini Tüflerinin Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması., *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, Ed: Y. Kibici, İ.S. Büyüksağış, Afyon, 85-98.

Kavas, T., Çelik, M.Y., 2001. Ayazini (Afyon) Tüflerinin Çimento Sanayinde Tras Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Madencilik Dergisi*, 40(2), 39-46.

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.,

- Klopper, H., Feuchte. In: Lutz P et al (eds) Lehrbuch der Bauphysik. Teubner, Stuttgart, pp 329–472. 1985.
- Öcal, D.A., Dal, M., 2012. Doğal Taşlardaki Bozunmalar,. Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, İstanbul.
- 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.
- Siegesmund S., Dürrast H., 2011. Physical and Mechanical Properties of Rocks. In: Stone in Architecture, 4th Edition, Siegesmund S., Snethlage R. Eds., Berlin: Springer, pp. 97–225.
- Schmid, R., 1981. Descriptive Nomenclature and Classification of Pyroclastic Deposits and Fragments: Recommendations of the Lugs Subcommision on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology*, 9, 41-3. ISSN 1432-1149.
- 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.
- 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.
- Stark, D.C., 2002. Performance of Concrete in Sulfate Environments. RD129, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 28 pp.
- 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 12370, 2001. Doğal Taşlar-Deney Metotları-Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini. TSE, Ankara, 8 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.
- Ünal, M., Gündoğdu, N., 2011. The Effect of Salt Crystallization On Tuff Used as Building Material. *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 6(1) 41-49.
- 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.
- Vazquez, P., Alonso, F.J., Esbert, R.M., Ordaz, J., 2010. Ornamental Granites: Relationship Between P-Waves Velocity, Water Capillary Absorption and Crack Network. *Construction and Building Materials*, 24, 2536-2541.

