



Türkiye’de üretimi yapılan bazı doğal taş örneklerinin donma-çözünme davranışlarının laboratuvar ölçeğinde incelenmesi

A laboratory-scale investigation on freezing-thawing behavior of some natural stone samples manufactured in Turkey

Gökhan EROL^{a*} ve Ozan BAYRAM^a

^aMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Ankara, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Doğal Taş, Donma-Çözünme, Su Emme, Isıl-Mekanik Davranış, Tek eksenli basınç dayanımı.

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye’nin farklı yerlerinden temin edilmiş doğal taş örneklerinin donma-çözünme testi öncesi ve sonrasında mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Çalışma kapsamında 17 farklı doğal taş örneği kullanılmış, kimyasal ve mineralojik-petrografik özellikleri belirlendikten sonra atmosfer basıncında su emme, gerçek yoğunluk, porozite ve donma-çözünme öncesi ve sonrası tek eksenli basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Donma-çözünme testi TS EN 12371 standardı kullanılarak -12 °C ile +20 °C arasında 56 döngü olarak yapılmıştır (2 döngü = 24 saat). Test sonrasında örnekler basınç dayanımı değişimlerinin tespiti amacıyla tek eksenli basınç dayanımı testine tabi tutulmuşlardır. Söz konusu örnekler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik test sonuçları, doğal taşların kimyasal ve mineralojik-petrografik özellikleri temel alınarak gruplandırılarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre doğal taş örneklerinden hangilerinin donma-çözünmeye karşı dirençli olduğu ve dış yapıda kullanılabileceği tespit edilmeye çalışılmıştır.

Geliş Tarihi: 30.10.2019

Kabul Tarihi: 27.05.2020

Keywords:

Natural stone, Freezing and thawing, Water absorption, Thermal-mechanical behavior, Uniaxial compressive strength.

ABSTRACT

In the study, the changes in the mechanical properties of the natural stone samples, which had been obtained from different regions of Turkey, before and after the freeze-thaw test were examined. Within the scope of the study, 17 different natural stone samples were used and, after chemical and mineralogical-petrographical properties were determined. Water absorption at atmospheric pressure, real density, porosity, and uniaxial compressive strength tests were performed before and after freezing-thawing. The freezing and thawing test has been performed using TS EN 12371 standard from -12 °C to +20 °C in 56 cycles (2 cycles = 24 hours). After the test, the samples were subjected to uniaxial compressive strength test in order to identify the changes of the compressive strength values. The results of the physical and mechanical tests on these samples were evaluated by grouping according to chemical and mineralogical-petrographical properties of natural stones. It was aimed to determine which natural stone samples are resistant to freeze-thaw, and can be used in external cladding applications according to the findings obtained from the study.

Atf bilgisi: Erol, G., Bayram, O. 2020. A laboratory-scale investigation on freezing-thawing behavior of some natural stone samples manufactured in Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 163, 139-147. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.746486>.

*Başvurulacak yazar: Gökhan EROL, gokhan.erol@mta.gov.tr

1. Giriş

Bu çalışmada üretimi yapılan doğal taş örnekleri üzerinde donma-çözünme etkisini belirleyebilmek amacıyla, donma-çözünme testi öncesi ve sonrasında tek eksenli basınç dayanımı testi yapılmış olup, test sonuçlarına göre dayanım değerlerindeki değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Doğal taşlar yeryüzünden uygun üretim yöntemleri kullanılarak çıkarılıp sonrasında üzerinde kesme-ebatlama ve gerekliyse cilalama işlemleri uygulanan, ayrıca ekonomik olarak işletilebilen en eski inşaat malzemeleridir. İlk çağlardan günümüze insanoğlu tarafından yapılarda ve anıtlarda görsel güzelliği ile birlikte bozunmaya karşı dayanıklılığı sebebiyle de yoğun biçimde kullanılmışlar, kullanım artışına bağlı olarak günümüzde özellikle kaplama, döşeme, heykelcilik, inşaat, porselen ve cam sanayi, süs eşyası, optik sanayi, mezar taşı ve mıcır üretimi gibi alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadırlar (T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2016). Günümüzde doğal taşların kullanım oranı artmakta, bu kullanım tercihi ise bazı doğal taşların ününü artırmakta ve yenilerinin piyasaya çıkmasını sağlamaktadır. Doğal taşlar bulunduğu yöre ve ülke için giderek büyüyen ekonomik bir değer oluşturmaktadır. Bununla birlikte, doğal kaynaklar ve yapı taşları sonsuz değildir; rezervleri tükenebilir, hatta çevre şartlarından etkilenebilir ve bozunurlar (Gökaltun, 2004, 2011).

Yükselen bu talep sonucunda dünyanın en zengin doğal taş yataklarının bulunduğu ülkemizde, madencilik faaliyetleri de benzer şekilde artmış ve farklı köken, renk, doku ve fiziksel özellikleri olan doğal taş rezervleri de işletilmeye başlanmıştır. Ticari tanımlamada doğal taşlar, dekoratif amaçlı kullanıma uygun olarak üretilen bütün doğal kayaç malzemeleri kapsar (Onargan vd., 2006).

Doğal taşlarda aranan özellikler genel olarak, renk özelliği ve desen homojenliği, blok verme özelliği ve kesilip cilalanma, jeomekanik ve fiziksel özellikler, atmosferik ve kimyasal etkilere dayanım olarak sıralanabilir (Şentürk vd., 1995). Bu özellikler söz konusu doğal taşların kullanım yerine göre bina iç cephe veya dış cephe kaplamalarına uygunluğunu doğrudan etkiler. Yeryüzünde bulunan tüm doğal taşlar donma-çözünme gibi fiziksel ve kimyasal süreçlerden devamlı olarak etkilenirler. Fakat bu süreçlerin zararlı etkileri her yerde ve her doğal taş örneğinde aynı değildir. Söz konusu doğal taşların jeolojik olarak türü

ve mineral bileşimi buna bağlı olarak aşınmaya karşı gösterdiği direnç ile birlikte doğal taşın kullanıldığı bölgenin iklimi de maruz kalacağı bozunma üzerinde doğrudan etkilidir; özellikle de yapı dış cephelerinde kullanılan malzemelerin yüzeyleri üzerinde bu zararlı etkiler açıkça görülebilmektedir (Akbay vd., 2012). Bina dış cephe kaplamalarında doğal taş kullanım oranlarının artması ile birlikte, özellikle yağmur ve soğuk gibi etkilere maruz kalan doğal taşların fiziksel değişimlerinin incelenmesi kullanım yerinin seçimi bakımından önemli bir parametredir. Söz konusu bu süreç içerisinde özellikle karasal iklimin hakim olduğu ve gün içerisinde sıcaklık farkının fazla olduğu bölgelerde, doğal taşların sahip oldukları fiziksel ve mekanik özellikleri donma-çözünme etkisiyle zayıflar. Tarihi eserler ve anıtlar gibi uzun süreli yapılarda kullanılan ve donma-çözünme süreçlerine yoğun biçimde maruz kalan doğal taşlarda, bu süreçlerin sonucu olarak meydana gelen bozunmanın fiziksel ve mekanik özelliklerin değişiminde oldukça önemli olduğu görülmektedir (Mutlutürk vd., 2004). Gündüz ve gece sıcaklıklarının oldukça farklı olduğu ve soğuk karasal iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde kullanılan doğal taşların bünyesine su emme veya kılcal su emme yoluyla giren sular, sıfırın altındaki sıcaklıklarda hacmini yaklaşık %9 arttırarak donmaktadır. Doğal taşlarda en fazla hasar oluşumuna yol açan ve defalarca tekrarlanan bu donma-çözünme döngüsünün sonucu olarak, bünyeye alınan su buza dönüştüğünde gözenek basıncı artışı sebebiyle çatlak oluşumu başlamakta ve zamanla bu çatlaklar genişleyip büyüyerek kayaçta bozunma-parçalanma meydana getirmektedir (Chen vd., 2004).

Beier ve Sego (2009) ile Proskin vd. (2010) gibi birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarla kayaçların gerilme ve dayanım gibi bazı mühendislik özelliklerinin, donma-çözünme çevrimlerinden ciddi şekilde etkilendiği ortaya konmuştur. Binal vd. (1997, 1998), Eskişehir bölgesindeki volkanosedimanter kayaçların donma-çözünme döngüleri sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerini araştırmışlardır. Simonsen ve Isacsson (1999) ise, karasal iklimin hüküm sürdüğü soğuk bölgelere döşenen kaldırım taşlarının çözünmeye karşı dayanıklılığı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Binal ve Kasapoğlu (2002) tarafından yapılan çalışmada Aksaray bölgesine ait ignimbirit örnekleri kullanılarak 30 donma-çözünme döngüsü uygulanmış, bu çevrimlerin sonunda söz konusu ignimbiritin ağırlıkça

ve hacimce su emme ve gözeneklilik gibi fiziksel özelliklerinin sonuçlarında bir artmanın olduğu, makaslama dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi bazı mekanik özelliklerinin sonuçlarında ise bir azalmanın olduğu ortaya koyulmuştur. Alyıldız (2003) ve Altındağ ve Alyıldız (2004), Isparta bölgesi tuf (tras) örnekleri üzerinde donma-çözünme döngülerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini laboratuvar ortamında incelemişlerdir. Toplam 55 çevrim uygulanarak yapılan deneyler sonucunda fiziksel özelliklerin değişiminin 10. döngü sonrasında, diğer bazı mekanik özelliklerin ise 25. döngüden itibaren farklılıklar göstermeye başladığını; bu farklılıkların mekanik test sonuçlarında en çok nokta yükü dayanım indeksinde, fiziksel test sonuçlarında ise en çok ağırlıkça su emme değerlerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Tuğrul (2004), bozunmanın kayaların özellikleri üzerindeki etkisini incelemiş, değişik seviyelerde bozunmaya maruz kalmış kayaç örnekleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda, kayaç bozunmasındaki artış ile birlikte gözeneklilikte de bir artış olduğu, dayanım değerlerinde ise azalma meydana geldiğini ifade etmiştir. Nicholson ve Nicholson (2000), 10 adet sedimanter kayaç örneği üzerinde gerçekleştirdikleri tekrar eden döngülü donma-çözünme testleriyle, kayaçta test öncesi var olan kusurların (süreksizlik vb.) bozunma şekline etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak kayaç dayanımı ve dokusal özellikleriyle birlikte test öncesinde var olan kusurların da değerlendirilmesi gerektiğini, ayrıca kayacın yapısında meydana gelen bozunmanın etkisiyle kütle kaybının da meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Binal vd. (2004), Ankara ignimbiriti kayacını kullanarak yaptıkları çalışmada, doğada atmosferik koşulların etkisiyle donma-çözünme sürecine maruz kalmış örnekler ile laboratuvarında donma-çözünme testi uygulanan örneklerin fiziksel parametrelerindeki değişimleri karşılaştırmışlardır. Doğa koşullarında bir yıl boyunca donma-çözünmeye uğrayan örnekler ile laboratuvarında 10 donma-çözünme döngüsü uygulanmış örneklerin fiziksel sonuçlarındaki değişimlerin birbirleriyle yakın biçimde uyumlu olduklarını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte laboratuvarında 5 donma-çözünme döngüsü uygulanmış örneklerin tek eksenli basınç dayanımı sonuçlarının ise doğada atmosferik koşulların etkisiyle donma-çözünme sürecine maruz kalmış örneklerin sonuçları ile benzer olduğunu ifade etmişlerdir.

Martínez-Martínez vd. (2013), sırasıyla 12-24-48-96 döngü olacak şekilde 6 farklı karbonatlı kayaç örneği üzerinde donma-çözünme testleri yapmışlardır. Örnekler üzerinde yapılan ilgili döngü sayılarından sonra yapılan testler ile P dalgası yayılma hızı, makro ve mikro-dokusal özellikler, elastisite modülü, hacim kaybı, gözeneklilik ve tek eksenli basınç dayanımı sonuçları irdelenmiş, örneklerin söz konusu özellikleri ile donma-çözünme döngü süreleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Ancak döngüler sonrasında bütün kayaç örnekleri için döngü öncesi belirlenen gözeneklilik değerlerinde yavaş bir artış olduğunu, bunun sonucu olarak P dalga hızının ve tek eksenli basınç dayanımının azaldığını ortaya koymuşlardır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Malzeme Tanımlama İşlemleri

İlgili testlere tabi tutulan doğal taş örneklerinin mineralojik ve petrografik analizleri MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı'na bağlı olarak çalışan Mineraloji-Petrografi laboratuvarlarında yapılmıştır. Örneklerin mineralojik ve petrografik analizleri (Çizelge 1) TS EN 12407 standardına göre ince kesit üzerinde yapılmıştır. Doğal taş örneklerinin kimyasal analizleri, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı'na bağlı olarak çalışan Jeokimya laboratuvarlarında yapılmıştır. Örneklerin kimyasal analizleri (Çizelge 2 ve 3) TS EN 15309 standardına göre XRF cihazı kullanılarak yapılmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Örnek Hazırlama İşlemleri

Analiz testleri yapılacak kayaç örnekleri MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı'na bağlı akredite doğal taş laboratuvarında hazırlanmıştır. Örnekler sırası ile büyük ve küçük kesme-ebatlama makineleri ile, ilgili standartlarda istenilen 50x50x50 mm'lik küp blok haline getirilmiştir. Küp haline getirilen örnekler, yüzey düzeltme cihazları ile pürüzlülüğü giderilerek ilgili testler için hazırlanmıştır. (Şekil 1).

Çizelge 1- Örneklerin mineralojik-petrografik analizleri.

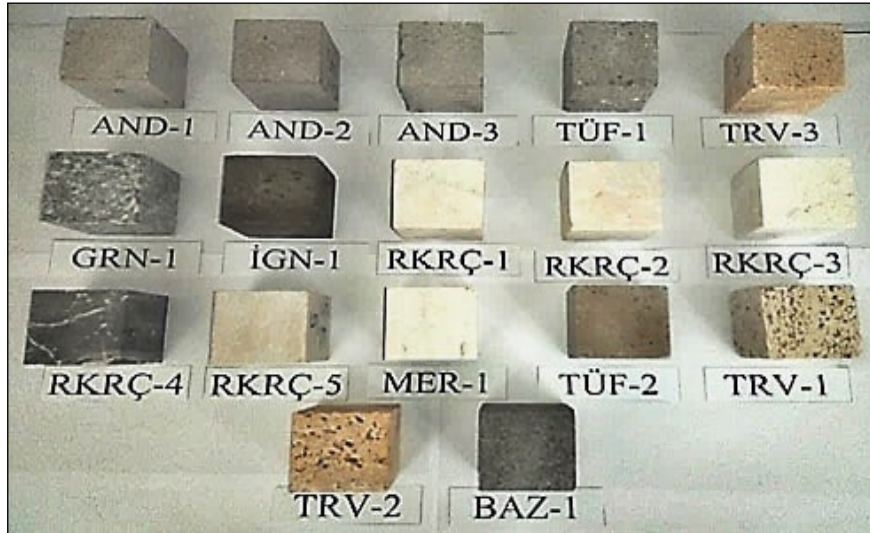
Örnek Kodu	Petrografik Kayaç Tanımı	Doku Tipi	Tane Büyüklüğü	Bileşen Dağılımı	Kayaç Sınıfı
AND-1	Andezit	Porfirik	Küçük taneli	Homojen	Magmatik
AND-2	Andezit	Masif, hipokristalin-porfirik	Orta-Küçük taneli	Homojen	Magmatik
AND-3	Andezit	Masif, hipokristalin-porfirik	Küçük-Orta taneli	Homojen	Magmatik
BAZ-1	Bazalt	Masif, porfirik	Küçük taneli	Homojen	Magmatik
GRN-1	Granit	Masif, holokristalin taneli doku	Küçük taneli	Homojen	Magmatik
İGN-1	İgnimbirit	Masif, kırıntılı	Çoğunlukla küçük-orta taneli, yer yer de çok iri taneli	Homojen	Magmatik
RKRÇ-1	Rekristalize Kireçtaşı	Masif, kırıntılı	İnce taneli	Heterojen	Metamorfik
RKRÇ-2	Rekristalize Kireçtaşı	Masif, kırıntılı	İnce taneli	Heterojen	Metamorfik
RKRÇ-3	Rekristalize Kireçtaşı	Masif, ince taneli granoblastik dokulu	Orta-İri-Çok İri taneli	Homojen	Metamorfik
RKRÇ-3	Rekristalize Kireçtaşı	Masif, kırıntılı	İnce taneli	Homojen	Metamorfik
RKRÇ-5	Rekristalize Kireçtaşı	Masif, kriptokristalin kırıntılı	Küçük taneli	Homojen	Metamorfik
MER-1	Mermer	Masif, granoblastik yer yer heteroblastik	Küçük taneli	Homojen	Metamorfik
TRV-1	Traverten	Boşluklu, mikrokristalen	İnce taneli	Homojen	Sedimanter
TRV-2	Traverten	Masif gözenekli, ince taneli	Küçük taneli	Homojen	Sedimanter
TRV-3	Traverten	Masif gözenekli, ince taneli	Küçük taneli	Homojen	Sedimanter
TÜF-1	Camsı Tuf	Masif, kırıntılı	İnce taneli	Homojen	Magmatik
TÜF-2	Camsı Tuf	Masif, kırıntılı	İnce taneli	Homojen	Magmatik

Çizelge 2- Magmatik kökenli örneklerin kimyasal analizleri.

Kimyasal İçerik	Örnek Kodu							
	AND-1	AND-2	AND-3	BAZ-1	GRN-1	İGN-1	TÜF-1	TÜF-2
Al ₂ O ₃	15,61	15,51	15,65	21,39	17,17	16,88	15,10	15,83
CaO	1,42	1,87	1,79	9,14	4,13	3,32	3,16	1,11
Fe ₂ O ₃	1,81	1,92	1,87	10,23	3,57	4,03	1,79	1,69
MgO	0,61	0,52	0,45	4,63	2,08	1,37	0,64	0,37
SiO ₂	68,46	68,56	69,17	45,72	62,00	62,78	68,73	70,28

Çizelge 3- Sedimanter-metamorfik kökenli örneklerin kimyasal analizleri.

Kimyasal İçerik	Örnek Kodu								
	RKRÇ-1	RKRÇ-2	RKRÇ-3	RKRÇ-4	RKRÇ-5	MER-1	TRV-1	TRV-2	TRV-3
Al ₂ O ₃	0,26	0,26	0,44	0,50	0,53	0,10	0,17	0,20	0,22
CaO	54,56	54,65	54,12	40,30	53,02	36,2	54,77	53,86	54,51
Fe ₂ O ₃	0,11	0,09	0,21	0,30	0,24	0,10	0,07	0,60	0,11
MgO	0,51	0,50	0,45	12,1	0,89	17,10	0,27	0,68	0,41
SiO ₂	0,62	0,66	1,69	1,80	1,20	0,30	0,44	0,80	0,87



Şekil 1- Kullanılan doğal taş örneklerinin görselleri.

2.2.2. Örnekler Üzerinde Yapılan Deneyler

Kayaç örneklerinin gerçek yoğunluğunun, toplam ve açık gözenekliliğinin tayin edilmesi için, TS EN 1936 “Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Gerçek Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini” standardına uygun testler küp örnekler kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 4 ve 5). Gerçek yoğunluk testi için

ise doğal taşlara ait deney örnekleri toz (öğütülmüş, -63 μm) haline getirilmiş ve piknometre yöntemi kullanılmıştır. Örneklerin su emme katsayısının tayin edilmesi için, TS EN 13755 “Doğal Taşlar-Deney Metotları-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini” standardına uygun testler küp örnekler kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 6 ve 7).

Çizelge 4- Magmatik kökenli örneklerin açık-toplam gözenekliliği ve gerçek yoğunluk değerleri.

Test Adı	Örnek Kodu							
	AND-1	AND-2	AND-3	BAZ-1	GRN-1	İGN-1	TÜF-1	TÜF-2
Açık gözeneklilik (%)	18,0	10,7	14,5	5,0	0,9	38,4	10,7	26,6
Toplam gözeneklilik (%)	25,7	15,2	21,0	11,9	1,7	49,9	13,6	38,9
Gerçek yoğunluk (gr/cm^3)	2,6	2,6	2,6	3,0	2,7	2,5	2,5	2,5

Çizelge 5- Sedimanter-Metamorfik kökenli örneklerin açık-toplam gözenekliliği ve gerçek yoğunluk değerleri.

Test Adı	Örnek Kodu								
	RKRC-1	RKRC-2	RKRC-3	RKRC-4	RKRC-5	MER-1	TRV-1	TRV-2	TRV-3
Açık gözeneklilik (%)	0,3	0,2	5,2	1,1	0,8	0,5	9,0	4,7	9,1
Toplam gözeneklilik (%)	1,3	1,4	6,6	2,5	1,3	1,3	17,3	11,5	16,8
Gerçek yoğunluk (gr/cm^3)	2,7	2,7	2,7	2,8	2,7	2,9	2,7	2,7	2,7

Çizelge 6- Magmatik kökenli örneklerin kütlece atmosfer basıncı altında su emme oranları.

Test Adı	Örnek Kodu							
	AND-1	AND-2	AND-3	BAZ-1	GRN-1	İGN-1	TÜF-1	TÜF-2
Atmosfer basıncında su emme (%)	10,6	5,1	7,8	1,5	0,4	32,9	5,0	10,4

Çizelge 7- Sedimanter-metamorfik kökenli örneklerin kütlece atmosfer basıncı altında su emme oranları.

Test Adı	Örnek Kodu								
	RKRÇ-1	RKRÇ-2	RKRÇ-3	RKRÇ-4	RKRÇ-5	MER-1	TRV-1	TRV-2	TRV-3
Atmosfer basıncında su emme (%)	0,1	0,2	1,9	0,4	0,5	0,2	2,5	2,0	3,9

Doğal taş örneklerinin tek eksenli basınç dayanımının tayin edilmesi için, TS EN 1926 “Doğal Taşlar - Deney Metotları - Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini” standardına uygun testler küp örnekler kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 8, 9). Test sırasında ilgili standartlar gereği her bir doğal taş türünden 10 adet örnek üzerine üniform dağılımlı bir yük uygulanmış, devamında kırılma oluşuncaya değin yük devamlı olarak artırılmış ve sonuçlar MPa birimi cinsinden verilmiştir. Basınç dayanımı testi sonrasında her bir doğal taş numunesi için alınan 10 sonuç kullanılarak standart sapma hesabı yapılmıştır. Doğal taşlarda donma/çözünme döngülerinin etkisini belirlemek için, TS EN 12371 “Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Dona Dayanım Tayini” standardına uygun testler küp örnekler kullanılarak yapılmıştır. İlgili çalışmada örnekler dondurucu tank içerisinde -12 °C ile +20 °C arasında olan sıcaklıklarda, 56 döngü olarak (2 döngü = 24 saat) teste tabi tutulmuşlardır. Test sonrasında örneklerin basınç dayanımı değişimlerinin tespiti amacıyla don sonrası tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma ve Bulgular

3.1. Dona Dayanım Testi Öncesi-Sonrası Basınç Değerleri ve Su Emme Oranı İlişkisi

Su emme ve dona dayanım tayini testi öncesi basınç dayanımı testleri sonuçlarına göre, magmatik kökenli doğal taş örneklerinde su emme oranlarının artışına bağlı olarak don öncesi basınç değerlerinin azaldığı saptanmıştır. Donma-çözünme tayini testi sonrasında ise bazı örneklerin basınç dayanımı değerlerinde değişim olmadığı, bazı örneklerin basınç dayanımı değerlerinde ise artma veya azalma olduğu saptanmıştır (Şekil 2).

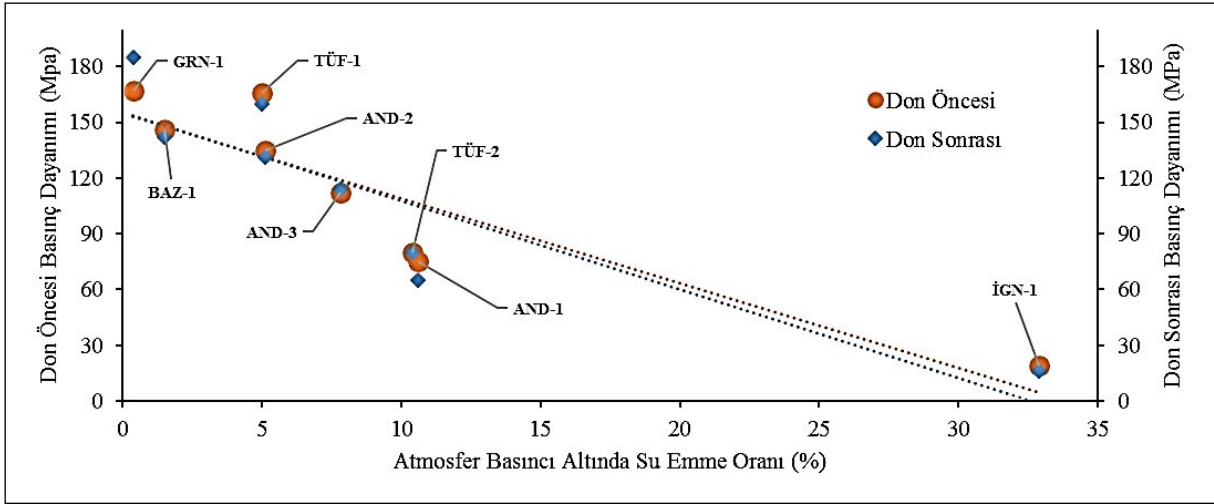
Benzer şekilde metamorfik ve sedimanter kökenli doğal taş örneklerinde de su emme oranlarının artışına bağlı olarak don öncesi basınç değerlerinin azaldığı saptanmıştır. Donma-çözünme sonrasında ise tıpkı magmatik kökenli örneklerde olduğu gibi, bazı örneklerin basınç dayanımı değerlerinde değişim olmadığı ve bazı örneklerin basınç dayanımı değerlerinde ise artma veya azalma olduğu saptanmıştır (Şekil 3).

Çizelge 8- Magmatik kökenli örneklerin don öncesi-sonrası basınç dayanımları.

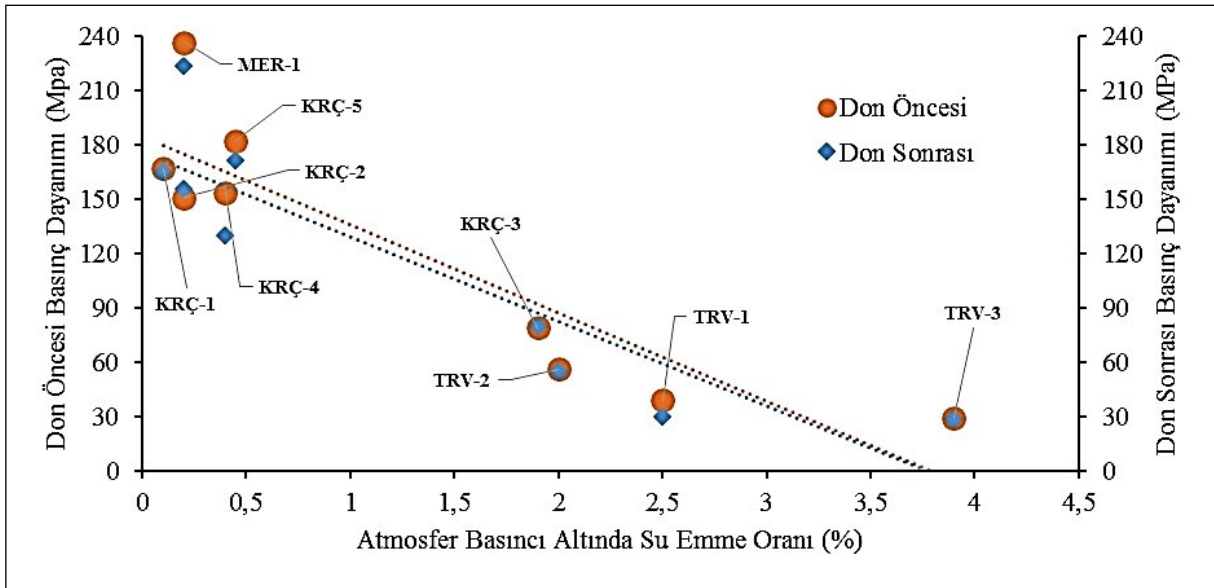
Test Adı	Örnek Kodu							
	AND-1	AND-2	AND-3	BAZ-1	GRN-1	İGN-1	TÜF-1	TÜF-2
Don öncesi (MPa)	75	135	112	146	167	19	166	80
Standart Sapma	6	10	14,6	6	34	1	9	4
Don sonrası (MPa)	65	131	114	142	185	16	160	80
Standart Sapma	12	18	12,4	3	8	1,1	8	6

Çizelge 9- Sedimanter-metamorfik kökenli örneklerin don öncesi-sonrası basınç dayanımları.

Test Adı	Örnek Kodu								
	RKRÇ-1	RKRÇ-2	RKRÇ-3	RKRÇ-4	RKRÇ-5	MER-1	TRV-1	TRV-2	TRV-3
Don öncesi (MPa)	167	151	79	154	183	237	39	56	29
Standart Sapma	12	26	8	23	27	7	19	6	7,5
Don sonrası (MPa)	165	156	80	130	171	224	30	55	29
Standart Sapma	8	18	8	28	14	5	13	6	8



Şekil 2- Magmatik kökenli örneklerin su emme oranı, don öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi.



Şekil 3- Metamorfik-sedimanter kökenli örneklerin su emme oranı, don öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi.

4. Sonuç ve Tartışmalar

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli doğal taş örneklerinde, su emme ve açık-toplam gözeneklilik testleri sonuçlarına göre, su emme oranlarının artışına bağlı olarak açık ve toplam gözeneklilik oranlarının arttığı saptanmıştır. Dona dayanım testi öncesi yapılan basınç dayanımı test sonuçlarına göre ise, doğal taş örneklerinde su emme oranlarının artışına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin azaldığı, bu sebeple gözenekli kayalarda basınç dayanımı değerlerinin daha düşük olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Söz konusu donma-çözünme testi sonrasında magmatik kökenli AND-1, BAZ-1, İGN-1, TUF-1 ve AND-2 örneklerinin

basınç dayanımı değerlerinde azalma olduğu, bununla beraber AND-3 ve GRN-1 örneklerinin değerlerinde artma, TUF-2 örneğinin değerinin ise değişmediği saptanmıştır. Diğer grup olan metamorfik-sedimanter kökenli KRÇ-1, KRÇ-4, KRÇ-5, MER-1, TRV-1, TRV-2 örneklerinin basınç dayanımı değerlerinde azalma olduğu, KRÇ-2 ve KRÇ-3 örneklerinin sonuçlarında ise artma, TRV-3 örneğinin değerinin ise değişmediği saptanmıştır.

Atmosfer basıncında su emme ve gözeneklilik oranı artışı doğrudan ilişkili olup, her iki grupta bazı örneklerin dona dayanım testi sonrasında basınç dayanımı değerlerinde azalma olmasının sebebi, ilgili

test sırasında suyun kayaç gözeneklerine dolması ve devamında -12 °C’de suyun buz fazına geçip genişlemesinin sonucu olarak var olan veya yeni oluşan çatlakları genişletmesi ve kayaç yapısında bozunmaya sebep olmasıdır. Her iki grupta bazı örneklerinin don sonu basınç dayanımı değerlerinde ise, beklenenin tersine değişim olmamış veya artış gözlenmiştir. Testler için homojen olarak hazırlanan 20 adet örnekten 10 tanesi don öncesi basınç dayanımı testi için, diğer 10 tanesi ise don sonrası basınç dayanımı testi için seçilmiştir. Bu seçimler sırasında aynı doğal taşta ait örneklerden basınç dayanımı daha fazla veya daha az olanı basınç dayanımı testi yapılmadan tespit edilmesi mümkün değildir. Yapılan bu örnek seçimi sonrasında yüksek basınç dayanımı olan örnek veya örnekler don dayanım testine girmiş ve donma-çözünme döngüsünden tam olarak etkilenmemişlerdir. Bunun sonucunda ise, don dayanım testi sonrasında yapılan basınç dayanımı testlerinde söz konusu örneklerin basınç dayanımı değerlerinin yükseldiği ve dolayısıyla ortalama basınç dayanım değerlerinin de bir miktar yükseldiği ortaya konmuştur. Momeni vd. (2015), farklı sayıda donma-çözünme döngüleri için magmatik kayaçlar üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. İlgili çalışmada 50 döngü sonrası basınç dayanımı değerlerinin yükseldiği fakat 100 döngü ve sonrası için basınç dayanımı değerlerinin azaldığı ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada, kullanılan doğal taş örneklerinden bazılarının donma-çözünme sonrası tek eksenli basınç dayanımı değerlerinde bir miktar artma (GRN-1 örneği), sabit kalma (TRV-3 örneği) veya bir miktar azalma (RKRÇ-4 örneği) olduğu gözlemlenmiştir. Fakat yapılan bu gözlemlerde donma-çözünme döngü sayısının, beklenildiği gibi tek eksenli basınç dayanımı üzerinde kesin bir azaltıcı etkisinin olduğu sonucuna ulaşılamamıştır. Sonuç olarak TS EN 12371 “Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Dona Dayanım Tayini” deney standardı uygulanırken, donma-çözünme etkisinin tam anlamıyla görülebilmesi için örneklerin 56 döngü yerine daha uzun sürelerde don dayanım testine tabi tutulması gerekmektedir. Donma-çözünme döngüsünde bozunmaya uğrayan doğal taşların zamanla basınç dayanımı değerleri azaldığı için, bu tür doğal taşlar özellikle dış cephede kullanılmamalıdır. Özellikle gece-gündüz sıcaklık farkı fazla olan karasal iklimin hâkim olduğu bölgelerde gözenekliliği ve su emme oranı düşük olan doğal taşlar kullanılmalıdır. Böylece bina dış yüzeyine veya atmosferik olaylara maruz kalabilecek

bölgelere döşenen doğal taşların hem kullanım ömrü artacak hem de ekonomik bakımdan en uygun şekilde değerlendirilmesi sağlanacaktır.

Katkı Belirtme

Çalışma kapsamında kullanılan doğal taşların analiz ve deneylerinin yapılmasında emeği geçen Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi bünyesinde yer alan Mineraloji-Petrografi Koordinatörlüğü’nün, Jeokimya Birimi’nin ve Endüstriyel Hammadde Malzemeleri Araştırma Birimi’nin değerli personeline teşekkürü bir borç biliriz.

Değinen Belgeler

- Akbay, D., Efe, T., Şengün, N., Demirdağ, S., Altındağ, R., Erinç Koççaz, C. 2012. Donma-Çözülme ve Termal Şok Koşullarının Bazı Mermerler Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. MERSEM’2012 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi 13-15.
- Altındağ, R., Alyıldız, I. S. 2004. Donma-Çözülme Periyotlarının Tüfün (Isparta-Dereboğazı) Fiziko-Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, 255-262, İzmir, Türkiye,
- Alyıldız, I. S. 2003. Isparta-Dereboğazı tüflerinde donma-çözülme periyotlarının fiziko-mekanik davranışlarına etkisi. Y. Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 63 s.
- Beier, N.A., Sego, D.C. 2009. Cyclic freeze-thaw to enhance the stability of coal tailings. Cold Regions Science and Technology 55, 278-285.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E. 2002. Donma-Çözülme Sürecinin Aksaray-İhlara Vadisi’nde Yüzeyleyen Selime İgnimbiritinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Semp., Konya, 189-196.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C. 1997. The Surficial Physical Deterioration Behaviour of Neogene Volcanosedimentary Rocks of Eskisehir-Yazılıkaya NW Turkey, Engineering Geology and The Environment, Yunanistan, 3065-3069.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C. 1998. Eskisehir-Yazılıkaya Çevresinde Yüzeyleyen Volkanosedimanter Kayaçların Donma-Çözünme Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Parametrelerinin Değişimi, Hacettepe Üniv. Yayınları, Yerbilimleri 20, 41-54.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Seğmenoğlu, Ç. 2004. Donma-çözülme sürecinin Ankara İgnimbiritinin

- jeomekanik özellikleri üzerine etkisinin doğal ve laboratuvar ortamında karşılaştırmalı olarak incelenmesi. KAYAMEK' 2004-VII. Bölgesel Kaya Mekanik Sempozyumu, 59-66, Sivas.
- Chen, T.C., Yeung, M.R., Mori, N. 2004. Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze-thaw action. *Cold Regions Science and Technology* 38, 127-136.
- Gökaltun, E. 2004. Atmosferik gaz ve asitlerin doğal taş yapı malzemeleri üzerindeki etkilerinin deneysel yöntemler ile analizi. Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 149-160, İstanbul.
- Gökaltun, E. 2011. The changes in the structure of limestones as a result of calcium sulfate (gypsum stone) formation caused by atmospheric pollutants. *World Applied Sciences Journal* 13, 2082-2088.
- Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Gomez-Heras, M., Marco-Castaño, L., Garcíadel Cura, M.A., 2013. Non-linear decay of building stones during freeze-thaw weathering processes. *Construction and Building Materials* 38, 443-454.
- Momeni, A., Abdilor, Y., Khanlari, G.R., Heidari, M., Sepahi, A.A. 2015. The effect of freeze-thaw cycles on physical and mechanical properties of granitoid hard rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, doi: 10.1007/s10064-015-0787-9.
- Mutlutürk, M., Altındağ, R., Türk, G. 2004. A decay function model for the integrity loss of rock when subjected to recurrent cycles of freezing-thawing and heating-cooling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 41(2), 237-244.
- Nicholson, D.T., Nicholson, F.H. 2000. Physical deterioration of sedimentary rocks subjected to experimental freezing and thawing. *Earth Surf Process Landforms* 25, 1295-1307.
- Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı, A.H. 2006. Mermer. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Yayın No: 95.
- Proskin, S., Segó, D., Alostaz, M. 2010. Freeze-thaw and consolidation tests on Suncor mature fine tailings (MFT). *Cold Regions Science and Technology* 63, 110-120.
- Simonsen, E., Isacsson, U. 1999. Thaw Weakening of Pavement Structure in Cold Regions, *Cold Regions Science and Technology* 29, 135-151.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Sarıışık, A. 1995. Yapı taşı olarak kullanılan endüstriyel kayalara teknik bir bakış. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 21-22.
- T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2016. 2016 yılı Sektör Raporları, Doğal Taş Sektörü. Ankara.
- TS EN 1926. 2007. Natural stone test methods-Determination of compressive strength. Turkish Standards Institute.
- TS EN 1936. 2010. Natural stone test methods-Determination of real density and apparent density and of total and open porosity. Turkish Standards Institute.
- TS EN 12371. 2019. Natural stone test methods - Determination of frost resistance. Turkish Standards Institute.
- TS EN 12407. 2019. Natural stone test methods - Petrographic examination. Turkish Standards Institute.
- TS EN 13755. 2009. Natural stone test methods - Determination of water absorption at atmospheric pressure. Turkish Standards Institute.
- TS EN 15309. 2008. Characterization of waste and soil - Determination of elemental composition by X-ray fluorescence. Turkish Standards Institute.
- Tuğrul, A. 2004. The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. *Engineering Geology* 75 (3), 215-227.

