



Yerbilimleri, 2021, 42 (2), 179-198,10.17824/yerbilimleri.910036

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni

Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Sille Hamurda Kayasının Bozunma Davranışının Araştırılması

Investigation of Weathering Behaviour of Sille Bimrock

Elif AVŞAR¹


¹ Konya Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü D Blok Kat 3 Alaeddin Keykubad Kampüsü Selçuklu/Konya

Geliş (received):5 Nisan (April) 2020 Kabul (accepted) : 15 Mayıs (May) 2021

ÖZ

Bilindiği gibi hamurda kayalar blok ve matriks olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadırlar. Bu kayaların dayanım, deformasyon ve bozunma davranışının araştırılmasında hamurda kaya ile birlikte blok ve matriksin jeo-mekanik özelliklerinin ve bozunma karakteristiklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada hamurda kayanın donma-çözünme ve suda dağılmaya karşı duraylılık olmak üzere iki süreç açısından fiziksel bozunma davranışı araştırılmıştır. Buna ek olarak, bu tür bir kayanın yerinde ve dolayısıyla zaman açısından doğal sürecinde bozunması sonucu dayanımındaki azalma gözlenmiştir. Bu amaçla bozunmaya bağlı olarak dayanım azalmasının yerinde tayin edilmesi için Sille Antik Kenti'ndeki (Konya) kaya oyma yapılarının duvarlarında Schmidt çekici deneyleri uygulanmıştır. Laboratuvar ve arazi çalışmalarının tümünde hamurda kayayı oluşturan matriks ve blok bileşenleri ve hamurda kayanın kendisi ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca, laboratuvar ve arazi ölçeğinde bozunma sonucu hamurda kayada ve hamurda kaya kütlelerinde gerçekleşen fiziksel değişimler birbiriyle ve diğer volkanik/volkanoklastik kayalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, hamurda kaya ve matriksin suda dağılmaya karşı duraylılığının düşük olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, blokların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinin matriks ve hamurda kayanın suda dağılma indeks değerlerine oranla oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Donma-çözünme çevrimleri sonunda hem hamurda kayada hem de blok ve matrikste tek eksenli sıkışma dayanımının kritik biçimde

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.910036>

 E. AVŞAR, eavsar@ktun.edu.tr

Konya Tek. Üniv. Jeol. Müh. Böl. D Blok Kat 3 Alaeddin Keykubad Kampüsü Selçuklu/Konya ORCID 0000-0003-3203-6799

azaldığı belirlenmiştir. Blokların Schmidt geri sıçrama değerlerinin matrikse ait değerlerden daha yüksek olduğu ve kaya yapılarının dış duvarlarındaki geri sıçrama değerlerinin iç odaların duvarlarında ölçülenlerden belirgin biçimde düşük olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bozunma, donma-çözünme, hamurda kaya, antik kaya yapıları.

ABSTRACT

As is known, bimrocks are composed of two constituents, blocks and matrix. It is crucial to determine the geo-mechanical properties and weathering characteristics of bimrock, blocks and matrix, individually, while studying on the strength, deformation and weathering behaviour of these rocks. In this study, physical weathering behaviour of bimrock was investigated in terms of two processes such as freezing-thawing and slake durability. In addition, strength reduction because of weathering of such rock has been observed in situ and therefore in its natural process in terms of time. For this purpose, Schmidt hammer tests were applied on the walls of the rock-hewn structures in Sille Antique City (Konya) in order to determine the strength reduction due to the in-situ weathering. The matrix and block constituents that compose the bimrock and the bimrock itself were separately examined in all of the laboratory and field studies. In addition, physical changes in the bimrock and bimrock mass because of weathering were compared both for laboratory and field scale and with the weathering behaviour of other volcanic/volcanoclastic rocks. The results suggested that the bimrock and matrix have very low slake stability. On the other hand, it was determined that the slake durability index of the blocks is quite higher than the durability index of the matrix and the bimrock. It was revealed that the uniaxial compressive strength of the bimrock, block and matrix decrease critically when subjected to the freezing-thawing cycles. The Schmidt rebound values of the blocks are higher than values of matrix, and the rebound values on the outer walls of the rock structures are significantly lower than determined on the walls of the inner chambers.

Keywords: Antique rock-hewn structures, bimrock, freezing-thawing, weathering.

GİRİŞ

İnce taneli zayıf bir matriks içinde daha sağlam bloklar içeren pekişmiş volkanoklastik kayalar ve iri taneli piroklastik çökeller jeo-mühendislik tanımlaması açısından hamurda kaya (bimkaya) kütlelerinin tipik örnekleridir. Son dönemlerde, heterojen özellikler göstermesine ve örnek hazırlamaktaki güçlülere rağmen hamurda kaya, bimzemin ve zemin-kaya karışımları daha fazla sayıdaki araştırmayla (örn. Afifipour ve Moarefvand, 2014; Coli vd., 2011; Xu vd., 2011; Wang vd., 2016; Zhang vd., 2016; Avşar, 2020) değerlendirilmekte ve mühendislik

karakterizasyonunun yapılmasına çalışılmaktadır. Hamurda kayalara göre daha homojen özellikler gösteren tüflerin bozunma davranışının araştırıldığı çalışmalar daha fazla sayıdadır. Bu tür kayalara çok iyi bir örnek olan Kapadokya'daki tüflerin ve bu tüflerin içinde açılan antik ve güncel kaya oyma yapılarının duraylılığının ve bozunma karakteristiklerinin araştırıldığı çok sayıda çalışma (örn. Garcia-Vallés vd., 2003; Topal ve Doyuran, 1998; Deniz ve Topal, 2021; Ergüler, 2009; Aydan ve Ulusay, 2003) bulunmaktadır. Buna karşın, yapılan ayrıntılı literatür çalışmaları sonucunda, dünya genelinde hamurda kayaların bozunma davranışının özellikle hamurda kayayı oluşturan bileşenlerin (matriks ve bloklar) fiziksel bozunmasının ayrı ayrı araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Sille Mahallesi'nde (Konya) yüzeylenen piroklastik kayalar tipik bir pekişmiş volkanik hamurda kayadır. Bu çökeller ilk kez Avşar (2020) tarafından hamurda kaya olarak tanımlanmış ve hamurda kayaya ait jeo-mekanik özellikler açısından araştırılmıştır. Bu çalışmada ise Sille hamurda kayasının bozunma davranışı araştırılmıştır. Bununla birlikte, hamurda kayanın bozunmasının arazi ölçeğinde (yerinde) gözlenmesi amacıyla Sille Antik Kenti'ndeki kaya oyma yapılarındaki (Şekil 1) bozunma kontrollü yenilmeler ve duraysızlıklar da incelenmiştir. Bilindiği gibi, iklimsel koşullar kaya malzemelerinin bozunmasında önemli derecede etkiye sahiptirler. Kapadokya'daki tüfler ile bu tüfler içine oyulmuş olan antik yeraltı ve yamaç yerleşimlerinin duraylılığını araştıran Topal ve Doyuran (1997), Ergüler (2009) ve Kaşmer vd., (2013) tüflerin fiziksel bozunmasında donma-çözünme ve ıslanma-kuruma süreçlerinin etkili olduğunu ve tek eksenli sıkışma dayanımının önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, inceleme alanının da içinde bulunduğu Konya'da İç Anadolu Bölgesi'ne özgü karasal iklim hüküm sürmektedir. Kışlar soğuk ve kar yağışlı olduğundan bölgenin kış ayları boyunca karlar altında kalması söz konusudur. Bahar aylarında yağmurlar yoğunken, yaz dönemi kuru ve sıcak geçmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün arşivlerine ait resmi istatistiklere göre 1929-2020 yılları arasındaki dönem için Konya'da kaydedilen en düşük sıcaklık -28.2 °C ve en yüksek sıcaklık ise 40.6 °C olup, bu sıcak değişimlerinin donma-çözünme çevrimlerine neden olacağı belirlenmiştir. İklim koşulları dikkate alındığında, başta donma-çözünme olmak üzere suyun etkisiyle birlikte fiziksel bozunma süreçlerinin hamurda kayanın bozunmasında etkili olduğu düşünülmüştür.

Bu çalışmada, Sille hamurda kayasının laboratuvarında donma-çözünme süreçleriyle fiziksel bozunması, suda dağılmaya karşı duraylılığı ve Schmidt sertlik çekici deneyleriyle yerindeki (in-situ) jeo-mekanik durumunun ve bozunma sonucu dayanımdaki azalmanın araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Sille'deki hamurda kayalardan alınan örnekler üzerinde donma-çözünme ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, tarihi kaya oyma yapılarının iç ve dış duvarlarında Schmidt çekici deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aydan ve Ulusay

(2003) Kapadokya'daki kaya yapılarında ve Zorlu (2008) ise tarihi Olba (Mersin) şehrindeki yapılarda yapı taşı olarak kullanılan kayalarda bozunmanın etkilerini tayin etmek için Schmidt çekici deneylerini uygulamışlardır. Diğer çalışmalardan farklı olarak, çalışma kapsamındaki tüm deneyler hamurda kayayı oluşturan matriks, bloklar ve doğrudan hamurda kaya örnekleri üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve bozunma karakterizasyonunun yapılması amacıyla sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Sille'deki antik kaya oyma yapılarından biri olan Koimesis Tes Panagias Kilisesi ve atmosferik koşulların etkisiyle aşırı bozunmaya maruz kalan hamurda kayada meydana gelen parçalanma ve kopmalar.

Figure 1. One of the ancient rock-hewn structures "The Koimesis Tes Panagias Church" in Sille and the fragmentation and instability in the bimrock exposed to excessive weathering due to atmospheric conditions.

Antik kaya oyma yapılarının içinde açıldığı hamurda kayalar ve dolayısıyla antik kaya yapılarının büyük bir bölümü atmosferik koşullara açık olup, bu yapıların atmosferik etkiler nedeniyle özellikle fiziksel bozunmaya uğramaları söz konusudur. Yüzyıllar boyunca desteksiz olarak duraylılığını korumuş olan bu antik yapılarda, uzun bir süre boyunca yük altında olmaları, bozunmanın etkileri ve süreksizlikler nedeniyle yoğun biçimde duraysızlık sorunları gelişmektedir. Sille'deki tarihi kaya oyma yapılarında süreksizlik denetimli yenilmeler, tavandan kama tipi yenilme sonucu blok düşmesi, topuklarda makaslama yenilmesi, aşırı bozunma ve aşınmanın etkisiyle tavanlarda göçme (Şekil 1) gibi duraysızlıkların gerçekleştiği görülmüştür. Buna benzer duraysızlıkların Kapadokya bölgesindeki antik kaya yapılarında da gerçekleştiği önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Aydan ve Ulusay, 2003; Kaşmer ve Ulusay, 2013; Kaşmer vd., 2013). Kaşmer vd. (2013) Zelve Açık Hava Müzesi'ndeki tüflerin jeo-mühendislik özelliklerini ve bozunma karakteristiklerini, dik vadilerdeki topuk aşınma hızı ile aşınmanın duyarlılığa etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, Zelve tüflerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin doygun durumdayken önemli ölçüde azaldığını belirlemişlerdir. Kaşmer vd. (2013) tüflerdeki kavaklanmanın islanma-kuruma ve donma-çözünme süreçleri sonunda gözlendiğini ve özellikle donma-çözünmenin kayanın fiziksel bozunmasını daha da hızlandırdığını belirtmişlerdir. Sille'deki kaya yapıları yamaçlardaki kayaların içine oyulmuştur. Yağışlı dönemlerde yamacın tepe kısmından aşağıya süzülen sular nedeniyle bu yapıların içindeki birçok yerde su birikintilerinin oluştuğu görülmüştür. Bu durum antik kaya yapılarının doğrudan su ile etkileşim halinde olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada antik kayadan oyma yapılarında atmosferik koşulların etkisiyle gerçekleşen fiziksel bozunma nedeniyle dayanım kayıplarının neden olduğu duraysızlıklar ve yapıların duvarlarındaki ayrışmalar incelenmiş olup, yapısal denetimli duraysızlıklar çalışmanın kapsamına alınmamıştır.

ÖRNEKLEME ÇALIŞMALARI VE BİM KAYANIN TANITIMI

Arazi çalışmaları hamurda kaya kütlelerinin tanımlanması, örneklerin alınması, Schmidt sertlik çekici deneylerinin uygulanması ve tarihi kaya oyma yapılarındaki bozunma ile ilgili genel değerlendirmelerin yapılması aşamalarını içermektedir. Konya Selçuklu ilçesindeki Sille Mahallesi erken Hristiyanlık dönemine ait yaklaşık 1500 yıllık antik kayadan oyma yapılarının (Sille Antik Kenti) yanı sıra tarihi ev, kilise ve çeşmelerin de içinde bulunduğu bir yerleşim yeridir. Sille Mahallesi'nin büyük bir bölümü koruma altında olup, kentsel ve arkeolojik bir sit alanıdır. Bu nedenle, piroklastik kayalarda yapılan örnekleme çalışmaları Sille Antik Kenti civarındaki sit alanının dışındaki yerlerde gerçekleştirilmiştir. Örnekleme çalışmaları için piroklastik çökellerin yüzeylendiği yerlerden kaya blokları alınmıştır. Bunun dışında, Sille antik kentindeki kaya oyma yapılarındaki bozunmaya ilişkin gözlemsel incelemeler ve Schmidt çekici deneyleri için gerekli izinler alınmıştır.

Sille Mahallesi'nde yüzeyleyen pekişmiş hamurda kaya niteliğindeki bu piroklastik çökeller Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı bir volkanizmanın ürünleri olup, püskürtülen malzemelerin karasal ortamda çökmesi ve taşlaşmasıyla oluşmuşlardır (Özkan, 2017). Sille hamurda kayası olarak tanımlanan bu piroklastik çökeller özellikle antik kaya yapılarının olduğu yerlerde ve yakın çevresinde hamurda kaya özelliğinde olup, ince taneli bir matriks içinde farklı boyutlardaki blokları içermektedirler. Avşar (2019 ve 2020) tarafından yapılan çalışmalarda, Sille hamurda kayasının içerdiği blokların andezit, matriksin ise tuf olduğu belirlenmiştir. Andezitik blokların porfirik bir dokuya sahip oldukları ve plajiyoklaz, biyotit, kuvars fenokristalleri ve opak mineraller içerdikleri belirtilmiştir. Andezitlerin/Dazitlerin bağlayıcı malzemesi ise amorf volkan camından (vitrik tuf) oluşmaktadır. Bu çalışmada donma-çözünme deneyleri kapsamında çevrimlere maruz bırakılmayan bozunmamış 10 adet hamurda kaya karotu üzerinde UCS deneyleri uygulanmıştır. Örneklerin UCS değerlerinin 3.2 ile 7.8 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 1). Avşar (2020)'in elde ettiği sonuçlara göre Sille hamurda kayasının tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) 2.60 ile 8.14 MPa arasında değişmektedir. Avşar (2020) ve bu çalışmada belirlenen UCS değerleri dikkate alındığında, ISRM (1981)'nin önerdiği UCS sınıflamasına göre hamurda kaya

Çizelge 1. Hamurda kaya, bloklar ve matriksin tek eksenli sıkışma dayanımı ve Brazilian çekme dayanımına ait istatistiksel değerler.

Table 1. Statistical values of uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength of bimrock, matrix and blocks.

Hamurda kaya ve Bileşenleri	Özellik	Örnek sayısı	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart Sapma
Hamurda kaya	UCS (MPa)	10	3.2	7.8	5.2	1.44
Hamurda kaya	BÇD (MPa)	14	0.13	0.45	0.23	0.08
Matriks	UCS (MPa)	10	2.7	7.4	5.5	1.31
Matriks	BÇD (MPa)	14	0.38	0.92	0.62	0.17
Blok	UCS (MPa)	10	12.0	19.1	14.7	2.31
Blok	BÇD (MPa)	14	0.93	2.11	1.47	0.33

UCS: tek eksenli sıkışma dayanımı, BÇD: Brazilian çekme dayanımı

“çok zayıf kaya” veya “zayıf kaya” sınıfındadır. Hamurda kaya, matriks ve blokların Brazilian çekilme dayanımları (BÇD) da ayrı ayrı belirlenmiş ve sonuçlara ait istatistiksel değerler Çizelge 1'de sunulmuştur. Hamurda kayanın çekilme dayanımının oldukça düşük olduğu ve ortalama değerlere göre UCS değerlerinin BÇD'den 22 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Matriks ve blokların çekilme dayanımları da çok düşük değerlere sahip olmalarına rağmen, bu bileşenlerin dayanımı hamurda kayanınkinden biraz daha yüksektir.

Sille hamurda kayasının bozunma davranışını araştırmak amacıyla Antik Sille Kenti'nin güneybatısındaki 4 yerde örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Birim hacim ağırlık,

ağırlıkça su emme ve gözeneklilik bozunma davranışıyla doğrudan ilişkili olan fiziksel özelliklerin başında gelmektedirler (Koncagul ve Santi, 1999; Boving ve Grathwohl, 2001; Erguler ve Ulusay, 2009; Ergüler, 2009; Koca ve Kıncal, 2016). Tarihi yapıların dış yüzey kaplamasında kullanılan andezitleri inceleyen Fener ve İnce (2015) donma-çözünme çevrim sayısı ile gözeneklilik arasında pozitif doğrusal bir ilişkinin olduğunu belirlemişlerdir. Önceki çalışmalara ait sonuçlar da dikkate alınarak, Sille hamurda kayasının genel tanımlamasının yapılması açısından blok, matriks ve hamurda kaya örnekleri üzerinde kuru ve doymuş birim ağırlık (γ_{kuru} ve $\gamma_{doymuş}$), etkin gözeneklilik (n) ve ağırlıkça su emme (A_w) tayinleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin ve tayinlerin uygulanmasında ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel değerleri ve örnek sayılarıyla birlikte Çizelge 2’de sunulmuştur. Hamurda kayanın γ_{kuru} değerleri 15.5 ve 17.1 kN/m³ arasında değişmektedir ve ortalama γ_{kuru} ise 16.1 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Gözeneklilik ise %17.4 ve %27.2 arasında değişim göstermekte ve ortalama gözeneklilik ise %23.3’dür. Sonuçlara göre, Sille hamurda kayası yüksek gözeneklilik ve düşük kuru birim ağırlığa sahiptir. Hamurda kayanın içerdiği blokların, kuru birim ağırlığının matriks ve hamurda kayanınkinden daha yüksek olduğu, gözeneklilik ve ağırlıkça su emme değerlerinin ise daha düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). Matriks ve hamurda kayanın kuru yoğunluk, gözeneklilik ve ağırlıkça su emme değerlerinin birbirlerine yakın olduğu da saptanmıştır. HBO değerleri aşağıda anlatıldığı gibi belirlenmiştir.

Çizelge 2. Hamurda kaya, matriks ve blokların fiziksel özelliklerine ait istatistiksel değerler.

Table 2. Statistical values of the physical properties of bimrocks, matrix and blocks.

Hamurda kaya ve Bileşenleri	Özellik	Örnek sayısı	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart Sapma
Hamurda kaya	γ_{kuru} (kN/m ³)	15	15.5	17.1	16.1	0.39
	$\gamma_{doymuş}$ (kN/m ³)	15	18.1	18.8	18.3	0.23
	n (%)	15	17.4	27.2	23.3	2.36
	A_w (%)	15	9.9	17.2	14.3	1.72
Matriks	γ_{kuru} (kN/m ³)	19	16.1	17.7	16.7	0.41
	$\gamma_{doymuş}$ (kN/m ³)	19	18.1	18.8	18.5	0.21
	n (%)	19	10.1	23.3	18.12	3.98
	A_w (%)	19	5.6	14.1	10.7	2.54
Blok	γ_{kuru} (kN/m ³)	34	15.9	18.4	17.3	0.64
	$\gamma_{doymuş}$ (kN/m ³)	34	18.7	19.8	18.7	0.27
	n (%)	34	10.2	23.6	15.5	3.40
	A_w (%)	34	5.5	14.2	8.9	2.21

γ_{kuru} : kuru birim ağırlık, $\gamma_{doymuş}$: doymuş birim ağırlık, n : gözeneklilik, A_w : ağırlıkça su emme

Bilindiği gibi hacimsel blok oranı (HBO) hamurda kayaların dayanımını kontrol eden en önemli parametredir. Hamurda kayaların dayanım ve deformasyon davranışı konusunda çalışan bazı araştırmacılar (örn; Barbero vd., 2008; Kahraman ve Alber, 2016; Sönmez vd., 2016; Zhang vd., 2016; Avşar, 2020) HBO ile UCS arasındaki ilişkileri incelemişler ve bu iki parametre arasında anlamlı ilişkiler olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmada, Sille hamurda kayasının UCS değerlerinin donma-çözünme çevrimleri sonundaki değişiminin net bir şekilde gözlenebilmesi için deneylerde özdeş örneklerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Özellikle, UCS'yi doğrudan etkileyen HBO'nun etkisinin en aza düşürülmesi amacıyla HBO değerleri dar bir aralıkta değişen örnekler seçilmiştir. Çakıllar, süs taşları, kaya-zemin karışımları, hamurda kayalar, bimbaz ve kırıntılı çökellerin içerdiği blokların ve/veya tanelerin geometrisi ile alansal dağılımının pratik biçimde belirlenebilmesi için sayısal görüntü işleme analizleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Coli vd., 2012). Hamurda kayaların HBO değerlerinin tayini ya da kestirimi için kullanılan 2 boyutlu (2B) sayısal görüntü işleme analizlerinin güvenilir sonuçlar verdiği bilinmektedir (Haneberg, 2004; Sönmez vd., 2005; Kahraman vd., 2008; Coli vd., 2011; Avşar, 2020; Xu vd., 2011). Bu bilgiler doğrultusunda, Sille hamurda kayasından alınan karotların HBO değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla "ImageJ" programı yardımıyla 2B sayısal görüntü işleme analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda belirlenen alansal blok oranları hacimsel blok oranına eşit varsayılmış ve karotların HBO değerlerinin %26 ile %38 arasında değiştiği belirlenmiştir.

BOZUNMA DENEYLERİ VE YERİNDE SCHMIDT ÇEKİCİ TAYİNLERİ

Bu çalışmada pekişmiş hamurda kayaların bozunma davranışının araştırılması amacıyla donma-çözünme ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri yapılmıştır. Bu iki deneyin yanı sıra, bozunmadan dolayı dayanım azalmasının yerinde tayin edebilmek için Sille Antik Kenti'ndeki kaya oyma yapılarının duvarlarında Schmidt sertlik çekici deneyi uygulanmıştır.

Donma-Çözünme Deneyleri

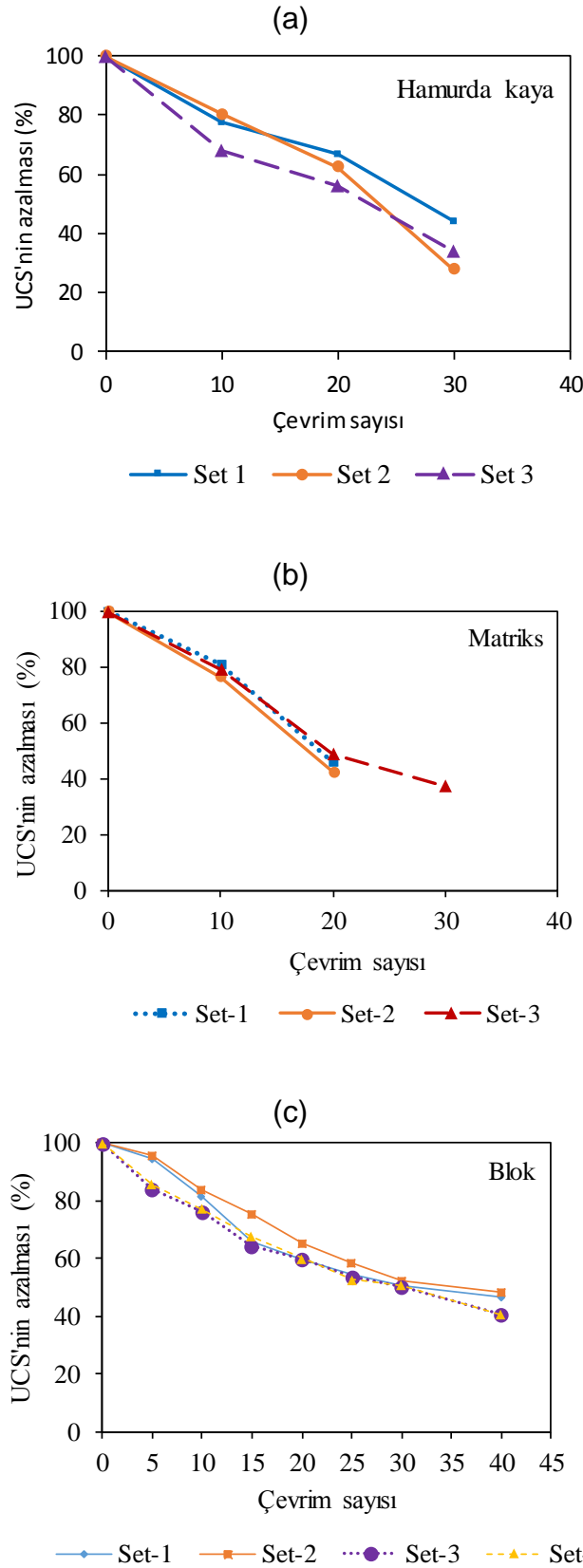
Kayalar atmosferik koşullar altında donma-çözünme ve ıslanma kuruma süreçlerine maruz kalabilmektedirler. Bu süreçlerin etkisiyle zamana bağlı olarak kayalarda aşınma, ayrışma ve/veya parçalanma gerçekleşmektedir. Suyun donmasıyla birlikte hacminin %9 oranında artış göstermesi kayaların parçalanmasındaki ana etkidir. Donma davranışı kaya malzemelerinde ve kapalı süreksizliklerde 200 MPa'a kadar gerilmeler yaratabilmektedir (Ollier, 1984; Ergüler, 2009). Kayanın çekilme dayanımını aşabilen bu gerilmelerin, yıl içerisinde iklimsel koşullara bağlı olarak tekrarlayan şekilde kaya kütlelerine uygulanması söz konusudur. Bu çalışmada Sille hamurda kayasının bozunma davranışının araştırılması amacıyla hamurda kayadan ve hamurda kayanın bileşenleri olan matriks ve bloklardan alınan karot örnekleri üzerinde donma-

çözünme deneyleri uygulanmıştır. Deneyler Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda ASTM-D5312 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bozunmamış ve donma-çözünme deneylerine tabi tutulmuş olan örnekler olmak üzere toplam 58 adet tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi uygulanmıştır. Deneylerde ASTM2938-95 tarafından önerilen yöntem esas alınmış ve deneyler sabit yükte en yüksek kapasitenin %0.005'i kadar hassasiyette çalışan 500 kN kapasiteli bir kaya presi kullanılarak yapılmıştır.

Hamurda kaya ve matrikste 3'er set ve bloklarda 4 set olmak üzere, toplam 7 set deney yapılmıştır. Tüm deneylerde 40. çevrime kadar donma-çözünme çevrimleri devam ettirilmiştir. Hamurda kaya ve matriks karot sayıları hamurda kayanınkinden daha az olduğundan, hamurda kaya ve matriks deneylerinde her 10 çevrimin sonunda, bloklarda ise her 5 çevrim sonunda UCS deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, hamurda kaya ve bileşenlerinin donma-çözünme süreçlerine maruz kalmaları sonucu dayanımdaki azalma tayin edilmiştir. Bu deneyler sonunda hamurda kaya, matriks ve bloklar için çizilen "Çevrim sayısına karşılık UCS'nin azalması (%)" grafikleri Şekil 2'de sunulmuştur. 40. çevrime ulaşıldığında matriks ve hamurda kaya karotlarının dağılması ve parçalanması nedeniyle UCS deneyleri yapılamamıştır. Matrikste yalnızca 1 sette ve hamurda kayadaki 3 sette 30. çevrime kadar deneyler sürdürülebilmiş ve UCS değerleri belirlenmiştir. Bloklara ait karotlar ise 40. donma-çözünme çevrimine kadar UCS deneylerine tabi tutulabilecek şekilde karot şeklini koruyabilmişlerdir. Donma-çözünme çevrimleri sonunda blok, matriks ve hamurda kaya karotlarına ait görüntüler Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 2'deki grafiklerden de görüldüğü gibi, başta matriks ve hamurda kayada olmak üzere tüm karotlarda bozunmayla birlikte UCS'nin çok kritik biçimde azaldığı belirlenmiştir.

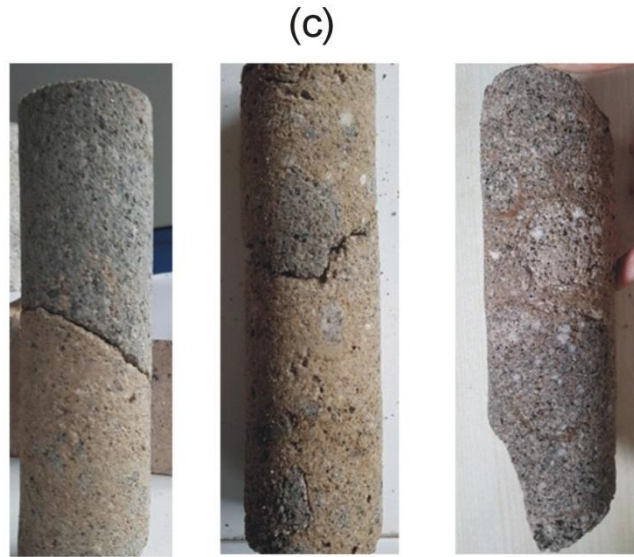
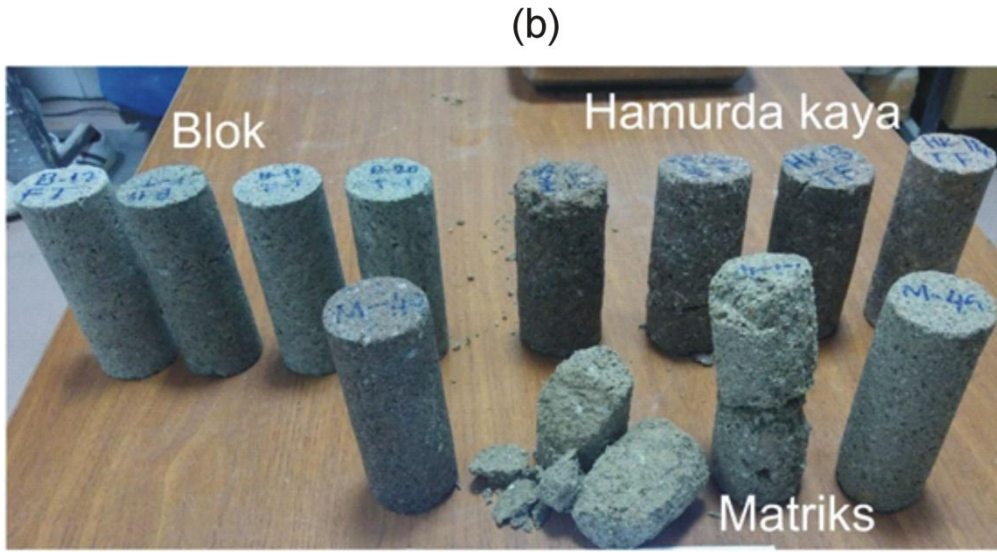
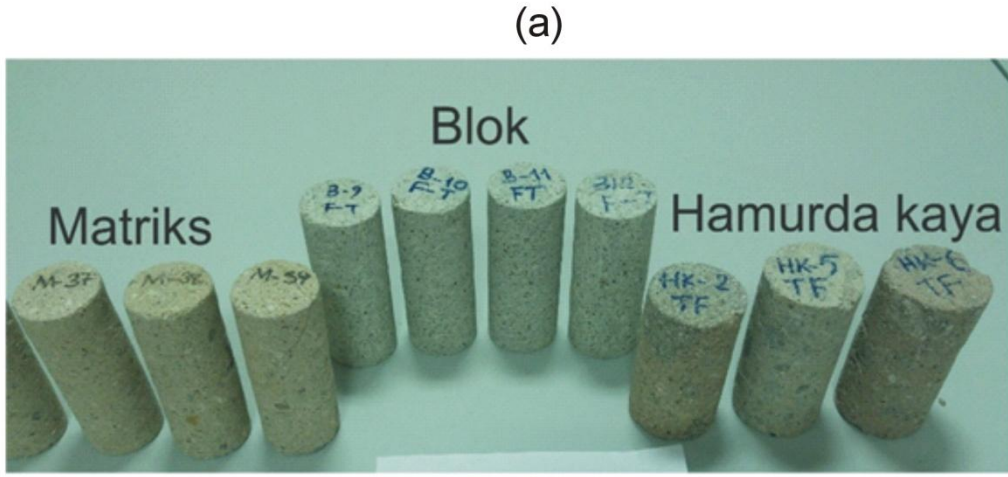
Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık Deneyleri

Başta kil içeren kayalar olmak üzere, birçok kaya malzemesi suda dağılmaya yatkındır. Franklin ve Chandra (1972), atmosferik koşullar nedeniyle gerçekleşen ve bozunma süreçlerinden biri olan suyun etkisiyle dağılmanın belirlenmesi amacıyla suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_d) deneyini önermişlerdir. Ancak, Gamble (1971) kayanın dağılmaya karşı duraylılığını değerlendirmek için, üç veya daha fazla sayıdaki çevrimden sonra elde edilen indeks değerlerin kullanılmasının daha yararlı olabileceğini belirtmiştir. Bunun yanı sıra, kil içeren kayalar ve zayıf kayalar üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda Ulusay vd. (1995) ve Gökçeoğlu vd. (2000) de çevrim sayısının arttırılması durumunda özellikle 4. çevrim uygulandığında suda dağılmaya karşı duraylılığın oldukça azaldığını saptamışlardır. Bu nedenle, bu çalışmada da suda dağılmaya karşı duraylılık deneylerinde ek olarak iki çevrim daha uygulanmasına ve her örnek seti üzerinde toplam 4 çevrim yapılmasına karar verilmiştir. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi tayinleri blok, matriks ve hamurda kaya için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve deneylerde ASTM D4644-08 tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.



Şekil 2. Donma-çözünme çevrimleri sonunda (a) hamurda kaya (b) matriks ve (c) blok kartolarının UCS değerlerinin azalmasını gösteren eğriler.

Figure 2. Curves showing the decrease of UCS values of (a) bimrock (b) matrix and (c) blocks at the end of the freezing-thawing cycles.



Şekil 3. Matriks, blok ve hamurda kayaya ait karotların (a) 10 donma-çözünme çevrimi, (b) 30 ve 40 çevrimi sonundaki görüntüleri ve (c) hamurda kayanın donma-çözünme çevrimleri sonunda gösterdiği tipik bozunmaya ait görüntüler.

Figure 3. Images of bimrock, matrix and block cores (a) after 10 freezing-thawing cycles, (b) after 30 and 40 cycles and (c) images of typical weathering of bimrock due to freezing-thawing cycles.

Hamurda kaya, matriks ve bloklarda 5'er set olmak üzere toplam 15 adet suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi tayinleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda hamurda kaya ve bileşenlerinin 4 çevrim için de I_d değerleri belirlenmiş ve tüm örneklere ait deney sonuçları Şekil 4'deki "Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_d) - Çevrim sayısı" eğrilerini gösteren grafikte sunulmuştur. Ayrıca, her çevrimin sonunda belirlenen I_d değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre, 4. çevrim sonunda blokların I_d değeri en fazla %89'a kadar düşerken, matriks ve hamurda kayanın I_d değerleri sırasıyla %40 ve %46'ya kadar düşmüştür. I_d deneylerinin sonuçlarına ilişkin ayrıntılı değerlendirme "Tartışma" bölümünde verilmiştir.

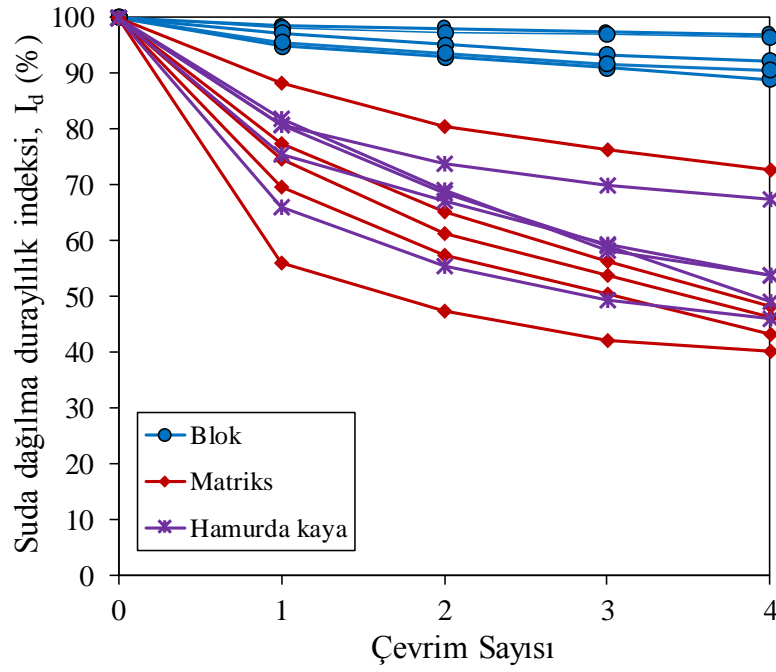
Çizelge 3. Hamurda kaya, bloklar, matriksin I_d değişim aralıkları.

Table 3. Change intervals of I_d for matrix, bimrock and blocks.

Hamurda kaya ve Bileşenleri	Suda dağılma duraylılık indeksi, I_d (%)			
	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}
Hamurda kaya	81-66	74-55	70-49	67-46
Matriks	88-56	80-47	76-42	72-40
Blok	98-95	97-93	97-91	97-89

Yerinde Schmidt Çekici Deneyleri

Bozunmanın etkileri ve duraysızlıklar antik kaya oyma yapılarının dış duvarlarında ve yapıların giriş kısımlarında daha yoğun olarak gözlenmiştir. Buna karşın yerleşimin iç kısımlarındaki odalarda duvarlardaki tahribatın azaldığı dikkat çekmiştir (bkz. Şekil 1). Hamurda kayanın içerdiği matriks ve blokların bozunma davranışının ve bozunmanın dayanıma etkisinin yerinde gözlenebilmesi için kaya yapılarının dış yüzeylerinde ve içindeki duvarlarda Schmith sertlik çekici deneyleri yapılmıştır. Schmidt deneyleri dolaylı yoldan tek eksenli sıkışma dayanımını tayin etmek için yapılmamış olup, yalnızca bozunmanın etkilerinin geri sıçrama sertlik değerleri açısından değerlendirilebilmesi için yapılmıştır. Neredeyse deneylerin tümünde blokların geri sıçrama değerlerinin matrikse ait değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 5a ve b). Bununla birlikte, yapıların dış yüzeylerine ait geri sıçrama değerleri iç odalarkinden belirgin biçimde daha düşük değerler vermiştir. Dış duvarlardaki matriks ve bloklar ile iç odalardaki bloklar ait geri sıçrama değerlerinde saçılım olduğu gözlenmiştir. İç odaların duvarlarındaki matrikse ait geri sıçrama değerlerindeki saçılım diğer değerlere göre daha dar bir aralıkta değişmektedir. Kaya oyma yapılarının dış kısımlarındaki yüzeylerde ve iç odaların duvarlarına ait geri sıçrama değerleri arasındaki farklar bozunmanın dayanıma etkisi açısından değerlendirilmiştir. Buna göre, dış yüzeyler atmosferik koşullara direk olarak maruz kaldıklarından, dayanımları iç odalardaki kayanıninkine göre belirgin biçimde azalmıştır.



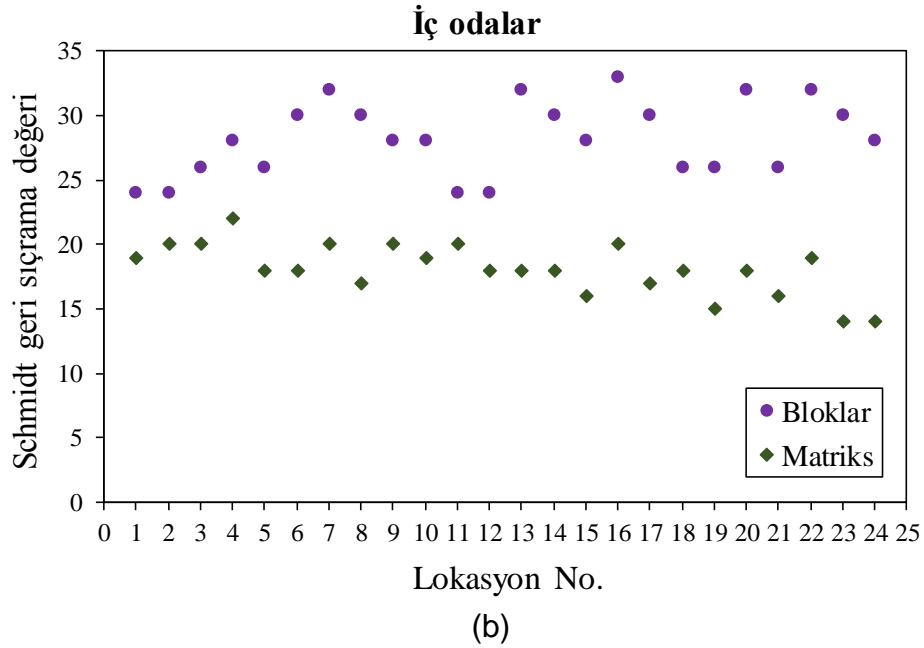
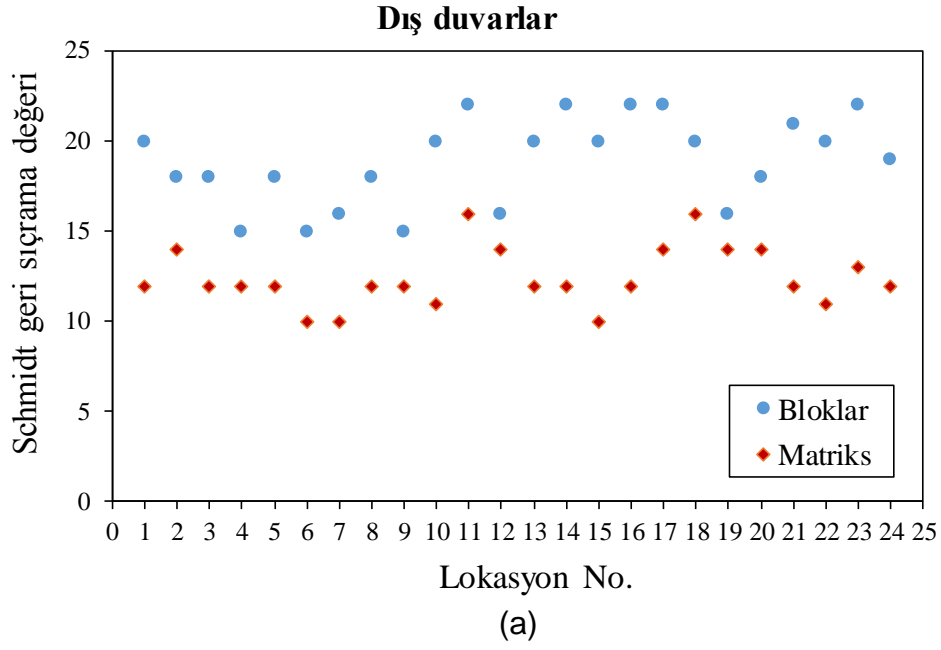
Şekil 4. Hamurda kaya, bloklar, matriksin suda dağılmaya karşı duraylılık deneylerinden elde edilen “ I_d (%) – Çevrim sayısı” eğrileri.

Figure 4. " I_d (%) - Number of cycles" curves obtained from slake durability tests of the bimrock, matrix, blocks.

TARTIŞMA

Sille hamurda kayasının fiziksel bozunması hamurda kaya kütlesinin içerdiği blok ve matriks bileşenlerinin de bozunma davranışını değerlendirerek ve hamurda kaya ile karşılaştırılarak aşağıda daha ayrıntılı biçimde anlatılmıştır. Ayrıca, laboratuvar ve arazi ölçeğinde bozunma sonucu gerçekleşen fiziksel değişimler de tartışılmıştır.

Donma-çözünme deneylerinde 2. setteki matriks örneklerinin 20. çevrimden sonra UCS deneylerine tabi tutulamayacak derecede tahrip olduğu belirlenmiştir (bkz. Şekil 3a ve b). Bununla birlikte, 3. setteki örnekler 30. çevrime kadar karot şekli korumuşlardır. Ancak, bu örneklerin UCS değerlerinin de %62 gibi büyük bir oranda azaldığı belirlenmiştir (bkz. Şekil 2b). Hamurda kaya karotları ise 30. çevrime kadar bütünlüklerini koruyabilmişlerdir. Buna rağmen bu karotların UCS değerleri %56 ile %72 arasında değişen oranlarda kritik bir biçimde azalmıştır (Şekil 2a). Yalnızca bloklara ait karotlar 40. çevrime kadar ulaşabilmişlerdir. Hamurda kaya ve bileşenlerinin donma-çözünme çevrimlerine karşı duraylılığı karşılaştırıldığında; matriks ve hamurda kayadaki bozunmanın etkileri birbirine yakın olup, blokların bozunma derecesinin ve UCS'deki dayanım kaybının daha az olduğu belirlenmiştir. Ancak yine de, Şekil 2c'de



Şekil 5. Sille antik kaya oyma yapılarının (a) dış duvarlarında ve (b) iç oda duvarlarındaki matriks ve bloklara ait Schmidt geri sıçrama sertlik değerleri.

Figure 5. Schmidt rebound hardness values of the matrix and blocks on (a) outer walls and (b) inner chamber walls of Sille ancient rock-hewn structures.

görüldüğü gibi blokların UCS değerlerindeki azalma da (%49) oldukça yüksektir. Koca ve Kincal (2016) bozunma derecesindeki kademeli bir artışın gözenekliliği üç kat artırdığını ve UCS'yi %35-80 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, bozunma derecesinin az bozunmuştan çok bozunmuşa doğru ilerlemesi sonucunda, gri renkli andezitlerin tek eksenli sıkışma dayanımındaki azalmanın yaklaşık altı kat olduğunu saptamışlardır. Ergüler (2009) ise,

Kapadokya'daki Kavak tüflerinin donma-çözünmeye maruz kaldıklarında ve suya doyurulduklarında UCS dayanımlarının %84.5'a kadar azaldığını belirlemiştir. Bu çalışmalara ait sonuçlardan da anlaşıldığı üzere donma-çözünme süreçleri kayaların tek eksenli sıkışma dayanımını ciddi oranda azaltmaktadır.

Hamurda kayanın içerdiği blokların suda dağılmaya karşı duraylılığı matriks ve hamurda kayaya oranla oldukça yüksektir (Çizelge 3). I_d değerleri dikkate alındığında blokların donma-çözünme süreçlerinden daha fazla etkilendiğini söylemek mümkündür. Hamurda kaya ve matriksin I_d değerlerinin birbirlerine yakın aralıklarda değişim gösterdiği de belirlenmiştir (bkz. Şekil 4). Hamurda kaya ve matriksin suda dağılmaya karşı duraylılığının I_{d3} 'e kadar belirgin biçimde azaldığı, I_{d4} 'deki değerlerin ise I_{d3} 'e yakın olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre, hamurda kaya ve matriksin suda dağılmaya karşı duraylılığının düşük olduğu belirlenmiştir.

Laboratuvar ölçeğinde karotlar üzerinde yapılan incelemelerde, bozunmanın etkisiyle blok ve matriks arasındaki dokanakların olduğu kısımların daha çok aşındığı ve bu sınırlar boyunca oyuklar oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 3c). Deneyler devam ederken karotlar ağırlıklı olarak blok matriks dokanak yüzeylerini takip ederek parçalanmış ya da bu kısımlardan itibaren kopmalar gerçekleşmiştir. Andezitik kayaların bozunma karakteristiklerini araştıran Koca ve Kıncal (2016) özellikle ileri derecede bozunmuş otobreşlerin yenilme davranışının matriks içinde bulunan andezit çakılları ve blokları tarafından kontrol edildiğini belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar yenilme yüzeyinin genellikle taneler ve matriksin arasındaki dokanak yüzeylerinden geçtiğini saptamışlardır. Dahası, bu çalışmadakine benzer biçimde otobreşler içindeki matriksin bozunmasıyla birlikte matriks ile taneler arasındaki dokanak bölgelerinde boşluklar oluştuğunu da belirtmişlerdir.

Yaklaşık 1500 yıl önce kayaya oyulan Sille antik yapılarında bozunmanın etkileri net olarak gözlenmiş ve bozunmanın etkisiyle dayanımdaki azalmanın bir sonucu olarak duraysızlıkların geliştiği saptanmıştır. Antik kaya oyma yapılarının başta dış cephesindeki duvarlar ve topuklar olmak üzere, birçok bölümünde matriksin aşındığı ve bunun sonucunda hamurda kayanın içerdiği blokların belirgin biçimde yüzeylendiği gözlenmiştir (bkz. Şekil 6b). Bozunma ilerledikçe, blokların duvar diplerine ya da kayadan oyma yapıların bulunduğu yamaçlara dökülerek biriktiği de görülmüştür. Hamurda kayalardaki bu bozunma davranışı andezitik, granitik kaya kütleleriyle karşılaştırıldığında; bu kayalardaki fiziksel bozunmanın ileri aşamalarında çekirdek taşları oluşurken hamurda kayada bu durum gözlenmemiştir. Tüflerde ise fiziksel bozunma daha homojen olup, aşırı sökölme, aşınma ve kavlaklanma gibi süreçler söz konusudur.

(a)



(b)



Şekil 6. Sille'deki antik kaya oyma yapılarındaki bozunmanın etkileri (a) taş mezarların kış döneminde tavadan içeri süzülen yağmur suları ile dolması (b) kaya yapılarının dış kısımlarında matriks ve bloklardaki bozunmanın tipik görünümü.

Figure 6. The effects of weathering on the ancient rock-hewn structures in Sille (a) filling of stone tombs with rainwater draining from the ceilings during winter (b) the typical appearance of the deterioration in the matrix and blocks on the outer parts of the rock structures.

SONUÇLAR

Bu çalışmada pekişmiş hamurda kayaların bozunma davranışının araştırılması amacıyla donma-çözünme ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri yapılmıştır. Bu iki deneyin yanı sıra, bozunmadan dolayı dayanım azalmasının yerinde tayin edebilmek için Sille Antik Kenti'ndeki kaya oyma yapılarının duvarlarında Schmidt sertlik çekici deneyi uygulanmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre:

1. Sille hamurda kayası yüksek gözeneklilik ve düşük kuru birim ağırlığa sahiptir. UCS değerlerine dikkate alındığında, hamurda kaya “çok zayıf kaya” veya “zayıf kaya” sınıfındadır (ISRM, 1981). Hamurda kaya ve matriksin kuru birim ağırlık, ağırlıkça su emme ve gözeneklilik değerleri birbirine yakın aralıklarda değişmektedir. Blokların kuru birim ağırlığının bu ikisine göre daha yüksek olduğu, gözeneklilik ve ağırlıkça su emmenin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
2. Laboratuvarda uygulanan donma-çözünme çevrimleriyle gerçekleşen bozunmanın etkisiyle başta matriks ve hamurda kayada olmak üzere tüm karotlarda UCS'nin kritik biçimde azaldığı belirlenmiştir. 30 donma-çözünme çevrimi sonunda blokların UCS değerlerinde %49, matrikste %62 ve hamurda kayada ise %72'ye kadar azalmaların olduğu gözlenmiştir.
3. Hamurda kaya ve matriksin suda dağılmaya karşı duraylılığının oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.
4. Matriks ve hamurda kayadaki bozunmanın etkileri birbirine yakın olup, blokların suda dağılmaya karşı duraylılığının daha yüksek ve donma-çözünmeyle UCS'deki dayanım kaybının da daha az olduğu belirlenmiştir.
5. Blokların Schmidt geri sıçrama değerleri matrikse ait değerlerden daha yüksektir. Antik kaya yapılarının dış duvarlarındaki geri sıçrama değerleri iç odalarda belirlenenlerden daha düşüktür.
6. Kaya yapılarının giriş kısımları ve dış yüzeylerinde, özellikle ileri derecede bozunma olan yerlerde, matriksin aşınması sonucu bloklar serbest kalarak yerçekiminin de etkisiyle duvar diplerine ya da kayadan oyma yapıların bulunduğu yamaçlara düşmüşlerdir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi (Konya) Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi (Proje no. 17401137) tarafından mali olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Afifipour, M., and Moarefvand, P., 2014. Mechanical behavior of bimrocks having high rock block proportion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 65, 40-48.
- ASTM., 2014. Annual Book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones, Section-4, Construction vol. 04.08. ASTM Publications. Philadelphia.
- Avşar E., 2019. Piroklastik Kayaçların (Sille, Konya) Tek Eksenli Sıkışma Dayanımlarının Tahmini. MÜHJEO'2019: Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, 03-05 Ekim 2019, PAÜ, Denizli.
- Avşar, E., 2020. Contribution of fractal dimension theory into the uniaxial compressive strength prediction of volcanic welded bimrock. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 3605-3619.
- Aydan, Ö., and Ulusay, R., 2003. Geotechnical and environmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey. *Engineering Geology*, 69 (3/4), 245-272.
- Barbero, M., Bonini, M., Borri-Brunetto, M., 2008. Three-dimensional finite element simulations of compression tests on bimrock. In *Proceedings of the 12th Int. Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics IACMAG*, Goa, India. 631-637.
- Boving, T.B., and Grathwohl, P., 2001. Tracer diffusion coefficients in sedimentary rocks: correlation to porosity and hydraulic conductivity. *Journal of Contaminant Hydrology*, 53, 85-100.
- Coli, N., Berry, P., Boldini, D., 2011. In situ non-conventional shear tests for the mechanical characterisation of a bimrock (BimTest). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48, 95–102.
- Coli, N., Berry, P., Boldini, D., Bruno, R., 2012. The contribution of geostatistics to the characterisation of some bimrock properties. *Engineering Geology*, 137-138, 53–63.
- Deniz, B.E. and Topal, T., 2021. A new durability assessment method of the tuffs used in some historical buildings of Cappadocia (Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 80:266.
- Ergüler, Z.A., 2009. Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs. *Engineering Geology*, 105, 186–199.
- Erguler, Z.A., and Ulusay, R., 2009. Water-induced variations in mechanical properties of clay-bearing rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 355–370.
- Fener, M., and Ince, İ., 2015. Effects of the freeze-thaw (F-T) cycle on the andesitic rocks (Sille-Konya/Turkey) used in construction building. *Journal of African Earth Sciences*, 109, 96-106.
- Franklin, J.A., and Chandra, A., 1972. The slake-durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 325–341.

- Gamble, J.C., 1971. Durability–plasticity classification of shales and other argillaceous rocks, PhD thesis, geology, University of Illinois, Urbana.
- Garcia-Vallés, M., Topal, T., Vendrell-Saz, M., 2003. Lichenic growth as a factor in the physical deterioration or protection of Cappadocia monuments. *Environmental Geology*, 43, 776–781.
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R., and Sönmez, H., 2000. Factors affecting the durability of selected weak and clay bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology*, 57, 215-237.
- Haneberg, W.C., 2004. Simulation of 3D block populations to characterize outcrop sampling bias in bimrocks. *Felsbau Rock and Soil Engineering - Journal of Engineering Geology, Geomechanics and Tunnelling*, 22(5), 19–26.
- ISRM, 1981. International Society for Rock Mechanics, In:Brown, E.T. (Ed.), *Rock Characterization Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods*. Pergamon. 211 pp.
- ISRM., 2007. Suggested methods prepared by the commission on testing methods. In:Ulusay R, Hudson JA, eds. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*. International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset; 628.
- Kahraman, S., and Alber, M., 2006. Estimating unconfined compressive strength and elastic modulus of a fault breccia mixture of weak blocks and strong matrix. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(8), 1277–1287.
- Kahraman, S., Alber, M., Günaydın, O. 2008. Evaluating the geomechanical properties of Misis fault breccia (Turkey). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45, 1469-1479.
- Kaşmer, Ö., and Ulusay, R. 2013. Effects of geo-engineering characteristics of the soft tuffs and environmental conditions on the rock-hewn historical structures at Zelve Open Air Museum (Cappadocia, Turkey). *Environmental and Engineering Geoscience*, 19 (2), 149-171.
- Kaşmer, Ö., Ulusay, R., Geniş, M. 2013. Assessments on the stability of natural slopes prone to toe erosion, and man-made historical semi-underground openings carved in soft tuffs at Zelve Open-Air Museum (Cappadocia, Turkey). *Engineering Geology*, 158, 135-158.
- Koca, Y. M., and Kıncal, C., 2016. The relationships between the rock material properties and weathering grades of andesitic rocks around İzmir, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 709–734.
- Koncagul, E.C., and Santi, P.M., 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 139-153.
- Ollier, C., 1984. *Weathering*, 2nd edition. *Geomorphology Texts*, Longmans, London, Ed. K. M. Clayton.
- Özkan, M.A., 2017. Küçükmuhsine-Sulutaş (Konya batısı, Türkiye) Çevresindeki Karasal Neojen Çökellerinin (Geç Miyosen-Erken Pliyosen) Stratigrafisi. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 4(3), 382–410 (In Turkish).

- Sönmez, H., Ercanoğlu, M., Kalender, A., Dağdelenler, G., Tunusluoglu, C., 2016. Predicting uniaxial compressive strength and deformation modulus of volcanic bimrock considering engineering dimension. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 86, 91–103.
- Sönmez, H., Tuncay, E., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H., 2005. Matriks içinde blok içeren kayaçların deformasyon modülünün saptanabilmesine yönelik fotoanaliz destekli yaklaşımların geliştirilmesi. TÜBİTAK Yer, Deniz, Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu, Proje no.102Y033.
- Topal, T. and Doyuran, V., 1997. Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff. *Engineering Geology* 47, 175–187.
- Topal, T. and Doyuran, V., 1998. Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey. *Environmental Geology*, 34 (1), 5–20.
- Ulusay, R., Özkan, I., Ünal, E., 1995. Characterization of weak stratified and clay-bearing rock masses for engineering Geology and some engineering properties applications. In: Myer, L.R., et al., (Eds.), *Fractured and Jointed Rock Masses Conference*, June 3-5, 1992, Lake Tahoe, CA. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 229-235.
- Wang, Y., Li, X., Zheng, B., Mao, T.Q., Hu, R.L., 2016. Investigation of the effect of soil matrix on flow characteristics for soil and rock mixture. *Geotechnical Letters*, 6, 1-8.
- Xu, W.J., Xu, Q., Hu, R.L., 2011. Study on the shear strength of soil-rock mixture by large scale direct shear test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48(8),1235-1247.
- Zhang, H.Y., Xv, W.J., Yu, Y.Z., 2016. Triaxial tests of soil-rock mixtures with different rock block distributions. *Soils Foundation*, 56(1), 44–56.
- Zorlu, K., 2008. Description of the weathering states of building stones by fractal geometry and fuzzy inference system in the Olba ancient city (Southern Turkey). *Engineering Geology*, 101 (3-4), 124-133.