

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DONMA-ÇÖZÜLME VE TUZ KRİSTALLENMESİ DENEYİ SONRASI KAYA
ÖRNEKLERDE OLUŞAN AŞINMA KAYBI MİKTARLARININ
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nevzat DİREK
DANIŞMAN: Doç.Dr. Ali ÖZVAN

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DONMA-ÇÖZÜLME VE TUZ KRİSTALLENMESİ DENEYİ SONRASI KAYA
ÖRNEKLERDE OLUŞAN AŞINMA KAYBI MİKTARLARININ
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nevzat DİREK

Bu çalışma VYYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FLY-2017-6449
No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç.Dr. Ali ÖZVAN danışmanlığında, Nevzat DİREK tarafından sunulan "Donma-Çözülme ve Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Kaya Örneklerinde Oluşan Aşınma Kaybı Miktarlarının Belirlenmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 08/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç.Dr. Müge AKIN

İmza:

Üye: Doç.Dr. Levent SELÇUK

İmza:

Üye: Doç.Dr. Ali ÖZVAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ^{2019/40-I} 26/10/2019 tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza
Enstitü Müdürü
Prof.Dr. Suat SENSOY
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza

Nevzat DİREK

ÖZET

DONMA-ÇÖZÜLME VE TUZ KRİSTALLENMESİ DENEYİ SONRASI KAYA ÖRNEKLERDE OLUŞAN AŞINMA KAYBI MİKTARLARININ BELİRLENMESİ

DİREK, Nevzat

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali ÖZVAN

2019, 49 sayfa

Otoyollarda taşıtların, dalgakıranlarda dalgaların, dış mekan zeminlerde rüzgar ve suyun, kaldırım ve merdivenlerde ise yaya trafiğinin meydana getirmiş olduğu aşınma nedeniyle, yapılarda kullanılacak uygun doğal taşların belirlenmesi önemlidir. Binalarda ve tarihi eserlerde kullanılan doğal taşlar, aşınmayı hızlandıran donma-çözülme ve tuz kristalizasyonu döngüleri gibi atmosferik etkilere maruz kalmaktadır. Bu nedenle, doğal taş malzemelerin aşınma direnci, mühendislik planlarında uygun malzemenin seçimi için önemlidir. Avrupa'daki binaların döşemelerinde kullanılan doğal taşların aşınma direncini belirlemek için en yaygın kullanılan standart test yöntemleri, Geniş Disk (Dikey) Aşındırma (GDA) ve Böhme aşındırma (BA) testleridir. Bu amaçla, bu çalışmada her iki yöntem hem bozunmamış hem de bozunmuş (donma-çözülme ve tuz kristalleşmesi döngülerine maruz kalmış) yapıdaki aynı kaya numunelerine uygulanmıştır. Sedimanter ve magmatik gruplara ait on üç mermer numunesi, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra aşınma dayanımları açısından da test edilmiş ve bu kaya numuneleri üzerinde yapılan aşınma deneyleri sonucunda bozunmaların aşınma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikle BA testinde, bozunmanın artması ile aşınmanın arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, GDA testi ile BA testi arasında istatistiksel olarak güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan aşınma direnci yöntemlerinin her ikisi de tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler göstermiştir. İlaveten, her iki testte de, aşınma değerinin kütle kaybından belirlenmesi durumunda daha doğru sonuçların elde edileceği ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Böhme aşındırma deneyi, Donma-çözülme, Geniş diskli aşındırma, Kaya malzeme, Tuz kristallenmesi.

ABSTRACT

DETERMINATION OF ABRASION LOSS VALUE AFTER FREEZING-THAWING AND SALT CRYSTALLIZATION TEST IN ROCK SPECIMENS

DİREK, Nevzat

M. Sc. Thesis, Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali ÖZVAN

2019, 49 pages

It is critical to make a decision for the proper natural stones in civil engineering structures because of the abrasions created by vehicles on the roads, waves on breakwater, wind and water on outdoor flooring and pedestrians on sidewalks and stairs. Natural stones used in the buildings and historical monuments are exposed to atmospheric effects such as freezing and thawing and salt crystallization cycles which accelerates abrasion. Therefore, wear resistance of natural stone materials is significant for choice of proper materials in engineering plans. Two different abrasion tests that the Wide Wheel abrasion (WWA) test and the Böhme abrasion (BA) test are among the most widely used standard test methods to determine the abrasion resistance of natural stones used for flooring in buildings in Europe. For this purpose, these methods were applied on the same rock samples both on undeteriorated and deteriorated (was subjected to freezing and thawing and salt crystallization cycles) in this study. Thirteen different natural stones belonging to sedimentary and igneous groups were tested for their abrasion resistance as well as physical and mechanical properties and as a result of the abrasion tests carried out on these rock samples, the effect of deterioration on abrasion was investigated. Especially in BA test, it was determined that the abrasion increased with the increment of deterioration. A statistically noteworthy correlation was established between the GDA test and the BA test in this study. Also, both methods of abrasion resistance employed in this study displayed statistically significant correlations with uniaxial compressive strength (UCS). In addition, it was revealed that more accurate results in both tests, when the determination of the abrasion value from mass loss.

Keywords: Böhme abrasion, Freezing and thawing, Wide Wheel abrasion test , Rock material, Salt crystallization.



ÖN SÖZ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu yüksek lisans tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FLY-2017-6449 No'lu "Donma-Çözülme ve Tuz Kristallenmesi Denevi Sonrasında Kaya Örneklerde Oluşan Aşınma Kaybı Miktarlarının Belirlenmesi" isimli araştırma projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez çalışmasını kapsayan sürecin başından sonuna kadar, maddi ve manevi her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Ali ÖZVAN'a çok teşekkür ederim. Tezin son halinin ortaya çıkmasında katkılar sağlayan tez jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. Müge AKIN'a ve Doç. Dr. Levent SELÇUK 'a katkı ve görüşlerinden dolayı teşekkür ederim. Yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden ve her türlü bilgi ve belge paylaşımında bulunan, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Öğretim Üyesi olan sevgili eşim Dr. Yaşar SUBAŞI DİREK'e çok teşekkür ederim. Ayrıca bütün deneylerimin yapımı ve tez yazımı sırasında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Yüksek Mühendisi Sayın Dr. Elif ERDEVE ÖZVAN'a ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Mesut BOR'a teşekkürlerimi sunarım.

2019

Nevzat DİREK



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Materyal.....	7
3.2. Yöntem	7
3.2.1. Numune tanımlama aşaması	8
3.2.2. Laboratuvar çalışması	8
3.2.2.1. Yapay bozulma Deneyleri	9
3.2.2.1.1. Donma –Çözülme Deneyi	9
3.2.2.1.2. Tuz Kristallenmesi Deneyi	11
3.2.2.2. Geniş Diskli aşındırma Deneyi(GDA) (TS EN 14157,2017).....	13
3.2.2.3. Böhme Aşındırma Deneyi (BA) (TS EN 14157,2017).....	15
3.2.2.4. Mekanik deneyler	17
4. BULGULAR VE TARTIŞMA..	19

	Sayfa
4.1. Test Edilen Kaya Türlerinin Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri	19
4.2. Test edilen numunelerin fiziksel özellikleri	21
4.3. Test edilen numunelerin mekanik özellikleri	23
4.4. Test edilen numunelerin hızlandırılmış yapay bozunma test sonuçları.....	26
4.4.1. Donma-Çözülme Deneyi	27
4.4.2. Tuz Kristallenmesi Deneyi	29
4.5. Test edilen numunelerin aşınma direnci test sonuçları	31
4.5.1. Geniş Diskli aşınma Deneyi (GDA).....	32
4.5.2 .Böhme Aşındırma Deneyi (BÖ)	35
4.6. GDA ve BA deneyleri sonuçları arasındaki ilişki	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
5.1. Sonuçlar	43
5.2. Öneriler	44
KAYNAKLAR	45
ÖZ GEÇMİŞ	49

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Yapay bozunma deneyleri ve Standartlar.....	9
Çizelge 4.1. XRF analizlerine dayanan majör oksit minerallerinin özeti.....	19
Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan numunelerin Petrografik tanımları ve mikro görüntüler	20
Çizelge 4.3. Test edilen Numunelerin Fiziksel özellikleri	22
Çizelge 4.4. Test edilen numunelerin L ve N Tipi Schmidt çekici ile ölçülen değerler	23
Çizelge 4.5. Test edilen numunelerin V_p ve V_s dalga hızları ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri	25
Çizelge 4.6. Donma Çözülme deney sonucu numunelerin Kuru haldeki V_p hızlarının test edilen numunedeki değişimi	27
Çizelge 4.7. Tuz kristallenmesi deney sonucu numunelerin katı haldeki V_p hızlarının değişim yüzdeleri	29
Çizelge 4.8. Geniş Diskli aşındırma deneyi (GDA) sonuçları	32
Çizelge 4.9. Böhme aşındırma deney sonuçları	35
Çizelge 4.10. Geniş Disk Dikey aşındırma için önerilen denklemlerin ölçülmüş ve tahmin edilen değerler	40

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan Bazı numunelere ait görüntü	9
Şekil 3.2. Donma Çözülme deneyi çalışmalarına ait görüntü.....	10
Şekil 3.3. Donma ve çözülmede Parçalanan İgnimbiritlere ait görüntü.)	11
Şekil 3.4. Tuz Kristallenmesi deneyine ait kurutma ve çözeltilerde bekletme çalışmalarına ait görüntü	12
Şekil 3.5. Tuz kristallenmesi deneyi öncesinde ve sonrasında killi kireç taşında değişen pürüzlülüğe ait görüntü. (Deere ve Miller, 1966.....	12
Şekil 3.6. Geniş Diskli Aşındırma cihazı.....	13
Şekil 3.7. Oluk açıklığının ölçümüne ait şema.....	14
Şekil 3.8. Oluğu gösteren deneye tabi tutulmuş numune örnekleri.....	15
Şekil 3.9. Böhme Aşınma cihazına ait bir görüntü.....	16
Şekil 4.1. Test edilen numunelerin fiziksel özelliklerin ortalama değerlerine ait sütun grafiği.....	22
Şekil 4.2. Test edilen numunelerin L ve N Tipi Schmidt çekici geri tepme değerlerine ait grafik.....	24
Şekil 4.3. Test edilen numunelerin V_p ve V_s değerlerine ait sütun grafiği.....	25
Şekil 4.4. Test edilen numunelerin hesaplanan ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerlerine ait sütun grafiği	26
Şekil 4.5. Donma-Çözülme testi sonrasında kuru haldeki V_p hızlarının test edilen numunelerdeki değişimi.....	28
Şekil 4.6. Donma-çözülme deneyi sonrası ignimbirit örneğindeki 30uncu çevrime ait görüntü	28
Şekil 4.7. Tuz kristallenmesi testi sonrasında kuru haldeki V_p hızlarının test edilen numunelerdeki değişimi.....	30
Şekil 4.8. Tuz kristallenmesi etkisi ile numunelerde 21inci çevrim sonrasında meydana gelen bozunmalar.	30
Şekil 4.9. Geniş Diskli Dikey aşındırma testi sonuçlarına ait sütun grafikleri.....	33

Şekil**Sayfa**

Şekil 4.10. Şekil 4.10. Travertenin numunelerinde kesime bağlı olarak gözlenen farklı yüzeylere ait bir görüntü.....	34
Şekil 4.11. Böhme aşındırma testi sonuçlarına ait sütun grafikleri.	36
Şekil 4.12. BA ve GDA % kayıp sonuçları arasındaki ilişkiye ait grafik	38
Şekil 4.13. BA ve GDA aşındırma sonuçları arasındaki ilişkiye ait grafik.....	39
Şekil 4.14. Dikey aşındırma için önerilen denklemlerin ölçülmüş ve tahmin edilen değerlere ait grafikler. Böhme kütle kaybı (a) (%), Böhme hacim kaybı (b)(m ³)	41
Şekil 4.15. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile aşındırma Testlerinden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiler	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

ΔV (mm ³)	16 döngüden sonraki hacim kaybı (mm ³),
Δm	16 döngüden sonraki kütle kaybı (g),
ρ_b	Numunenin görünür yoğunluğu (g/mm ³)
Vp	Kayaların Sıkışma dalga hızı
Vs	Kayaların kesme dalga hızı
R ²	Regresyon katsayısı
γ_k	Numunenin kuru birim Hacim ağırlığı
γ_d	Numunenin doygun Hacim Ağırlığı
N	Newton
ml	Mili litre
kN	Kilo Newton
n	Porozite
kgm	Kilogram metre
kN/m ³	KiloNewton /metreküp

Kısaltmalar

Açıklama

GDA	Geniş Diskli (Dikey) Aşındırma Deneyi
BA	Böhme Aşındırma Deneyi
ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği
XRF	X-ışınları Floresans spektroskopisi analizleri
UCS	Tek eksenli basınç dayanımı deneyi
KSE	Kütlece su emme
MgSO ₄	Magnezyum sülfat
kHz	Kilohertz



1. GİRİŞ

Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan farklı mermerler numunelerinin yapay bozunma testleri sonrasındaki aşınma kayıpları iki farklı test yöntemi ile araştırılmış ve bu testler arasındaki ilişkiler bu çalışma kapsamında belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan tez çalışmasının kapsamı, amacı ve önemi bu bölümde sunulmuştur.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Yapı mühendisliğinde özellikle taş bünyeli elemanlar, aşınma olayının etkisinde kalırlar. Bu nedenle, beton yollar, hava meydanları, merdiven basamakları, döşemeler gibi yerlerde kullanılan malzemelerin aşınmaya dayanıklı olması beklenmektedir. Doğal taşlar, doğadan çıktıktan sonra ticari olarak işletilebilen en eski inşaat malzemeleridir ve tarih boyunca insanoğlu tarafından yapılarda ve anıtlarda estetik ve dayanıklı olmaları sebebiyle kullanılmıştır. Zamanla kullanımı artan doğal taşların günümüzde de özellikle inşaat işlerinde (kaplama, döşeme, basamak, heykelticilik, yol yapımı), porselen, cam sanayi (kuvars), optik sanayi ve süs eşyalarının yapımında da kullanıldığına sıkça rastlamaktayız.

Mermer veya beton yüzeylerin aşındırıcı maddelerle teması sonrasında oluşan sürtünme ve sonrasında malzeme kütlelerinde meydana gelen azalmaya aşınma kaybı denir. Aşınma, yavaş tempoda olan fiziksel ve mekanik bir olaydır. Kaya ya da beton yüzeyine sürtünme veya çarpma şeklinde gelen kuvvetler, yüzeyin aşınmasına yol açar. Aşınma miktarı, malzemenin türüne ve sürtünen yüzeylerin biçimine bağlıdır. Sürtünen hareketli parçaların bulunduğu aletler, üzerinden hareketli cisimlerin geçtiği yol, döşeme ve benzeri malzemeler, zamanla aşınma etkisine girer ve bu aşınan miktarlar malzemenin özelliğini kaybetmesine neden olur. Malzemede aşınma ile ortaya çıkabilecek kütle kayıpları deneysel çalışmalar ile önceden belirlenebilir.

Doğal taşın farklı işlevlerde kullanılabilmesi için fiziksel ve mekanik özelliklerinin ve dayanımlarının bilinmesi, dolayısıyla bazı deneylere tabi tutulması gerekmektedir. Bu tezin amacı farklı mineralojik, kimyasal ve doku özelliklerine sahip

13 adet farklı kaya örneğinin aşınmalar karşısında nasıl şekilsel bozukluk göstereceğinin saptanmasıdır. Bu çalışmanın konusu ve içeriği, ticari olarak mermer olma potansiyeline sahip farklı kayaların araziden alındıkları (taze) halleri ile laboratuvar ortamında yapılmış donma-çözülme (TS EN 12371) ve tuz kristallenmesi ($MgSO_4$) (TS EN 12370) gibi bozunma deneyleri sonrasındaki hallerinin aşınma miktarlarını belirlemek ve her üç haldeki kayanın aşınma miktarını karşılaştırmaktır. Bu kapsamda, kaya örneklerinin aşınmaya karşı olan dirençlerinin ölçülmesi için Böhme Aşındırma cihazı ve Geniş Diskli (Dikey) Aşındırma cihazı kullanılmış ve bu cihazlardan elde edilen sonuçlar arasında da istatistiksel ilişkiler incelenmiştir.



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Bozulma ve bozunma sonrası kayalarda oluşan aşınma kayıplarının belirlenmesi amacıyla yapılan bazı çalışmalar bu bölümde özetlenmiştir.

Mac Gregor ve Chiu (2000), aşınma ve sertlik arasındaki ilişkileri araştırmak için mermer ve granit örnekleri üzerinde çalışmış, aşınma ve sertlik arasında bir logaritmik ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Sahlin ve ark. (2001), kireçtaşları üzerinde aşınma testleri yapmışlardır. Geniş diskli (Dikey) aşındırma testinin değerlendirilmesinde kısıtlı çalışma olduğunu ve geliştirilmesi gerektiğini önermişlerdir.

Yavuz ve ark. (2002), “Muğla Yöresi Mermerlerinin Mineralojik, Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri” başlıklı çalışmalarında, Muğla yöresi mermerleri üzerinde yapılan eğilme direnci, Böhme yüzeyel aşınma direnci, Shore sertliği ve Schmidt darbe dayanımı testlerini, sırasıyla TS 699 ve ISRM (1981) standartlarına uygun olarak yapmışlardır. Sonuçları itibariyle, mermer türlerine oranla daha iri kristalli olan Üst Kretase yaşlı mermerlerin (Oruç Beyaz, Özer Beyaz, Mersan Beyaz) eğilme ve darbe dirençlerinin daha düşük, Shore sertliği ve Schmidt darbe dayanım testlerinin ise yaklaşık aynı değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Van ve ark. (2007), yapay bozunma deneylerinden tuz kristallenmesinin, kayalarda belli hasarlara yol açtığını, iki kireçtaşı numunesi üzerinde yaptıkları deneylerle kanıtlamışlardır. Bu çalışmaların sonucunda bozunmadan çok kılcallık yapısının daha etkin rol oynadığı gözlenmiştir.

Türkmenoğlu (2007), “Yapı Taşı Olarak Kullanılan Bazı Kayaların Fizikomekanik Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı tez çalışmasında, kayaların yüzey aşınma dayanımlarının belirlenmesi için TS 699’a uygun olarak numune hazırlamıştır. Böhme yüzey aşındırma cihazı ile aşındırma deneyi yaparak, kullandığı kayaların aşınma miktarı ile fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir.

Akın (2008), “Eskipazar (Karabük) Travertenlerinin Bozunmasının Araştırılması” konulu çalışmasında, Travertenler üzerindeki bozunmayı araştırırken TS-699 standartlarına uygun olarak hazırladığı küp numuneler üzerinde yapay bozunma deneylerini uygulamış, bozunma sonrası ve öncesine ait malzemelerin dayanımlarını

belirlemiştir. Her 5 çevrimde alınan örnekler üzerinde yapılan dayanım deneyleri sonucu, dayanım azalmasının bozunma ile olan ilişkisini incelemiştir.

Ürünveren (2008), “Kadirli (Osmaniye) Kösepinarı Köyü ve Çevresindeki Mermerlerin Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi” başlıklı tez çalışmasında, mermer ocaklarından alınan numuneler üzerinde Böhme Aşındırma deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonucunda, tek eksenli basınç direnci, Böhme yüzeysel aşınma direnci ve darbe dayanım değerlerinin, doğal kayaların sahip olması gereken sınır değerleri taşıdığı öne sürülmüştür.

Karaca ve ark. (2010), beş farklı kayanın donma-çözülme döngüsünden önceki BA ve GDA değerlerini araştırmışlardır. BA ve GDA test yöntemlerinin, mermerler, kireçtaşları ve travertenlerin aşınma değerlerinin belirlenmesinde kullanılabileceğini, ancak bu testin, donma-çözülme döngülerinden sonra, oniks ve granit aşınma değerlerinin belirlenmesi için uygun olmadığını ortaya koymuşlardır.

Çobanoğlu ve ark. (2010), Türkiye'nin batısındaki farklı lokasyonlardan aldıkları kireçtaşı, mermer, dolomitik kireçtaşı ve traverten örnekleri üzerinde GDA ve BA test sonuçlarını değerlendirmişler ve karbonat kayalar için GDA ve BA arasında hacim kaybı (Eş 2.1) ve % kütle kaybı (Eş 2.2) için lineer birer denklem ve önermişlerdir.

$$GDA = 0.452BA(cm^3) + 9.147 (R^2 = 0.85) \quad (2.1)$$

$$GDA = 0.67BA(\%)+ 8.37 (R^2 = 0.86) \quad (2.2)$$

Akın ve Özsan (2011), birkaç hızlandırılmış bozunma testi kullanılarak travertenlerin çeşitli çevresel işlemlere karşı uzun vadeli performansını / dayanıklılığını araştırmışlardır. Hızlandırılmış bozunma testlerinden önce, örnekleri gözenekliliklerine göre iki gruba ayırmışlardır. Bu çalışmalarında tuz kristallenmesi sonrası kaybı belirlemek için Na₂SO₄ ve MgSO₄ tuzları kullanmışlar ve Na₂SO₄ tuzunun bozunma testlerinde daha yıkıcı etkiye neden olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca yeniden kristalleşme basıncının etkisini gözlemlemişler ve gözenekli sarı traverten ile karşılaştırıldığında daha az gözenekli numunelerde kristalleşmenin daha şiddetli olduğunu belirlemişlerdir.

Marini ve ark. (2011), GDA deneyinde aşındırıcı malzemenin (korundum) etkin kullanımı ve kalibrasyon için kullanılan Boulonnais mermeri yerine, farklı taşlarla kalibrasyonun uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Canaloni mermerinin aşınma özelliklerinin, Boulonnais mermerine benzediğini ve Boulonnais mermerine alternatif olarak Canaloni mermerini önerdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca aynı aşındırıcı malzemenin üç kez kullanılabilceğini de öne sürmüşlerdir.

Karaca ve ark. (2012), tortul, metamorfik ve magmatik kökenli 25 farklı doğal taş kullanarak GDA ve BA test sonuçlarını ilişkilendirmiştir. Test edilen örneklerin aşınma direncinin yanı sıra fiziko-mekanik özellikleri incelenmiş, BA ve GDA test sonuçları arasında doğrusal tekli regresyon analizi yapılmış ve aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir. (Eş. 2.3).

$$GDA = 1.711BA + 15.3 \quad (R^2 = 0.85) \quad (2.3)$$

Yılmaz ve ark. (2017), Geniş Diskli Aşındırma (GDA) testi ile granitlerin kantitatif petrografik özelliklerini belirlemişlerdir. Bu amaçla, mineral modal bileşimlerinde, tane büyüklüğü dağılımında, sertlik, gözeneklilik ve yoğunluk değerlerinde farklılıkları gösteren granitler üzerinde petrografik analizler ve aşınma testleri yapılmıştır. İstatistiksel analizlerin sonuçları, test edilen granitlerin aşınma direncinin, tane büyüklüğünden ziyade modal mineral kompozisyonundan etkilendiğini göstermiştir. Aynı zamanda, kuvars (Q) ile toplam feldispat (F) oranı (Q/F) ve GDA arasında güçlü bir istatistiksel ilişkiye ($R^2 = 0.83$) ulaşmışlardır (Eş 2.4).

$$GDA = -2.7137 \left(\frac{Q}{F} \right) + 18.497 \quad (R^2 = 0.83) \quad (2.4)$$

(Çobanoğlu ve Çelik 2017), Böhme aşınma testinin deney prosedürünün pratik olmaması nedeniyle, daha pratik ve ekonomik yöntem olan Geniş Disk aşınma testi sonuçlarının tahmin edilmesini amaçlamıştır. Bu çalışmada, 32 numunenin bazı fiziksel özellikleri, sertlik değerleri, Geniş disk aşınma (GDA) ve Böhme aşınma (BA) değerleri, tek eksenli basınç dayanım değerleri belirlenmiş ve GDA değerlerinin diğer özelliklerden ve Böhme değerlerinden tahmini için makul ilişkiler önerilmiştir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin özellikleri ile çalışma sırasında yöntem olarak uygulanan aşamalar verilmiştir.

3.1. Materyal

Bu çalışmanın yapılması aşamasında materyal olarak farklı özelliklere sahip 13 adet ticari olarak mermer özelliğine sahip kaya örneği kullanılmıştır. Deneysel çalışmaya dayalı bu tez projesinde, ilk aşamada kesme ve düzeltme diskleri, boyutların belirlenebilmesi için kumpas, numune kapları, etüv, donma kabini ve deneysel aşamada saf su, MgSO₄ tuzu gibi sarf materyal kullanılmıştır.

Çalışma konusu kapsamında çeşitli mermerlere ait küp numuneler TS 699 standartlarına uygun olarak kesilip (7x7x7cm³) bunlar üzerinde yapay bozulma deneyleri (donma - çözülme ve MgSO₄ tuz çözelti) farklı döngüler halinde yapılarak, her bir numunenin bozunma miktarları belirlenmiştir.

Kaya malzemelerin aşınma miktarları iki ayrı yöntem ile belirlenmiştir. Bu deneylerden birincisi, Geniş Diskli (Dikey) Aşındırma (GDA) (TS EN 14157, 2017) deneyidir. İkinci deney yöntemi ise Böhme Aşındırma (BA) deneyidir (TS EN 14157, 2017).

3.2. Yöntem

Bu çalışma genel olarak, literatür taraması, laboratuvar deneyleri ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada tamamlanmıştır.

Çalışmada kullanılacak malzemenin seçimi için jeolojik ve deneysel bilgiler elde edilmiş ve konu ile ilgili olan çalışmalara ait literatür taraması yapılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir. Konu ile ilgili literatür çalışmalardan elde edilen özetler tezin “Kaynak Bildirileri” başlığı altında verilmiştir.

3.2.1. Numune Tanımlama Aşaması

Bu çalışmada kullanılan her kaya türünün mineralojik ve petrografik tanımının yapılabilmesi için numunelerin, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında ICP-MS ve XRF analizlerine dayanılarak major oksit yüzdeleri belirlenmiştir. Polarizan mikroskop altında ince kesitlerin mineralojik, petrografik ve dokusal tanımları ise Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nde yapılmıştır. X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi analizleri, element kompozisyonu belirlemede kullanılmıştır. XRF analizleri Bruker S8 Tiger model cihaz kullanılarak elde edilmiştir.

3.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Ön arazi çalışmaları sırasında belirlenen sahalardan alınan numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik analizler yapmak amacıyla küp numuneler hazırlanmıştır. Bu deneyler, düzenli şekilli, 7x7x7cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Yapay bozunma deneyleri sonucunda elde edilen veriler ve yapısal değişiklikler, başlangıç numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla başlangıç numunelerine uygulanan tüm testler, bozunma sonrasındaki numunelere de uygulanmıştır. Kaya numunelerinin homojen olmaması nedeniyle deneyler öncesinde hazırlanan numuneler ve deneylerde kullanılacak yüzeyler titizlikle seçilmiş ve her bir yüzey numaralandırılmıştır (Şekil 3.1).

Laboratuvar çalışmalarında, boy ve çapın belirlenmesi için kumpas aleti, numunelerin doygun hale getirilmesi için saf su, kurutulması için de 105 °C'ye ayarlı etüv kullanılmıştır. Tuz kristallenmesi için MgSO₄ tuzu ve geniş hacimli kaplar, donma çözülme deneyi için -18 °C dereceye ayarlı derin dondurucu kullanılmıştır. Alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler, uygun standartlar kullanılarak yapılmış ve yorumlanmıştır. Deneysel çalışmalar, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin ve Kaya Mekaniği laboratuvarında yürütülmüştür.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan bazı numunelere ait bir görüntü.

3.2.2.1. Yapay Bozunma Deneyleri

Geniş diskli aşındırma deneyi ile Böhme aşındırma deneylerine başlamadan önce, yapay bozunma deneyleri standartlara uygun olarak yapılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Yapay bozulma deneyleri ve standartlar

Deney Türü	Uygulanan Deneyler	Deney Standardı
Yapay Bozunma Deneyleri	Donma –Çözülme Deneyi	TS12371 (2010)
	Tuz Kristallenmesi Deneyi	RILEM (1980)

3.2.2.1.1. Donma – Çözülme Deneyi

Donma dayanım deneyleri (TS EN 12371, 2010) için seçilen numuneler TS EN 1926 (2007)'da belirtilen boyutlara göre kesilmiştir. Çalışmada donma-çözülme

deneyleri için her mermer örneğinden 3 adet 7x7x7cm boyutlarındaki küp numuneler birbirine temas etmeyecek şekilde (1.5cm aralıkla) kap içerisine yerleştirilmiştir. Daha sonra numune yüksekliğinin yarısına kadar saf su doldurulmuş ve 60±5 dakikaya erişildiğinde numunelerin ¾'ü su içerisinde kalacak şekilde tekrardan kap içerisine saf su ilave edilmiştir. Başlangıçtan itibaren geçen süre 120±5 dakikaya eriştiğinde numuneler tamamen suya batırılmış ve 48±2 saat suda bekletilmiştir. Bu sayede numunelerin suya tam doygun hale gelmesi sağlanmıştır. Bu işlem sonrasında donma-çözülme periyoduna geçilmiştir. Her bir döngü, havada 6 saatlik donma periyodu (Şekil 3.2) ve bunu takiben numunelerin suya daldırılmış durumda bulunduğu 6 saatlik çözülme periyodundan ibaret olmuştur.

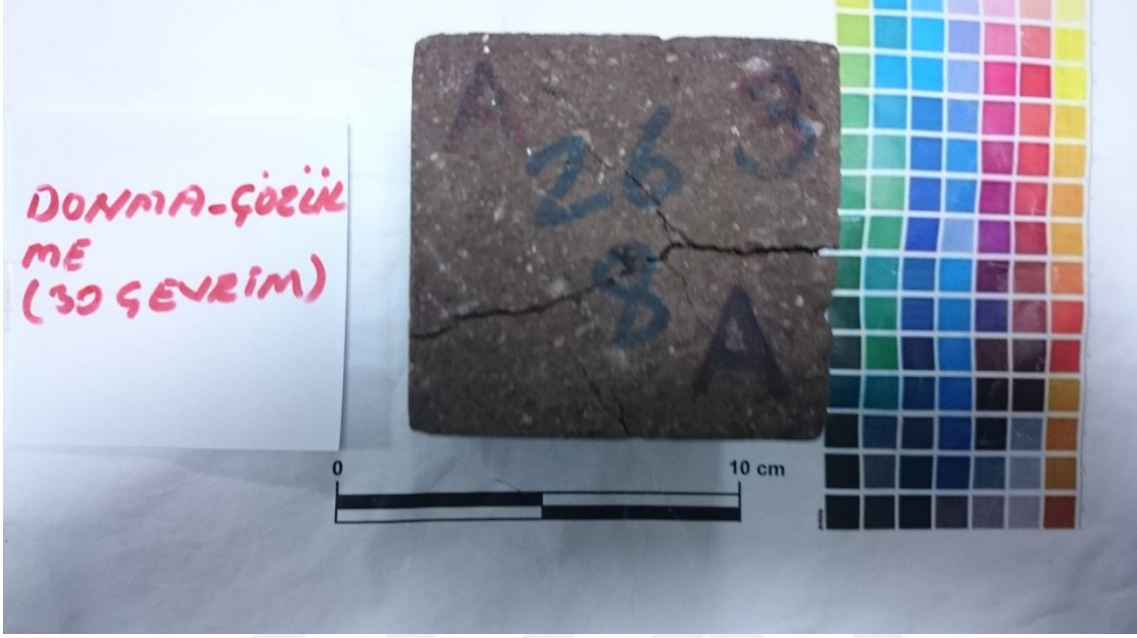
İzin verilen sıcaklık aralığı, deneye tâbi tutulan taşın görünür yoğunluğu, gözenekliliği ve su emmesiyle ilişkili olan farklı soğutma, donma ve çözülme hızlarının sonucu olmuştur. Döngüler, numuneler bozuluncaya kadar ve en büyük döngü sayısına erişilinceye kadar tekrar edilmiştir. Deneyde kullanılan numunelerin donma sırasında, gözeneklerinde gerilme koşulları oluşturularak kayaların gözenek suyu basıncı etkisi altında kalması sağlanmıştır.



Şekil 3.2. Donma çözülme deneyi çalışmalarına ait görüntüler.

Çevrim sayısı, Binal ve ark.(1997)'na göre Doğu Anadolu Bölgesi iklimine uygun olarak seçilmiş ve 30 olarak alınması uygun görülmüştür. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda kaya numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla, numunelerin kuru ve doygun birim hacim ağırlık,

gözeneklilik ve tek eksenli sıkışma dayanımı, Schmidt çekici ve ultrasonik hız değerleri belirlenmiştir. Donma-çözülme deneyleri devam edeken 20. çevrim sonucunda ignimbiritlerde parçalanmanın başladığı gözlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Donma-Çözülmede parçalanmış ignimbiritlere ait bir görüntü.

3.2.2.1.2. Tuz Kristallenmesi Deneyi

Gözenek yapılarının fazla olduğu traverten ve ignimbirit gibi kayalarda kristalleşme basınçları, kayada bozunma hızını artırmakla beraber, kayanın duraylılığını kaybetmesine de neden olmaktadır (Akın, 2008; Akın ve ark., 2016; Erdoğan ve Özvan, 2015). Tilt testi öncesinde ayrılmış yüzeylerin test sonuçlarına etkisini görebilmek amacıyla, donma-çözülme deneyinin dışında, $MgSO_4$ çözeltisi içerisinde tuz kristallenmesi deneyi yapılmıştır. Araziden alınan $7 \times 7 \times 7$ cm boyutlarında ve farklı bileşimde olan kaya numunelerinin her birinden 3 adet küp örneği tuz kristallenmesi deneyine tabi tutulmuştur. Tuz kristallenmesi deneyi RILEM (1980) standartlarına göre yapılmıştır. Yapılan bu deneye göre, numuneler %15 magnezyum sülfat çözeltisi içerisindeki kaya numuneleri çözeltiye tam olarak batırılmış ve 2 saat bekletilerek gözeneklerin tuz çözeltisi ile doymun hale gelmesi sağlanmıştır (Şekil 3.4). Çözeltiden alınan numuneler su ile yıkandıktan sonra $105 \pm 5^\circ C$ 'lik etüv de 22 saat kurumaya bırakılmıştır. 2 saat suda bekletilme ve 22 saat etüv de kurutma işlemi bir çevrime

karşılık gelmekte olup, bu şekilde 30 adet çevrim uygulanmıştır. Tuz kristallenmesi işleminde dayanımı az olan kayaların bazı kısımlarında çözümler olduğu tespit edilirken, dayanımı düşük ve gözenekli yapısından dolayı killi kireçtaşı ve ignimbirit gibi bazı kayaların çözülmeye başlamadığı gözlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Tuz kristallenmesi deneyine ait kurutma ve çözeltide bekletme çalışmalarına ait görüntüler.



Şekil 3.5. Tuz kristallenmesi deneyi öncesinde ve 30 Çevrim sonrasında killi kireçtaşında değişen pürüzlülüğe ait bir görüntü.

3.2.2.2. Geniş Diskli Aşındırma Deneyi (GDA) (TS EN 14157, 2017)

Deney, standart şartlar altında kullanım esnasında numune yüzeyinin bir aşındırıcı malzemeyle aşındırılması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bu deney için aşındırıcı olarak, FEPA 42 F 1984 standardına uygun ve tane büyüklüğü 80 olan korundum tozu (beyaz erimiş alümina) kullanılmıştır. Ayrıca standarda uygun olarak aşındırıcı malzeme üç defadan fazla kullanılmamıştır.

Aşındırma makinası (şekil 3.6), başlıca bir aşındırma diski, aşındırıcı malzeme akışını düzenlemek için bir veya iki kontrol vanasına sahip olan bir ana hazne, akış yönlendirici bir hazne, sıkıştırma arabası (trolleyi) ve 14kg ağırlığa tekabül eden bir karşı ağırlıktan oluşmaktadır.



şekil 3.6. Geniş Diskli Aşındırma cihazı.

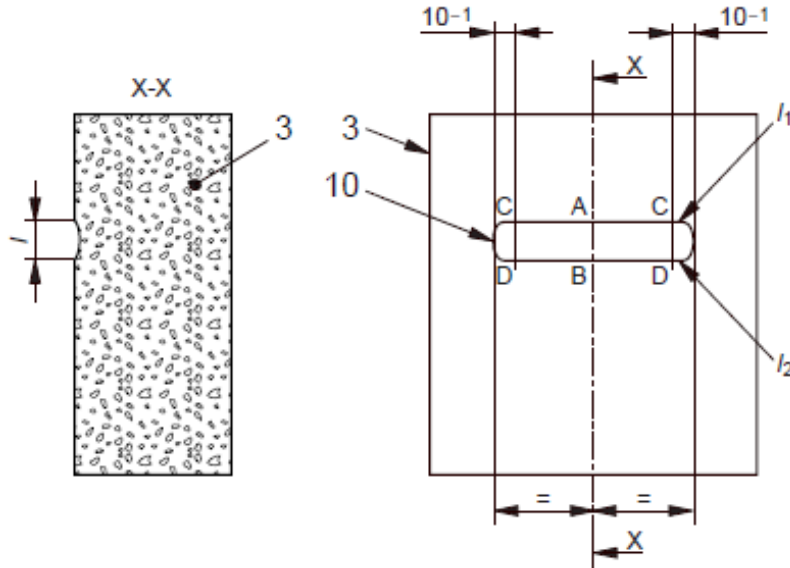
Deney yöntemi gereğince, ana hazne kuru aşındırıcı malzeme (en çok nem oranı %1 olan) ile doldurulurken, sıkıştırma arabası geniş aşındırma diskinden

uzaklaştırılmıştır. Numune, herhangi bir kenarından en az 15 mm mesafede olacak şekilde sıkıştırma arabası üzerine konumlandırılmış ve bir takoz üzerine sabitlenmiştir.

Numune, aşındırma diski ile temas haline getirildikten sonra kontrol vanası açılmış ve geniş aşındırma diski (60 ± 3) saniyede 75 devir yapacak şekilde, motor eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Deney esnasında, aşındırıcı malzemenin akış sürekliliği gözle kontrol edilerek, disk 75 devir yaptıktan sonra aşındırıcı akışı ve disk durdurulmuştur. Her bir numune üzerinde mümkün olduğu kadar iki deney gerçekleştirilmiştir.

Oluşan oluğun ölçülmesini kolaylaştırmak için numune bir büyüteç altına yerleştirilmiş ve 0.5 mm uç çapına ve 6H veya 7H sertliğe sahip olan bir kurşun kalem kullanılarak, bir cetvel ile oluğun dış uzunlamasına sınırları (l_1 ve l_2) çizilmiştir (Şekil 3.7 – 3.8). Daha sonra oluk eksenine dik olarak, oluğun ortasında bir doğru (A B) çizilerek kaydedilmiştir. Kalibrasyon amaçları bakımından, üç adet ölçüm almak için oluğun uç kısımlarından (C D) ölçme işlemi (10 ± 1) mm tekrarlanmıştır.

Her bir numunenin sonucu, bir kalibrasyon faktörü ile düzeltilen ölçüdür ve daha sonra bu değer en yakın 0.5 mm'ye yuvarlanmıştır. Kalibrasyon faktörü, 20.0 mm ile kaydedilen kalibrasyon değeri arasındaki aritmetik farktır. Bir numune üzerinde iki oluk açılması durumunda, büyük değer sonuç olarak alınmıştır.



Şekil 3.7. Oluk açıklığının ölçümüne ait bir şema.



Şekil 3.8. GDA deneyine tabi tutulmuş numunelerde oluşan oluklara ait bir görüntü.

3.2.2.3 Böhme Aşındırma Deneyi (BA) (TS EN 14157, 2017)

7x7x7cm boyutlarında kesilen deney numunesi, üzerine standart aşındırıcının dağıtıldığı Böhme disk aşındırıcısının, deney hattına yerleştirilmesiyle bu deney yapılmıştır. Deney başlatıldığında disk döndürülmüş ve numune belirli sayıdaki döngü için (294 ± 3) N'luk bir aşındırma yüküne maruz bırakılmıştır (Şekil 3.9). Deney sonunda oluşan aşınma, numunedeki hacim kaybı olarak tayin edilmiştir.

Kullanılan standart aşındırıcı, standart granit numuneleri üzerinde deney yapıldığında 1.10 mm'den 1.30 mm'ye kadar, standart kireçtaşı numuneleri üzerinde deney yapıldığında ise 4.20 mm'den 5.10 mm'ye kadar aşınma sağlayacak şekilde tasarlanmış yapay korondum tozu olmalıdır. Bu gerekçelerle uyumluluk için, malzemenin homojenliği ve aşındırıcının kaba yoğunluğunun benzerliği ve sınıfı kontrol edilmiştir.

Aşındırma deneyinden önce ve her dört döngüden sonra, numune 0.1 yaklaşımla tartılmış ve 20 g standart aşındırıcı, deney hattı üzerine dökülmüştür. Numune, tutucu elemana bağlandıktan sonra ve numune temas yüzeyi ile deney hattı yüz yüze gelecek şekilde (294 ± 3) N'luk bir merkezi yük, numune üzerine uygulanmıştır. Hat üzerindeki

aşındırıcının, numunenin genişliği ile sınırlanan bir alan üzerinde eşit miktarda dağıtılmış olmasına dikkat edilerek disk harekete geçirilmiştir.



Şekil 3.9. Böhme aşınma cihazına ait bir görüntü.

Her numune, her biri 22 devirden oluşan 16 döngü halinde deneye tabi tutulmuştur. Her bir döngüden sonra, hem disk, hem de numunenin temas yüzeyi temizlenerek, numune 90° ye kadar döndürüldükten sonra daha önce kullanılmamış 20 g standart aşındırıcı hat üzerine tekrar dökülmüştür. Deney sonunda, numune, sabit kütleye gelinceye kadar kurutularak ve 0.1 g yaklaşımla tartılmıştır (mf).

Numune hacmindeki ortalama kayıp (ΔV) olarak 16 döngüden sonra aşındırıcının sebep olduğu aşınma, aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Eş.3.1)

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_b} \quad (3.1)$$

Burada;

ΔV mm³ yaklaşımla 16 döngüden sonraki hacim kaybı (mm³),

Δm ($m_i - m_f$) 0.1 g yaklaşımla 16 döngüden sonraki kütle kaybı (g),

ρ_b Numunenin görünür yoğunluğu veya çok tabakalı numuneler olması durumunda aşınan tabakanın aşınma öncesi görünür yoğunluğu (g/mm^3) dur.

3.2.2.4. Mekanik deneyler

Mekanik değerlerin belirlenmesinde tek eksenli basınç deneyi, Schmidt çekici ve ultrasonik hız yöntemi kullanılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (UCS) ISRM (2007)'de belirtilen ölçütlere göre taze küp örnekler üzerinde uygulanmıştır. Kapasitesi 2000 kN olan hidrolik baskı ile deneyler yapılmıştır. Yükleme hızı, örneklerin 5 ile 10 dakika arasında yenilenecek şekilde ayarlanmıştır. Deneyde her kaya grubu için en az 5 örnek deneye tabi tutulmaya çalışılmıştır.

Ayrıca her bir örneğin taze ve bozunmuş halleri üzerinden L ($0.735Nm=0.075kgm$) ve N ($2.207 Nm=0.225kgm$) tipi Schmidt çekici ile tahribatsız bir yöntem olan Schmidt çekici geri tepme değerleri ölçülmüştür (ISRM, 2014). Ölçümler her bir küp örneğin 6 yüzeyinden 20 adet ölçüm alınarak ortalaması değerlendirilmiştir. Tüm yüzeylerden ölçülen değerlerin, son aşamada ortalama geri tepme değerleri hesaplanmıştır. Ortalama değerler en büyük 10 değerlerin ortalaması olarak belirlenmiştir. Ölçümlerin hassas olması için küp örnekler mængenede sıkıştırılarak sabitlenmiştir. Tüm örnekler için ölçümler eşit koşullarda alınmıştır.

Ayrıca, alt ve üst yüzeyi biri birine paralel olan küp örnekleri üzerinde P dalgası hızları ölçülmüştür (ISRM, 2014). P dalga hızlarının ölçülmesi aşamasında, küp örneklerin her üç yüzeyinden de ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalamaları hesaplanmıştır. P dalga hızı, kaya örnekleri içerisinde geçirilen sıkışma (P) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla yapılmıştır. Ölçümler Pundit Plus test cihazı ve alıcı verici Transducer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler $7x7x7$ cm boyutlarındaki küp numunelerde kuru ve suya doymun durumlarda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ölçüm frekansı 54 kHz alınmıştır. Ultrasonik hızın rahat iletilebilmesi için, örneğin alt ve üst kısmına ultrason jeli sürülerek dalgaların kaya içerisindeki hızının rahat iletilmesi ve ölçümün doğru yapılması sağlanmıştır. Cihazın göstergesinden okunan dalgaların yayılma süreleri, numunenin boyutuna bölünerek her bir numune için P-dalga yayılma hızları hesaplanmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Test Edilen Kaya Türlerinin Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri

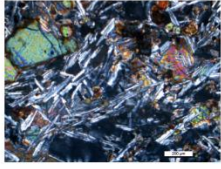
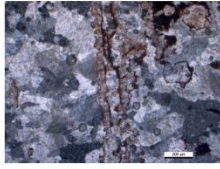
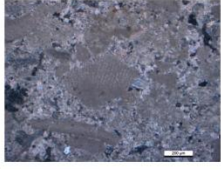
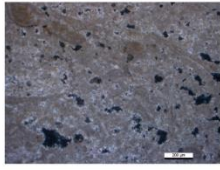
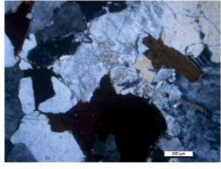
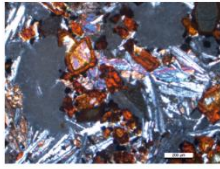
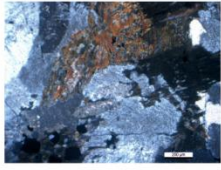
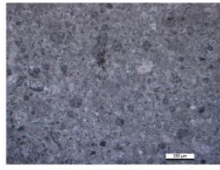
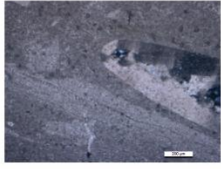
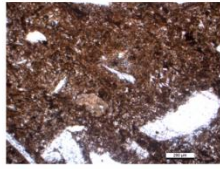
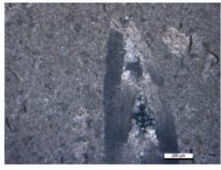
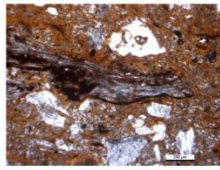
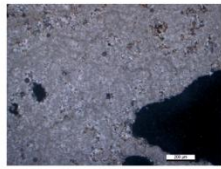
Bu çalışmada, çeşitli bölgelerindeki taş işleme tesislerinden toplam 26 adet kaya numunesi toplanmış ve toplanan bu numunelerden birbiri içerisinde farklılık gösteren sedimanter ve magmatik kökenli 13 farklı kaya numunesi, bu tez çalışması için seçilmiştir. XRF'e dayanan kaya numunelerinin yarı kantitatif element kompozisyonu ile kaya türlerinin petrografik isimleri sırasıyla Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, test edilen kayalar sedimanter (Kireçtaşı, Traverten), volkanik ve volkano - sedimanter kayalar (andezit, bazaltlar, ignimbiritler) ve magmatik kayalar (Granit) olarak üç gruba ayrılabilir.

Çizelge 4.1. XRF analizlerine dayanan major oksit minerallerin özeti

Örnek No	Kaya No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI
1	1	47.12%	18.63%	10.25%	5.24%	11.82%	3.82%	1.10%	1.34%	0.43%	0.18%	0.00%
2	2	1.77%	0.52%	0.56%	0.86%	53.41%	0.13%	0.06%	0.03%	0.06%	0.04%	42.55%
3	4	71.18%	13.34%	3.37%	0.55%	1.51%	2.82%	5.80%	0.48%	0.18%	0.06%	0.59%
4	5	60.95%	17.43%	3.06%	1.45%	4.67%	4.02%	6.27%	0.57%	0.34%	0.06%	1.12%
5	6	1.22%	0.38%	0.14%	2.96%	51.70%	0.03%	0.05%	0.02%	0.02%	0.01%	43.40%
6	8	1.02%	0.25%	0.09%	6.61%	47.71%		0.03%	0.01%	0.01%	0.01%	44.15%
7	12	0.05%	0.02%	0.06%	0.17%	55.96%					0.17%	43.50%
8	13	0.03%		0.79%	0.33%	55.41%					0.01%	43.40%
9	14	0.23%	0.07%	0.07%	0.52%	54.71%		0.01%		0.03%	0.02%	44.28%
10	15	46.63%	17.42%	12.95%	4.47%	9.35%	3.51%	1.57%	1.83%	0.83%	0.16%	1.15%
11	24	0.44%	0.14%	0.04%	0.31%	54.69%	0.03%			0.05%		44.23%
12	25	66.43%	14.19%	4.50%	0.19%	1.66%	5.16%	5.31%	0.41%	0.07%	0.15%	1.87%
13	26	66.76%	14.16%	4.71%	0.15%	1.61%	5.31%	5.36%	0.40%	0.07%	0.14%	1.17%

Bu gözlemler ve analizler incelendiğinde bazalt numunelerden 15 nolu numunede iddingsitleşmenin daha yoğun olduğu, kireçtaşlarının bazılarının çatlaklı, fosilli dokulara sahip olduğu, travertenlerde boşluk yapısı ve bantlaşmanın olduğu belirlenmiştir. Bu farklılıklar kayaların bozunması ve aşınması üzerinde etkili olabileceğinden tez çalışmasında kullanılmak üzere bu numuneler seçilmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan numunelerin petrografik tanımları ve mikro görüntüleri

Kaya Adı	Kayanın ince kesit görüntüsü	Petrografik tanım	Kaya Adı	Kayanın ince kesit görüntüsü	Petrografik tanım
(1) BAZALT		İntersertal dokulu, plajiyoklas, olivin, piroksen-ojit mineralleri Olivin kısmen iddingsitleşmiş.	(13) TRAVERTEN		Mikrokristalin karbonat matriksinde kahvemsi/kırmımsı renkli, bol miktarda boşluk ve nadir silikat mineralleri gözlenmekte.
(2) KALKARENİT		Bol foraminifer fosilleri ve yüzde 50'den fazla kum boyutu (0.0625 ila 2 mm çapında) karbonat taneleri gözlenmekte.	(14) TRAVERTEN		Mikrokristalin karbonat matriksinde grimsi renkli, bol miktarda boşluk ve nadir silikat mineralleri gözlenmekte.
(4) ANDEZİT		Plajiyoklas, ortoklas, biyotit, kuvarslı Holokristal-granüler alkali feldispat granit. Feldispatlarda magma karışımı ifade eden pertitleşme var.	(15) BAZALT		İntersertal dokulu, plajiyoklas, olivin, piroksen-ojit mineralleri Olivinde ileri derecede iddingsitleşme gözlenmekte.
(5) GRANİT		Plajiyoklas, ortoklas, biyotit, kuvars, hornblendesfen Holokristal-granüler granit. Biyotitlerde ileri derecede kloritleşme var.	(24) KİREÇTAŞI		Kalsit ve kil mineralleri gözlenmekte.
(6) KİREÇTAŞI		Fosil ve kalsit minerali gözlenmekte.	(25) İGİNİMBİRİT		Pomza ve kaya parçaları ile plajiyoklas, sanidin ve piroksen mineralleri gözlenmekte. Volkanik hamur feldispat ve volkanik camdan oluşmakta.
(8) KİREÇTAŞI		Fosil ve kalsit minerali gözlenmekte.	(26) İGİNİMBİRİT		Çok az pomza ve kaya parçaları ile plajiyoklas, sanidin ve piroksen mineralleri gözlenmekte. Volkanik hamur feldispat ve volkanik camdan oluşmakta.
(12) TRAVERTEN		Kalsit mineralleri ve bol boşluk yapısı gözlenmekte.			

4.2. Test edilen numunelerin fiziksel özellikleri

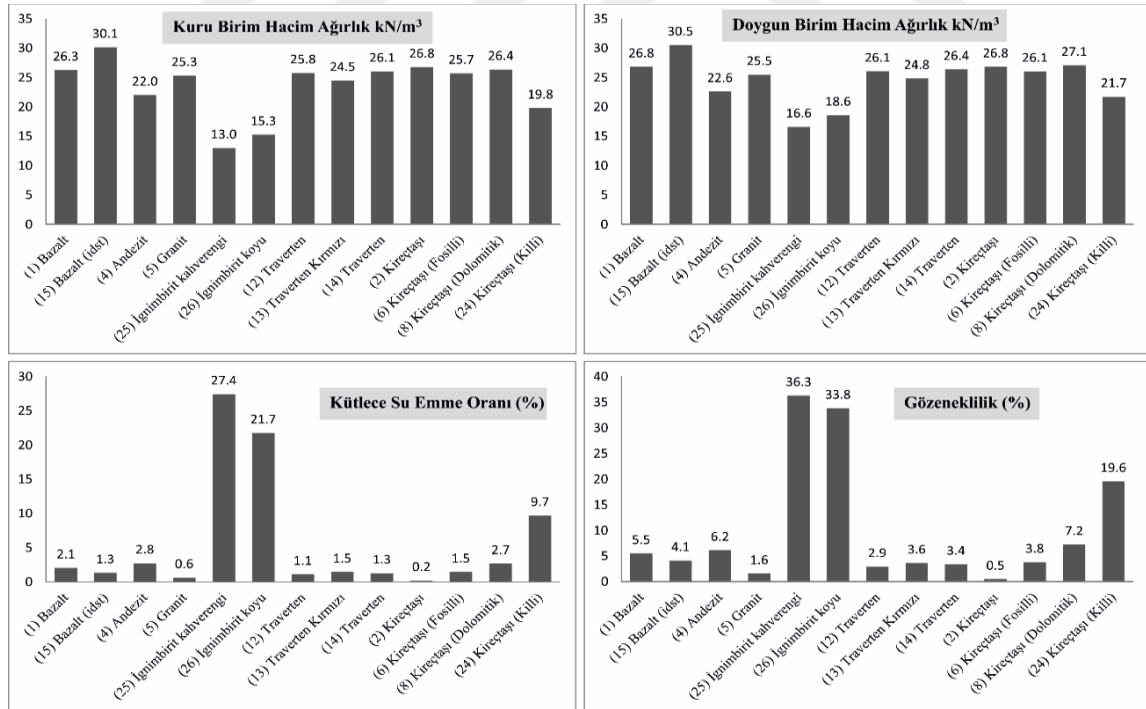
Bu çalışmada, numunelerin fiziksel özellikleri belirlenmek üzere, 13 ayrı numunenin her birinden 5 adet seçilmiştir. Numunelerin kuru (γ_k) ve doymun (γ_d) birim hacim ağırlıkları, poroziteleri (n), kütlece su emme değerleri (KSE) belirlenmiştir. Numuneler incelendiğinde ortalama kuru birim hacim ağırlık değerlerinin 13.0 – 30.1 kN/m^3 arasında, doymun birim hacim ağırlık değerlerinin 16.6 – 30.5 kN/m^3 arasında değiştiği, en düşük birim hacim ağırlık değerinin ignimbiritler ve killi kireçtaşı, en yüksek birim hacim ağırlık değerinin ise bazaltta olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3 – Şekil 4.1). Kuru ve doymun birim hacim ağırlıkları karşılaştırıldığında ignimbiritler ve killi kireçtaşı dışındaki numunelerin kuru ve doymun birim hacim ağırlıklarının hemen hemen birbirine yakın değerlerde çıktığı belirlenmiştir.

Numunelerin gözeneklilik oranı (porozite) (n) değerleri incelendiğinde, ortalama gözeneklilik değerlerinin %0.5 ile %36.3 arasında değiştiği, ignimbiritler ve killi kireçtaşının gözeneklilik oranının diğer numunelere oranla çok daha yüksek olduğu, bu değerlerin KSE değerlerinde de aynı şekilde geliştiği belirlenmiştir.

Test edilen numunelerin fiziksel özellikleri incelendiğinde ignimbiritler ve killi kireçtaşı numunelerinin belirgin olarak diğer numunelerden farklı olduğu görülmüştür. Seçilen iki bazalt örneğinin, birinin daha fazla altere olduğu (olivinlerde iddingsitleşme) ve birbirinden az da olsa farklı kimyasal ve fiziksel özellikler gösterdiği ve bu farklılıkların mekanik özelliklere kısmen de olsa yansıtılabileceği söylenebilir. Sedimanter kaya gurubunda seçilen kireçtaşları içerisinde de dolomitik kireçtaşı örneğinin (kaya no 8) diğer kireçtaşı numunelerinden daha farklı kimyasal ve fiziksel özellikler gösterdiği belirlenmiştir (bkz. Şekil 4.1).

Çizelge 4.3. Test edilen numunelerin fiziksel özellikleri

Örnek No	Kaya No	Numune Adı	Doygun kütle (g)	Kuru kütle (g)	Batık kütle (g)	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	KSE (%)	n (%)
1	1	Bazalt	937.5	918.6	429.1	26.3	26.8	2.1	5.5
2	2	Kalkarenit	938.1	936.4	421.0	26.8	26.8	0.2	0.5
3	4	Andezit	791.0	769.9	395.8	22.0	22.6	2.8	6.2
4	5	Granit	890.4	885.0	404.4	25.3	25.5	0.6	1.6
5	6	Kireçtaşı (Fosilli)	911.2	898.2	401.8	25.7	26.1	1.5	3.8
6	8	Kireçtaşı (Dolomitik)	946.2	921.4	431.1	26.4	27.1	2.7	7.2
7	12	Traverten	911.5	901.4	420.4	25.8	26.1	1.1	2.9
8	13	Traverten Kırmızı	868.0	855.6	414.6	24.5	24.8	1.5	3.6
9	14	Traverten	922.6	911.0	418.8	26.1	26.4	1.3	3.4
10	15	Bazalt (iddingsitleşmiş)	1067.8	1053.8	451.8	30.1	30.5	1.3	4.1
11	24	Kireçtaşı (Killi)	759.0	691.9	428.1	19.8	21.7	9.7	19.6
12	25	İgnimbirit kahverengi	579.1	454.7	380.6	13.0	16.6	27.4	36.3
13	26	İgnimbirit koyu	649.5	533.6	297.2	15.3	18.6	21.7	33.8



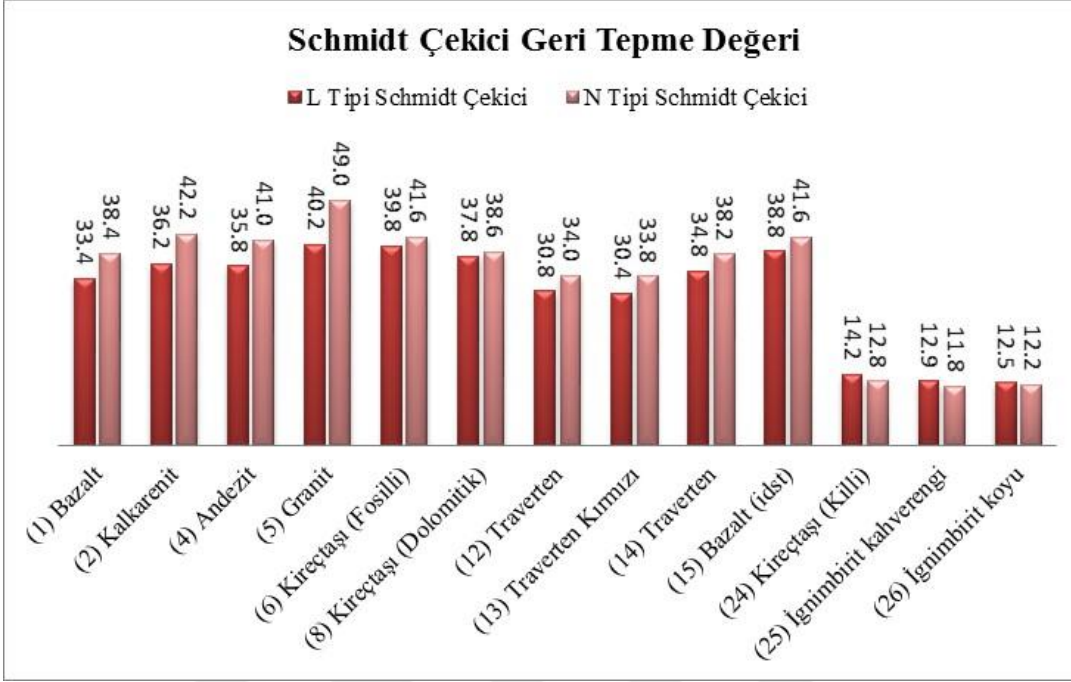
Şekil 4.1. Test edilen numunelerin fiziksel özelliklerinin ortalama değerlerine ait sütun grafikleri.

4.3. Test edilen numunelerin mekanik özellikleri

Bu çalışmada kullanılan 13 farklı kaya numunesinin her birinden 5 adet seçilerek bu numunelerin Schmidt çekici geri sıçrama değerleri, ultrasonik hız değerleri ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri gibi mekanik özellikleri belirlenmiş ve 5 numunenin sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Mekanik özelliklerin ilk adımında mengene ile sıkıştırılmış numuneler üzerinde L ve N tipi Schmidt çekici kullanılarak, Schmidt çekici geri sıçrama değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.4). L ve N Tipi Schmidt çekici geri tepme değerleri karşılaştırıldığında, bu değerlerin genelde birbirlerine yakın sonuçlar verdiği ve her iki tip çekicinin de seçilen kaya numuneleri için kullanılabilir olduğunu göstermiştir (Şekil 4.2). Numuneler kıyaslandığında birim hacim ağırlıkları düşük, kütlece su emme ve gözeneklilik oranları ise yüksek olan ignimbiritler ve killi kireçtaşının yüzey sertliklerinin diğer numunelere göre yaklaşık 3 kat daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç Schmidt çekici geri tepme değerlerinin kayanın iç yüzeyinden etkilendiğini, bunun da literatür sonuçları ile uyumlu olduğunu ve çalışmada mengene ile sıkıştırılan numunelerden alınan Schmidt ölçüm değerlerinin doğru olabileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.4. Test edilen numunelerin L ve N tipi Schmidt çekici ile ölçülen değerleri

Örnek No	Kaya No	Açıklama	L tipi Schmidt çekici ortalama geri sıçrama değeri	N tipi Schmidt çekici ortalama geri sıçrama değeri
1	1	Bazalt	33.4	38.4
2	2	Kalkarenit	36.2	42.2
3	4	Andezit	35.8	41.0
4	5	Granit	40.2	49.0
5	6	Kireçtaşı (Fosilli)	39.8	41.6
6	8	Kireçtaşı (Dolomitik)	37.8	38.6
7	12	Traverten	30.8	34.0
8	13	Traverten Kırmızı	30.4	33.8
9	14	Traverten	34.8	38.2
10	15	Bazalt (idst)	38.8	41.6
11	24	Kireçtaşı (Killi)	14.2	12.8
12	25	İgnimbirit kahverengi	12.9	11.8
13	26	İgnimbirit koyu	12.5	12.2

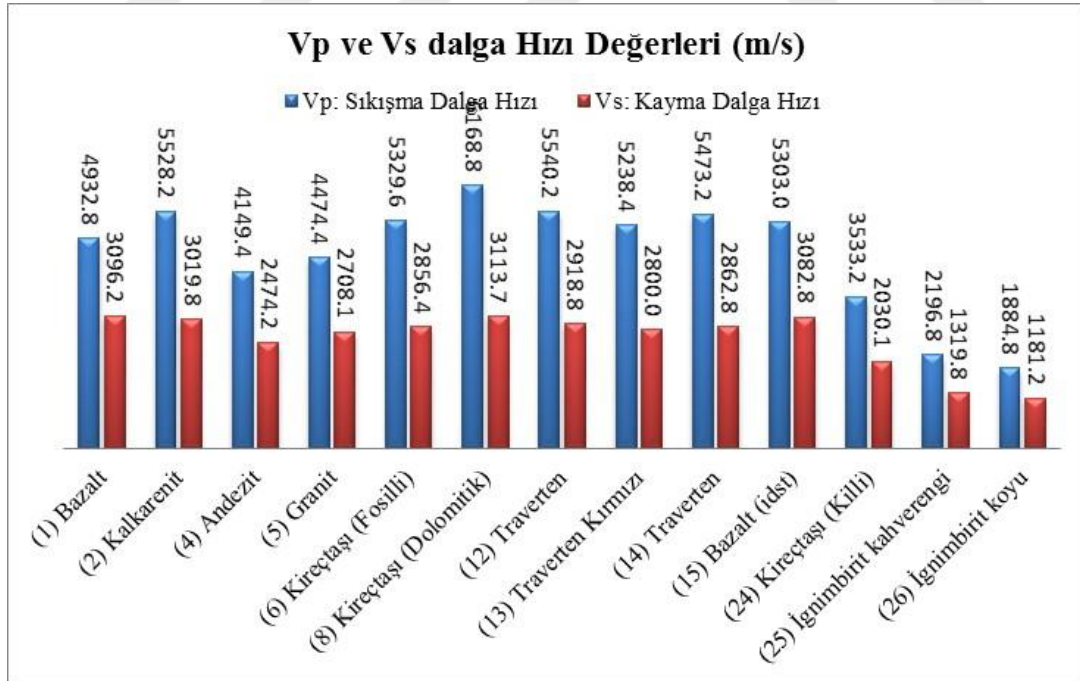


Şekil 4.2. Test edilen numunelerin L ve N Tipi Schmidt çekici geri tepme değerlerine ait grafik.

Schmidt çekici gibi tahribatsız bir yöntem olan ve kayanın dayanım özelliklerini yansıtan bir diğer parametre de, kayaların sıkışma (V_p) ve kesme (V_s) dalga hızlarını veren sonik hız ölçümleridir. V_p hızı, tanelerin düzen biçimine ve gözenek suyunun kıvam ve sıkışabilirliğine bağlıdır. V_s hızı ise birimi oluşturan tanelerin boyutu, biçimi ve birbiri ile olan bağlarından etkilenmektedir. V_s dalga hızı genelde V_p dalga hızının yarısı kadar olup bu çalışmada kullanılan numunelerde de V_p dalga hızı V_s 'den daha yüksek ölçülmüştür (Şekil 4.3). Numuneler kıyaslandığında Schmidt çekici geri tepme değerinde olduğu gibi birim hacim ağırlıkları düşük, kütlece su emme ve gözeneklilik oranları ise yüksek olan ignimbiritler ve killi kireçtaşının V_p ve V_s dalga hızı değerlerinin diğer numunelere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

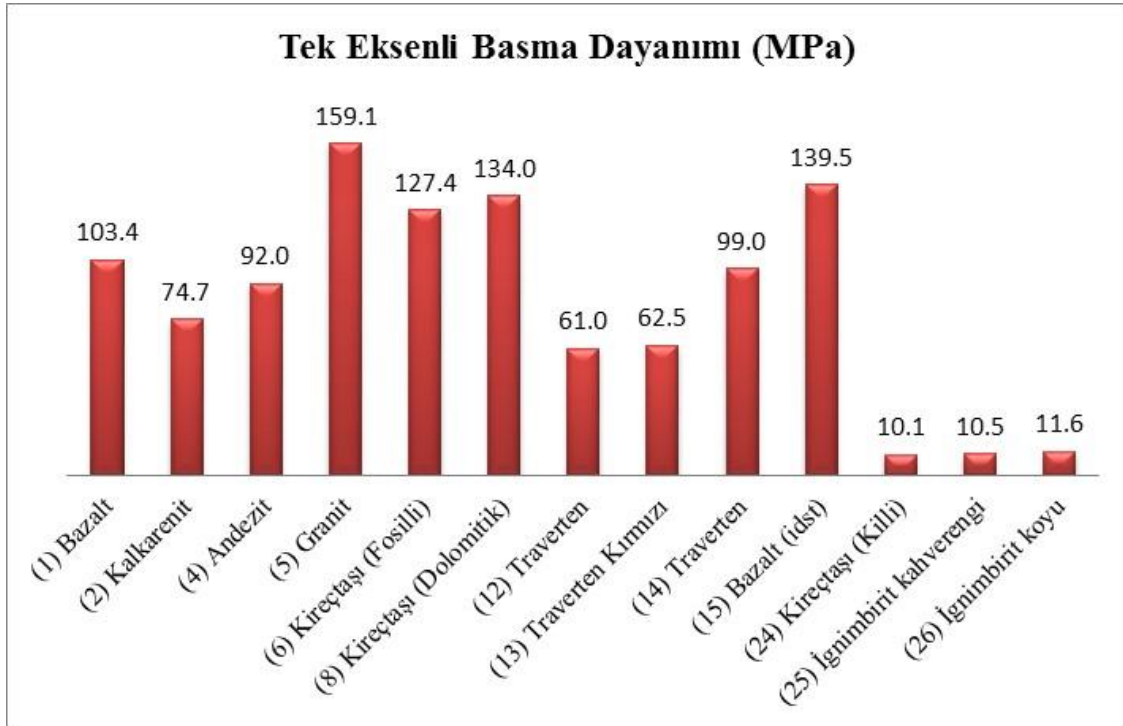
Çizelge 4.5. Test edilen numunelerin ortalama Vp ve Vs dalga hızları ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Örnek No	Kaya No	Açıklama	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Tek eksenli basınç dayanımı değeri (MPa)
1	1	Bazalt	4932.8	3096.2	103.4
2	2	Kalkarenit	5528.2	3019.8	134.0
3	4	Andezit	4149.4	2474.2	92.0
4	5	Granit	4474.4	2708.1	159.1
5	6	Kireçtaşı (Fosilli)	5329.6	2856.4	74.7
6	8	Kireçtaşı (Dolomitik)	6168.8	3113.7	127.4
7	12	Traverten	5540.2	2918.8	61.0
8	13	Traverten Kırmızı	5238.4	2800.0	62.5
9	14	Traverten	5473.2	2862.8	99.0
10	15	Bazalt (idst)	5303.0	3082.8	139.5
11	24	Kireçtaşı (Killi)	3533.2	2030.1	10.1
12	25	İğnimbirit kahverengi	2196.8	1319.8	10.5
13	26	İğnimbirit koyu	1884.8	1181.2	11.6



Şekil 4.3. Test edilen numunelerin Vp ve Vs değerlerine ait sütun grafiği.

Tez çalışmasında kullanılan numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerlerine bakıldığında, en yüksek basınç dayanımının granit, bazaltlar ve kireçtaşı numunelerinde çıktığı belirlenmiştir (Çizelge 4.5 – Şekil 4.4). En düşük basınç dayanımı değeri ise, Schmidt çekici değerlerinde olduğu gibi ignimbiritler ve killi kireçtaşında elde edilmiştir. Bu kayaların dışında traverten numunelerinde de gözenekliliğin yüksek olması basınç dayanımı değerlerini düşürdüğünden bu kayalarda da basınç dayanımı değerleri kireçtaşlarına ve magmatik kökenli kayalara oranla daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4.4. Test edilen numunelerin hesaplanan ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerlerine ait sütun grafik.

4.4. Test edilen numunelerin hızlandırılmış yapay bozunma test sonuçları

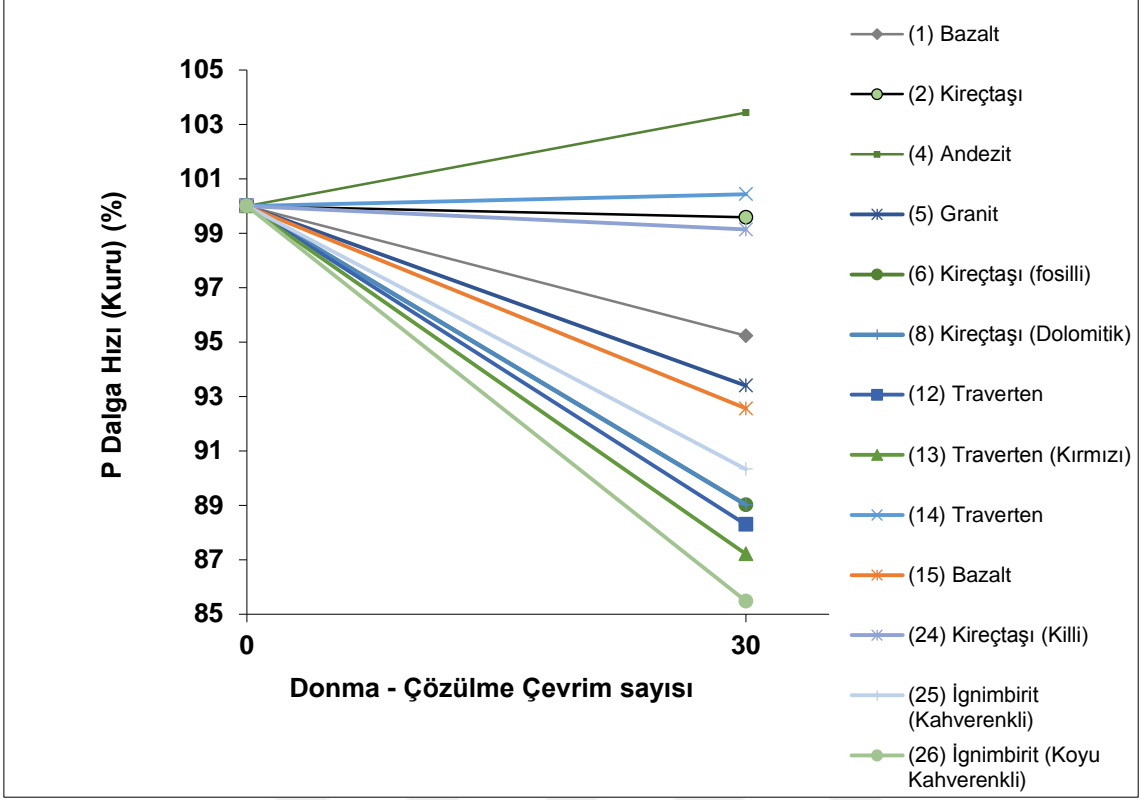
Seçilen numuneler üzerinde yapay bozunma deneyleri yapılmış ve tüm deney sonuçları yorumlanmıştır.

4.4.1. Donma-çözülme deneyi

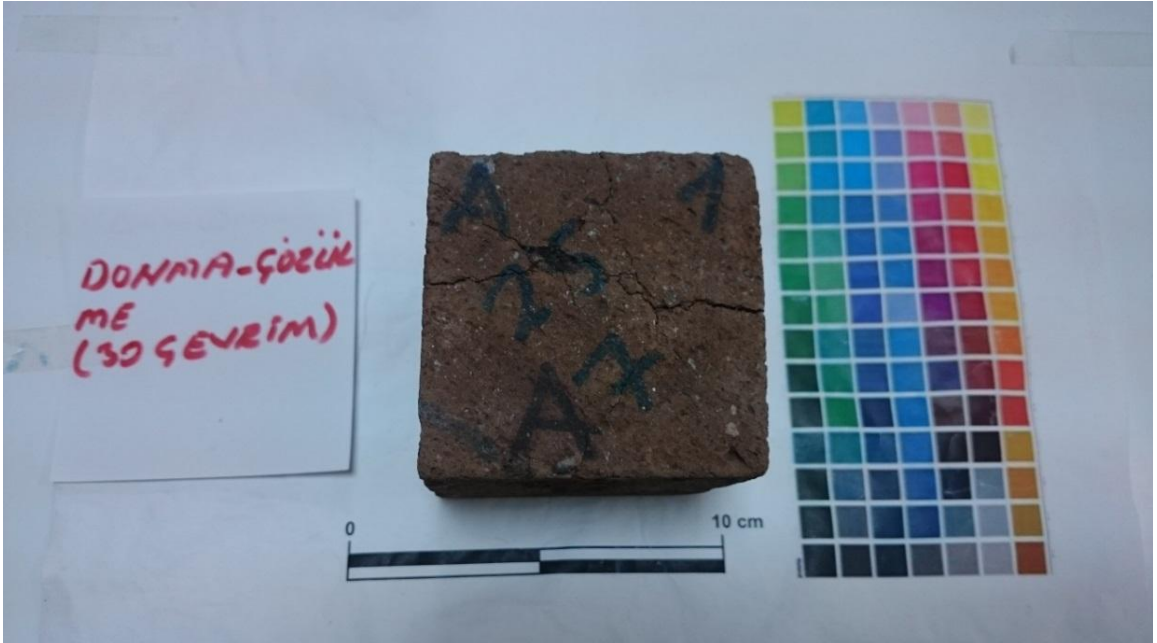
Numuneler üzerinde TS EN 12371 (2010) standardına göre 30 çevrim uygulanan donma-çözülme deneyi sonucunda, numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim oranları belirlenmiştir. Bu değerler, 30 çevrim sonrasında kuru numunelerde Vp dalga hızı ölçülerek değerlendirilmiştir (Çizelge 4.6). Numuneler incelendiğinde, donma-çözülme testleri sonrasında numunelerde dalga hızının ilk değerlere oranla düştüğü belirlenmiştir. Özellikle, Traverten ve ignimbirit numunelerinden yaklaşık % 10'varan dalga hızı (Vp) değerinde azalmalar gözlenmiştir. Bu sonuç, kayanın donma-çözülme sonrasında dayanımının azaldığını ve kaya içerisinde zayıf alanlarının arttığını göstermektedir (Şekil 4.5). Özellikle travertenlerde elde edilen Vp hızındaki bu azalmalar Akın (2008), Akın ve Özsan (2011) ve Erdoğan ve Özvan (2015) çalışmalarında vurgulandığı gibi donma-çözülme sonrasında kayanın gözeneklerindeki parçalanmadan ve boşluk oranının artışından kaynaklanmaktadır. Bozunmadan en fazla etkilenen kayaların ignimbiritler ve traverten olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.6). Özellikle ignimbiritler, parçalanarak kullanılamaz hale gelmiştir.

Çizelge 4.6. Donma-çözülme deney sonucu numunelerin kuru haldeki Vp hızlarının değişim yüzdeleri

Çevrim sayısı	Vp (Kuru) (%)													
	(1) Bazalt	(2) Kireçtaşı	(4) Andezit	(5) Granit	(6) Kireçtaşı (fosilite)	(8) Kireçtaşı (Dolomitik)	(12) Traverten	(13) Traverten (Kırmızı)	(14) Traverten	(15) Bazalt (iddingsit)	(24) Kireçtaşı (Kilit)	(25) ignimbirit (Kahverenkli)	(26) ignimbirit (K. Kahverenkli)	
0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
30	95.23	99.58	103.43	93.40	89.01	89.01	88.29	87.21	100.44	92.56	99.13	90.33	85.47	



Şekil 4.5. Donma-Çözülme testi sonrasında kuru haldeki V_p hızlarının test edilen numunelerdeki değişimi.



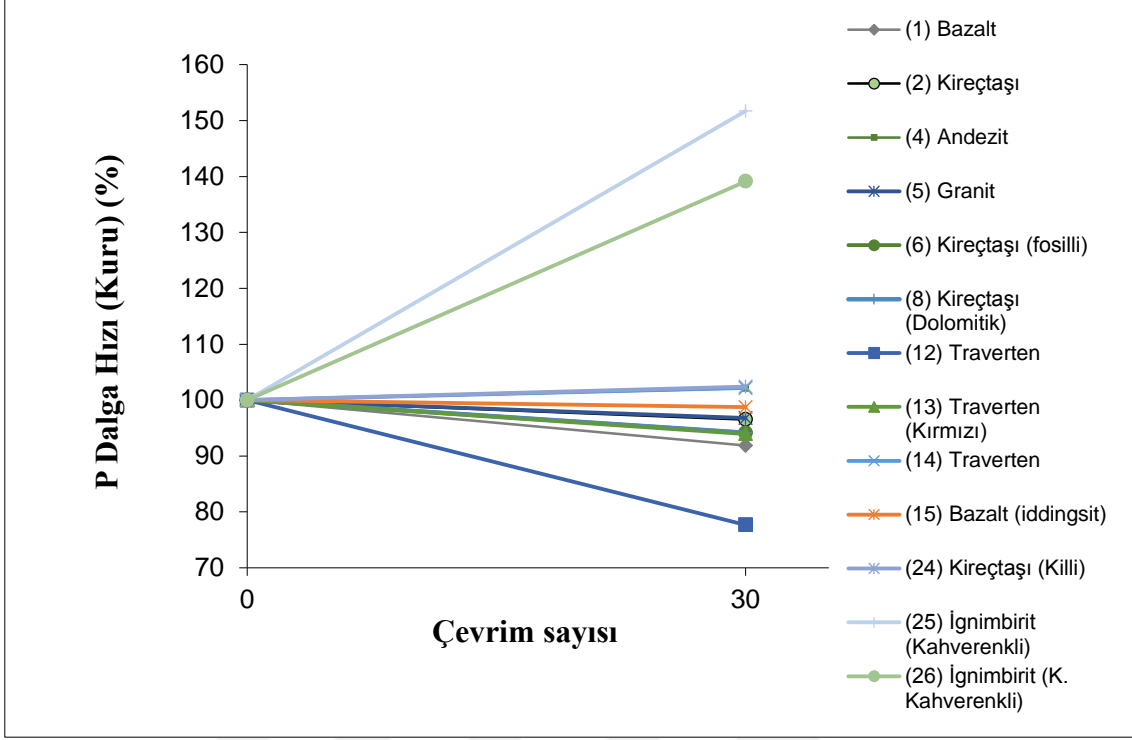
Şekil 4.6. Donma-çözülme deneyi sonrası iğnimbirit örneğindeki 30uncu çevrime ait görüntü.

4.4.2. Tuz kristallenmesi deneyi

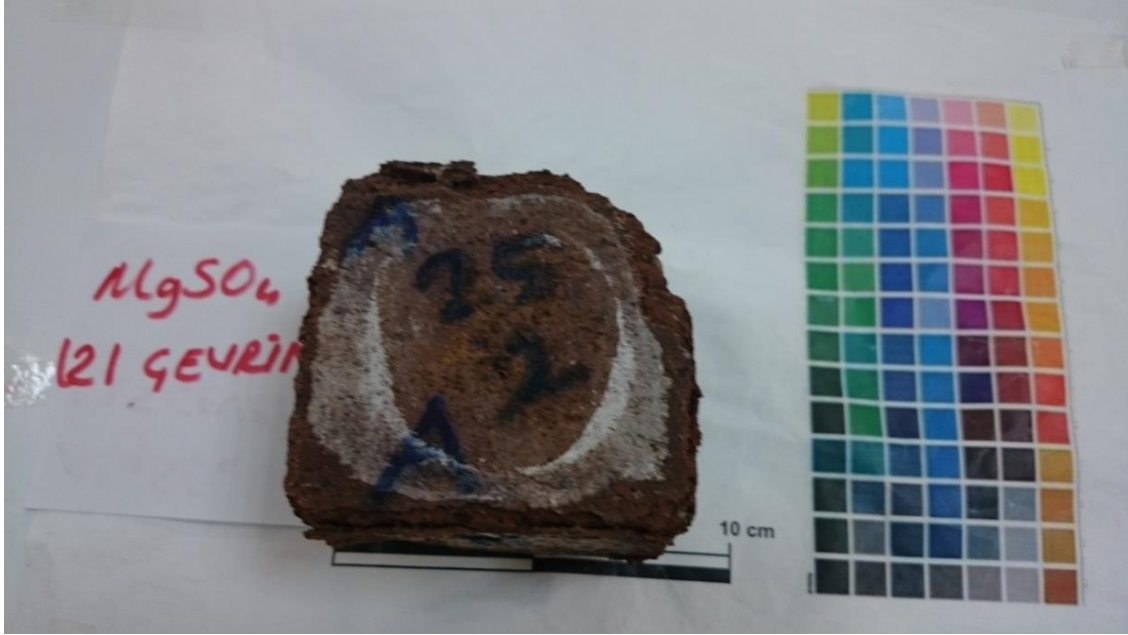
RILEM (1980) standardına göre 30 çevrim uygulanan tuz kristallenmesi deneyi sonucunda, numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim oranları belirlenmiştir. Bu değerler 30 çevrim sonrasında kuru numunelerde Vp dalga hızı ölçülerek değerlendirilmiştir (Çizelge 4.7). Numuneler incelendiğinde tuz kristallenmesi testleri sonrasında, ignimbiritler, killi kireçtaşı ve andezit numunelerinde % 2 ile % 50 arasında Vp dalga hızı artışı gözlenmiştir. Bu sonuç, kayanın tuz kristallenmesi sonrasında dayanımının azaldığını ve kaya içerisinde zayıf alanlarının arttığını göstermiştir (Şekil 4.7). Deney sonucunda ignimbiritlerde Vp dalga hızında aşırı bir artış olmuştur. Bunun nedeni, artan boşluklara dolan tuzların Vp dalga hızını arttırmamasından kaynaklanmaktadır. Literatüre bakıldığında Akın (2008), Erdoğan ve Özvan (2015) tuz kristallenmesi ile boşlukların genişlediğini ve bu örneklerde olduğu gibi bazen tuzların boşlukları doldurduğunu belirtmişlerdir. Bu durumda Vp hızlarını arttırdığı söylenebilir. Bozunmadan en fazla etkilenen kayaların ignimbiritler ve traverten olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.8). Özellikle ignimbiritler 20 çevrim sonunda parçalanarak kullanılamaz hale gelmiştir.

Çizelge 4.7. Tuz kristallenmesi deney sonucu numunelerin kuru haldeki Vp hızlarının değişim yüzdeleri

Çevrim sayısı	Vp (Kuru) (%)												
	(1) Bazalt	(2) Kireçtaşı	(4) Andezit	(5) Granit	(6) Kireçtaşı (fosilli)	(8) Kireçtaşı (Dolomitik)	(12) Traverten	(13) Traverten (Kırmızı)	(14) Traverten	(15) Bazalt (ıldingsit)	(24) Kireçtaşı (Killi)	(25) ignimbirit (Kahverenkli)	(26) ignimbirit (K. Kahverenkli)
0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
30	91.86	96.53	102.12	96.80	94.14	94.14	77.68	93.95	102.18	98.75	102.41	151.72	139.13



Şekil 4.7. Tuz kristallenmesi testi sonrasında kuru haldeki Vp hızlarının test edilen numunelerdeki değişimi.



Şekil 4.8. Tuz kristallenmesi etkisi ile numunelerde 21inci çevrim sonrasında meydana gelen bozunmalar.

Akın (2008), Akın ve Özsan (2011) ve Erdoğan ve Özvan (2015)'in çalışmalarına bakıldığında tuz kristallenmesinin numuneleri donma-çözülme çevrimlerinden daha fazla tahrip ettiği belirtilmiştir. Bu çalışma için seçilen numuneler

üzerinde $MgSO_4$ kullanılarak yapılan tuz kristallenmesi deneyi sonucundaki bozunmanın da donma-çözölmeye göre çok daha etkili olduğu belirlenmiştir. 30 çevrim süren deney sonucunda bazı numunelerin, özellikle ignimbiritlerin, V_p dalga değerlerinde aşırı bozunmadan dolayı artışların olduğu belirlenmiştir. İgnimbiritler donma-çözölmeye olduğu gibi tamamen dağılmış ve kullanılamaz hale gelmiştir. Tuz çözeltisi deneyinde bekletilen numunelerin gözenekleri bu çözelti ile dolduğundan ve numuneler etüvde kurutulduğunda çözeltideki su buharlaştığından, buharlaşmadan sonra kalan tuz kristalleri numunelerin kütesini de arttırmıştır. Deneylerin uygulandığı numuneler genelde çok düşük gözenekli olduğu için, gözeneklerinde biriken tuz miktarı da aynı oranda düşüktür ve bu durum kütle artışının çok düşük oranlarda kalmasını sağlamıştır. Genelde numunelerin gözeneklerinden itibaren aşınmanın olması beklenir. Artan aşınma ile birlikte bu numunelerin gözenekleri de çok az miktarda artmış ve kütleleri azalmıştır. Tuz çözeltisinde bekletilen numunelerin gözenekleri çözelti ile dolduğundan, numunelerin etüvde kurutulması aşamasından sonra buharlaşan su ortamdaki uzaklaşırken, tuz kristalleşerek gözeneklerde birikebilmektedir ve bu durum kayanın birim hacmini arttırmaktadır (Akın, 2008; Erdoğan ve Özvan, 2015). Bu kristalleşme esnasındaki hacim artışı gözenek duvarlarında bir miktar basınca neden olmuştur. Çevrimler devam ettikçe öncelikle kılcal çatlaklar oluşmakta ve ilerleyen aşamalarda gözeneklerden itibaren aşınmalar ve bütünlük kayıpları oluşmaktadır. Bu durum aynı zamanda kaya içerisindeki çözelti akış hızını da arttırmış ve kaya içerisinde çözöünen taneler su ile birlikte dışarı taşınarak numunelerde kütle kayıplarının oluşmasına neden olmuştur.

4.5. Test edilen numunelerin aşınma direnci test sonuçları

Bu kısımda TS EN 14157 (2017)'de "Doğal taşlar için aşınma direnci" standartlarında, Yöntem-A'da belirtilen "Geniş diskli aşındırma deneyi" ve Yöntem-B'de belirtilen "Böhme aşındırma deneyi" standartlarında, tez çalışması için seçilen numuneler üzerinde testler yapılmıştır. Yapılan testler kendi içerisinde ve her iki test sonuçları arasında yorumlanmıştır.

4.5.1. Geniş diskli aşındırma deneyi (GDA)

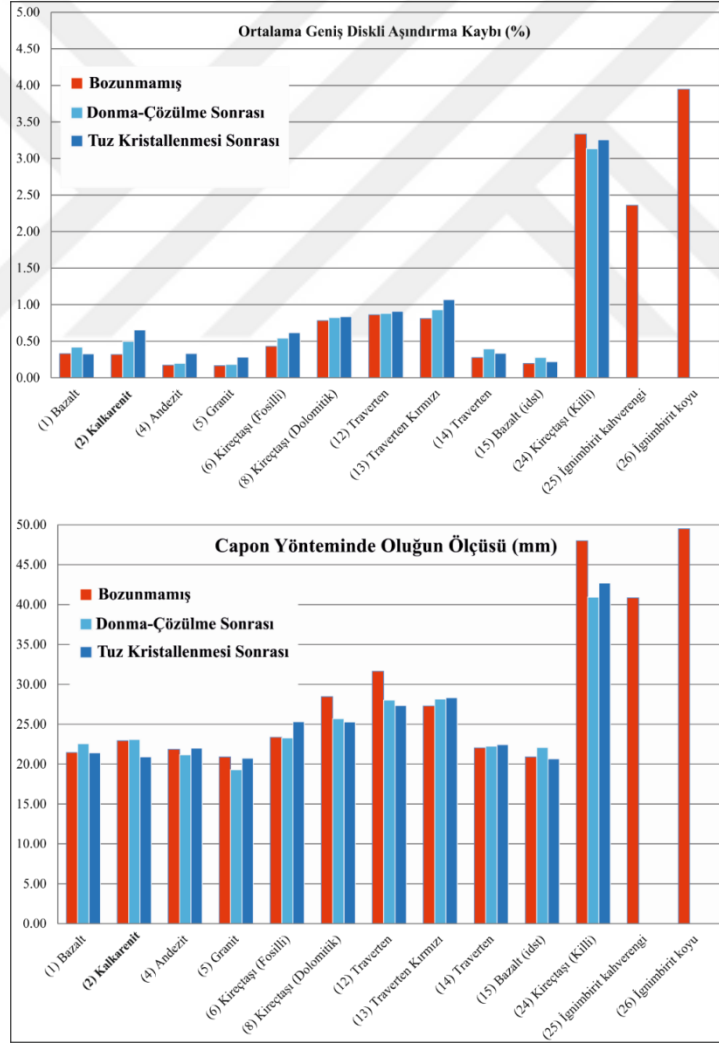
Bu çalışma için seçilen 13 farklı kaya numunesi ve bunların yapay bozunma ile bozunmuş ve taze (başlangıç) halleri üzerinde, standartlarda belirtilen şekilde deneyler yapılmıştır. Deneyler sonunda bu numunelerin başlangıçtaki kütleleri ile deney sonundaki kütleleri arasındaki farka bağlı olarak, aşınma kaybı yüzde olarak hesaplanmıştır. Bunun dışında, standartta belirtildiği şekilde, test sonunda oluşan oluk genişliği üç ayrı noktadan ölçülüp ve Boulonnais Mermeri'nden elde edilen kalibrasyon değeri ile ölçülen değer düzeltilerek oluk genişliği her numune için kaydedilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Geniş diskli aşındırma deneyi (GDA) sonuçları

Kaya Tanımı	% aşınma kaybı			Kalibre edilmiş ort. oluk açıklığı (mm)		
	Bozunmamış	Donma-Çözülme Sonrası	MgSO ₄ Tuz Kristallenmesi Sonrası	Bozunmamış	Donma-Çözülme Sonrası	MgSO ₄ Tuz Kristallenmesi Sonrası
(1) Bazalt	0.33	0.42	0.33	21.46	22.57	21.41
(2) Kalkarenit	0.32	0.50	0.65	22.94	23.09	20.91
(4) Andezit	0.17	0.20	0.33	21.85	21.18	22.01
(5) Granit	0.16	0.18	0.28	20.90	19.32	20.73
(6) Kireçtaşı (Fosilli)	0.43	0.54	0.62	23.36	23.28	25.30
(8) Kireçtaşı (Dolomitik)	0.78	0.82	0.83	28.46	25.69	25.28
(12) Traverten	0.86	0.88	0.91	31.64	28.04	27.35
(13) Traverten Kırmızı	0.81	0.93	1.07	27.27	28.17	28.32
(14) Traverten	0.27	0.39	0.33	22.04	22.25	22.46
(15) Bazalt (idst)	0.19	0.28	0.22	20.89	22.09	20.66
(24) Kireçtaşı (Killi)	3.33	3.14	3.26	48.00	40.94	42.70
(25) İgnimbirit kahverengi	2.36			40.86		
(26) İgnimbirit koyu	3.95			49.52		

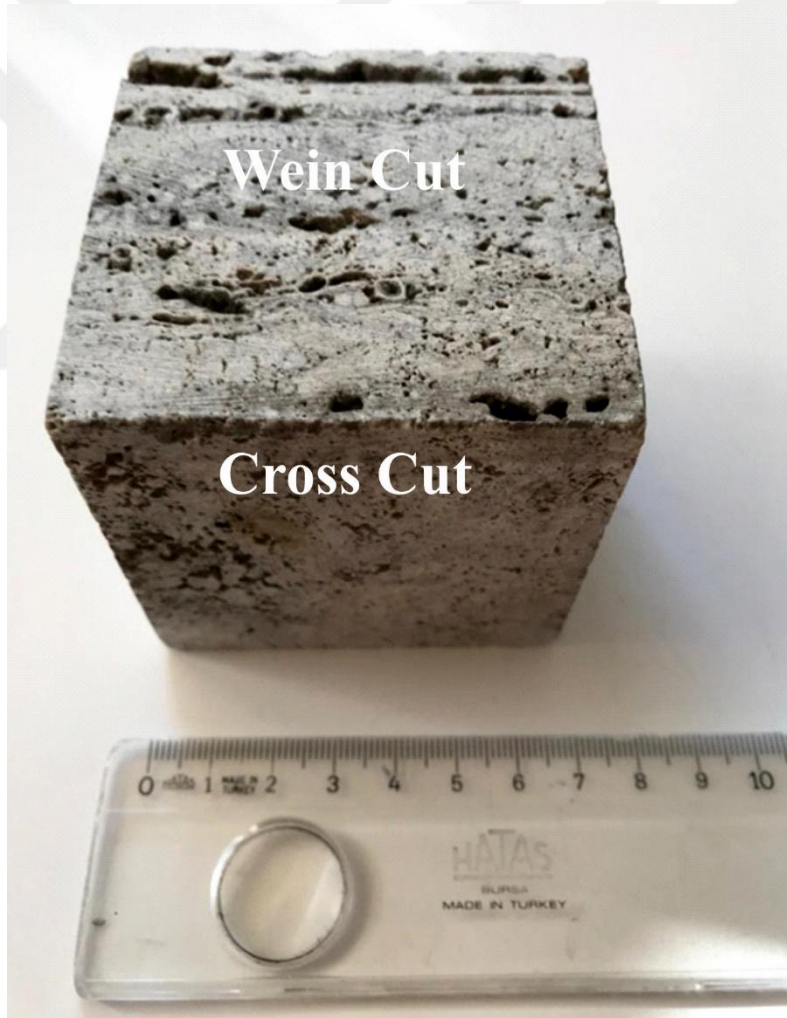
Seçilen numunelerin geniş diskli (dikey) aşındırma değerlerine bakıldığında genel olarak en az aşınan numunelerin bazalt, andezit ve granit olduğu, en fazla aşınan numunelerin ise killi kireçtaşı ve ignimbiritler olduğu belirlenmiştir.

Tüm değerlere bakıldığında, aşınma kaybının yüzde ve oluk açıklığına göre yapılan hesaplamalarında az da olsa farklılıklar gözlenmiştir (Şekil 4.9). Bozunmamış (başlangıç) ve yapay bozunma ile tahrip edilen numuneler arasında beklenen aşınma kaybı/oluk açıklığı doğal olarak bozunmuş numunelerde daha fazla beklenmektedir. Fakat iki hesap arasındaki sütun grafiklerine bakıldığında bu farklılığın oluk açıklığına göre yapılan hesaplarda net olarak gözlenemediği belirlenmiştir (bkz. Şekil 4.9). Aşınma kaybının yüzde hesabında 1 nolu bazalt ve 24 nolu killi kireçtaşının bozunmamış numuneleri hariç, diğer tüm numunelerde bozunmamış numuneler ile bozunmuş numuneler arasındaki fark açıkça gözlenmiştir. Özellikle homojen olmayan kayalarda, aynı numunenin farklı yerlerinde farklı oluk açıklıkları oluşmuştur.



Şekil 4.9. Geniş diskli (Dikey) aşındırma testi sonuçlarına ait sütun grafikleri.

GDA deneyinden önce numunenin yüzey seçimine dikkat edilmesi gerekmektedir. Bilhassa traverten gibi farklı boşluk oranı ve bantlanma içeren kayalarda bu durum çok önemlidir (Şekil 4.10). Travertenlerin oluşumu sırasında akıntının gözleendiği yüzeyler ile bu yüzeylerin alt ve üst yüzeyleri arasında dayanım farklılıkları bulunmaktadır. Örneğin Wein Cut olarak adlandırılan düz kesim mermerlerde travertenlerin boyutlanma sırasında kırılma parçalanmaları artmaktadır. Cross Cut olarak adlandırılan boyutlandırmada ise kırılmalar ve parçalanmalar azalmaktadır. Bu nedenle aşındırma yaparken mermerin hangi yüzeyinin deneye tabi tutulacağına dikkat etmek gerekmektedir. Bu sonuç aşınma kaybı hesaplarında aşınma kaybı yüzdesinin, değerlendirmelerde daha doğru sonuçlar vereceğini göstermektedir.



Şekil 4.10. Travertenin numunelerinde kesime bağlı olarak gözlenen farklı yüzeylere ait bir görüntü.

4.5.2. Böhme aşındırma deneyi (BA)

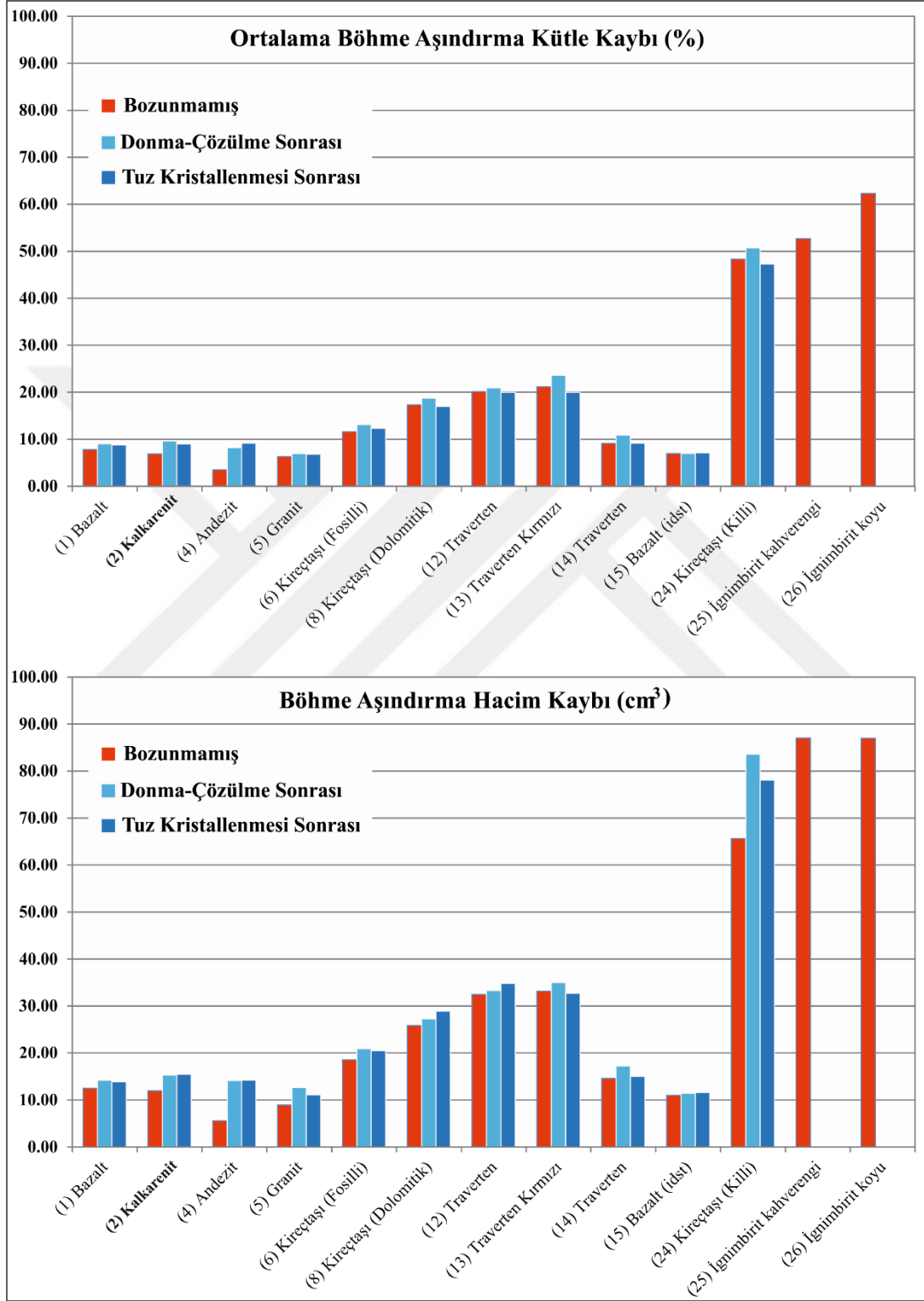
Bu çalışmada kullanılan 13 farklı kaya numunesi ve bunların yapay bozunma ile tahrip edilmiş ve bozunmamış başlangıç halleri üzerinde, standartlarda belirtilen şekilde, Böhme aşındırma testi yapılmıştır. Test sonunda bu numunelerin başlangıçtaki kütleleri ile deney sonundaki kütleleri arasındaki farka bağlı olarak, aşınma kaybı yüzde olarak hesaplanmıştır. Ayrıca standartta belirtildiği şekilde test sonunda 16 döngü sonrasındaki hacim kaybı (Δm) da hesaplanmıştır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Böhme aşındırma deneyi sonuçları

Kaya Tanımı	% kütle aşınma kaybı			Δm (cm ³ /50cm ²)		
	Bozunmamış	Donma-Çözülme Sonrası	MgSO ₄ Tuz Kristallenmesi Sonrası	Bozunmamış	Donma-Çözülme Sonrası	MgSO ₄ Tuz Kristallenmesi Sonrası
1 (1) Bazalt	7.80	9.03	8.77	12.50	14.19	13.89
2 (2) Kalkarenit	6.84	9.61	9.01	11.96	15.31	15.48
3 (4) Andezit	3.50	8.20	9.17	5.58	14.15	14.21
4 (5) Granit	6.31	6.98	6.81	8.94	12.69	11.12
5 (6) Kireçtaşı (Fosilli)	11.59	13.13	12.33	18.57	20.94	20.53
6 (8) Kireçtaşı (Dolomitik)	17.33	18.73	16.99	25.87	27.27	28.90
7 (12) Traverten	20.14	20.91	19.97	32.46	33.29	34.83
8 (13) Traverten Kırmızı	21.18	23.61	19.97	33.18	35.00	32.69
9 (14) Traverten	9.12	10.88	9.18	14.60	17.24	15.01
10 (15) Bazalt (idst)	6.96	7.01	7.11	10.97	11.46	11.59
11 (24) Kireçtaşı (Killi)	48.35	50.70	47.29	65.67	83.60	78.11
12 (25) İgnimbirit kahverengi	52.69			87.02		
13 (26) İgnimbirit koyu	62.29			86.99		

Tez çalışmasında kullanılan numunelerin Böhme aşındırma değerlerine bakıldığında, genel olarak en az aşınan numunelerin dikey aşındırma testi sonuçlarında olduğu gibi bazalt, andezit ve granit olduğu, en fazla aşınan numunelerin ise killi kireçtaşı ve ignimbiritler olduğu belirlenmiştir. Bu değerlere bakıldığında, aşınma

kaybının yüzde ve hacim kaybına (Δm) göre yapılan hesaplarında her iki hesaplama arasında kayaların aşınma farkının benzer olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Böhme aşındırma testi sonuçlarına ait sütun grafikleri.

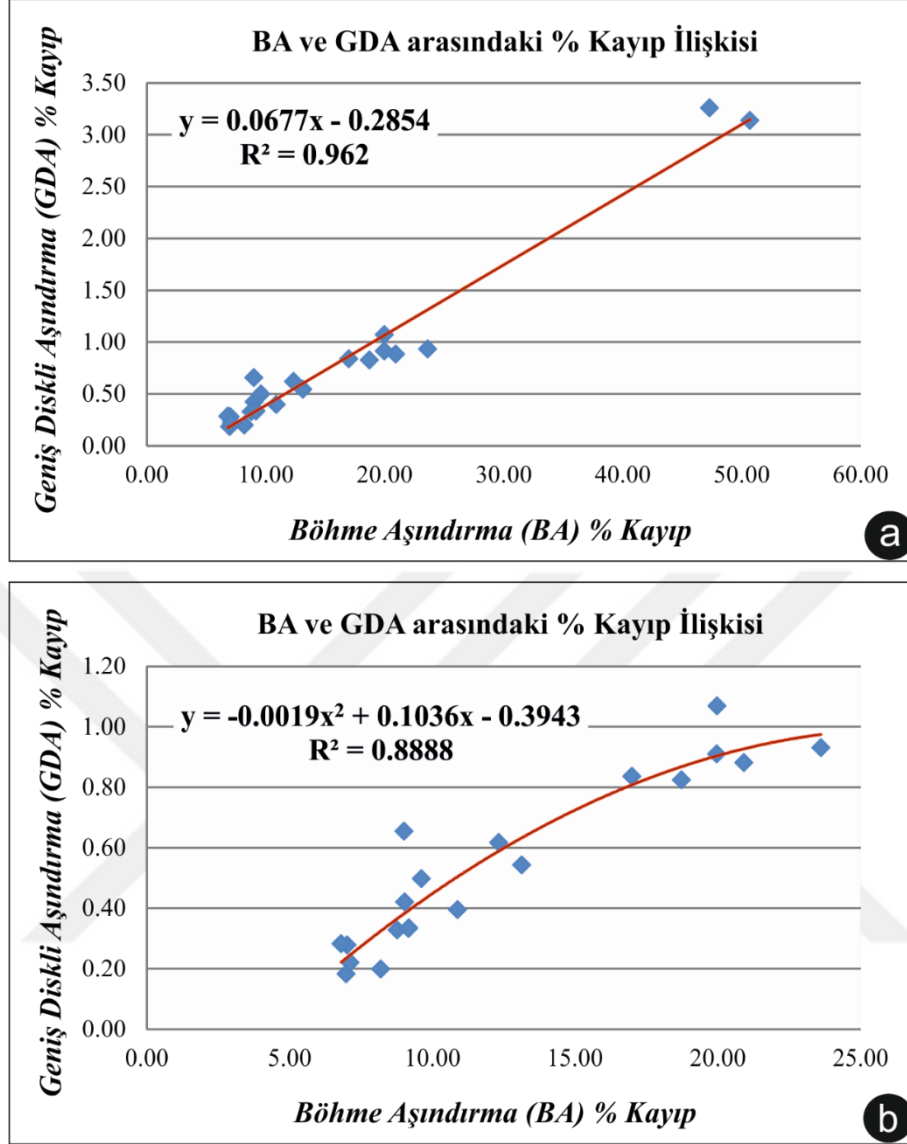
Bu deneyde de GDA deneyinin sonuçlarındaki gibi yüzde olarak aşınma kaybının hesabı ile hacim kaybı olarak yapılan hesap arasında farklılık olmadığı görülmüş ve genel olarak tüm numunelerde, bozunmamış numunelerdeki aşınma kaybı bozunmuş numunelerdeki aşınma kaybından daha düşük elde edilmiştir (Şekil 4.11).

4.6.GDA ve BA deneyi sonuçları arasındaki ilişkiler

Bu tez çalışmasında, kullanılan numunelerin aşınma değerleri standartta belirtildiği hesaplamanın dışında, başlangıçtaki kütle ile deney sonu kalan kütle arasındaki orana bağlı olarak ve yüzde cinsinden kayıp değerleri olarak hesaplanmıştır. % BA ve % GDA değerleri arasındaki ilişkilere bakıldığında Çobanoğlu ve ark. (2010), Karaca ve ark. (2012) ile Çobanoğlu ve Çelik (2017) çalışmalarında elde edildiği gibi yüksek belirleme katsayısı (R^2) değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.12). İki değişken arasındaki ilişkinin kurulması aşamasında, başlangıç numuneleri ve yapay bozunma deneyleri ile tahrip edilmiş numuneler arasındaki korelasyona bakılmıştır (Şekil 4.12a). Burada en yüksek R^2 değeri doğrusal ilişkide elde edilmiştir (Eş. 4.1). Bu değerlendirmede, bozunma sonrasında tamamen kütle kaybına uğrayan ignimbirit numuneleri değerlendirme dışında tutulmuştur. Elde edilen Eş.4.1'de, killi kireçtaşıma ait numunelerin istatistiksel ilişkileri etkilediği ve doğrusal ilişkinin belirleme katsayısını yükselttiği görülmüştür (Şekil 4.12a). Killi kireçtaşı numunesi istatistiksel ilişkiden çıkarılarak, kalan diğer numuneler arasındaki ilişkiye tekrar bakıldığında (Şekil 4.12b), bu koşulda da yüksek R^2 değerinin elde edildiği görülmüştür (Eş. 4.2). Eşitlik 4.2'ye bakıldığında seçilen verilerin tamamı yüksek dayanıma sahip, ticari olarak mermer potansiyeli olan kayalardan oluştuğundan bu eşitliğin kullanımının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Bu eşitliklerde, GDA ve BA % birimi cinsinden alınmıştır.

$$GDA=0.0677BA-0.2854 \quad (R^2=0.96) \quad (4.1)$$

$$GDA=-0.0019BA^2+0.1036BA-0.3943 \quad (R^2=0.88) \quad (4.2)$$



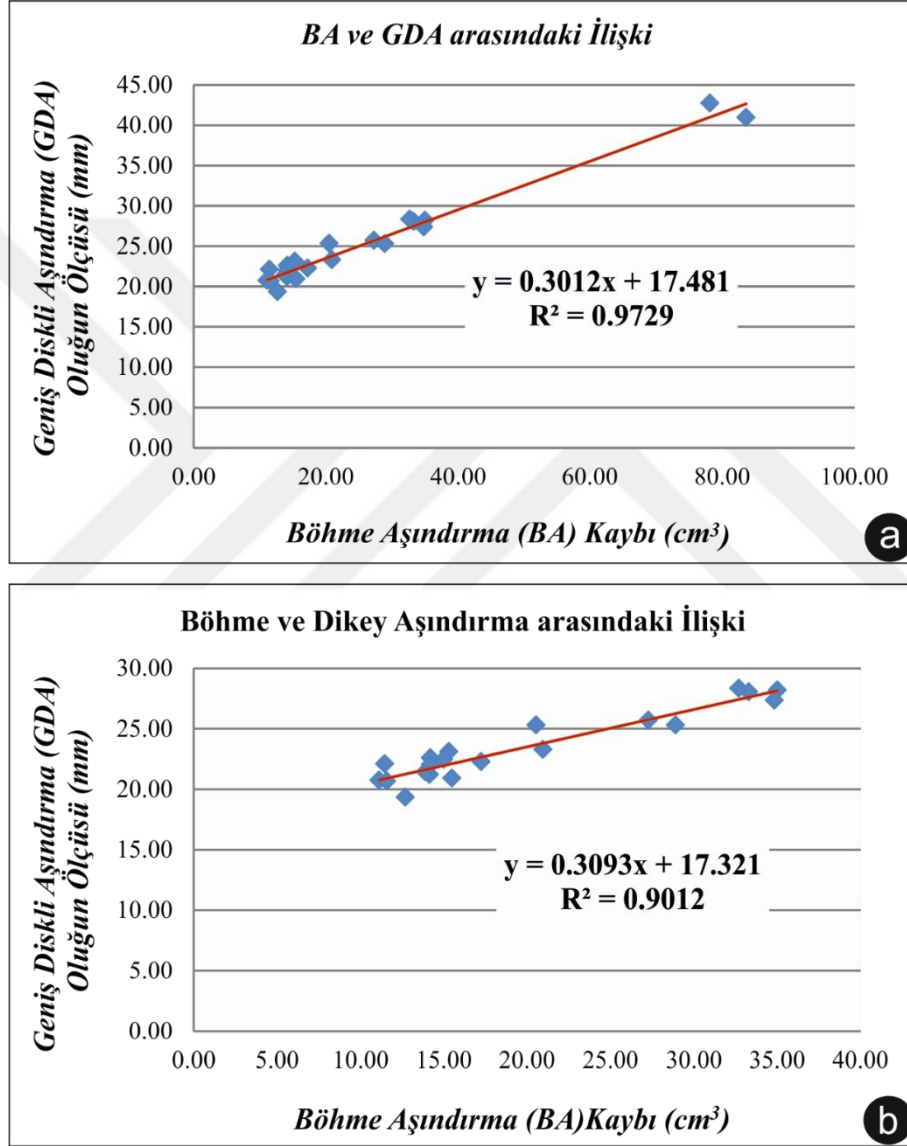
Şekil 4.12. BA ve GDA % kayıp sonuçları arasındaki ilişkiye ait grafik.

Standartta, BA için belirtilen hacim kaybı hesabı ile GDA için verilen oluk açıklığı ölçülerek elde edilen değerler arasındaki ilişkilere de bakıldığında, yüksek R^2 değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.13). Bu birimlere göre yapılan değerlendirmede de, ignimbirit numuneleri (Şekil 4.13a) (Eş. 4.3) ile killi kireçtaşı numunesi çıkarılarak (Şekil 4.13b) (Eş. 4.4) sadece iç ve dış kaplamalarda rahatlıkla kullanılacak mermer potansiyeline sahip kayalar arasındaki ilişkiler ayrı ayrı incelenmiştir. Her iki durum için de GDA değerlerine BA deneyi sonucundan ulaşılabilecek bağıntılar da elde edilmiştir (Eş. 4.3 – Eş. 4.4). Bu eşitliklerden Eş.4.4'ün, aşınmaya karşı hassas olan ignimbirit ve killi kireçtaşı gibi kayaların çıkarılarak, daha çok mermer sektöründe

kullanılan aşınma dirençleri yüksek kayaların verilerinden elde edildiği sonucundan yola çıkılarak, kullanımının daha doğru olacağı düşünülmektedir.

$$GDA(mm)=0.3012BA(cm^3)+17.481 \quad (R^2=0.97) \quad \text{Hacim Kaybı} \quad (4.3)$$

$$GDA(mm)=0.3093BA(cm^3)+17.321 \quad (R^2=0.90) \quad \text{Hacim Kaybı} \quad (4.4)$$



Şekil 4.13. BA ve GDA sonuçları arasındaki ilişkiye ait grafik.

GDA değerinin BA'dan elde edilmesine yönelik yapılan bu karşılaştırmalar sonrasında, elde edilen Eş. 4.1 ve Eş. 4.3'den GDA değeri, hem BA % kütle kaybı ve hem de BA hacim kaybı (cm^3) birimi cinsinden hesaplanmıştır (Çizelge 4.10). Tahmin

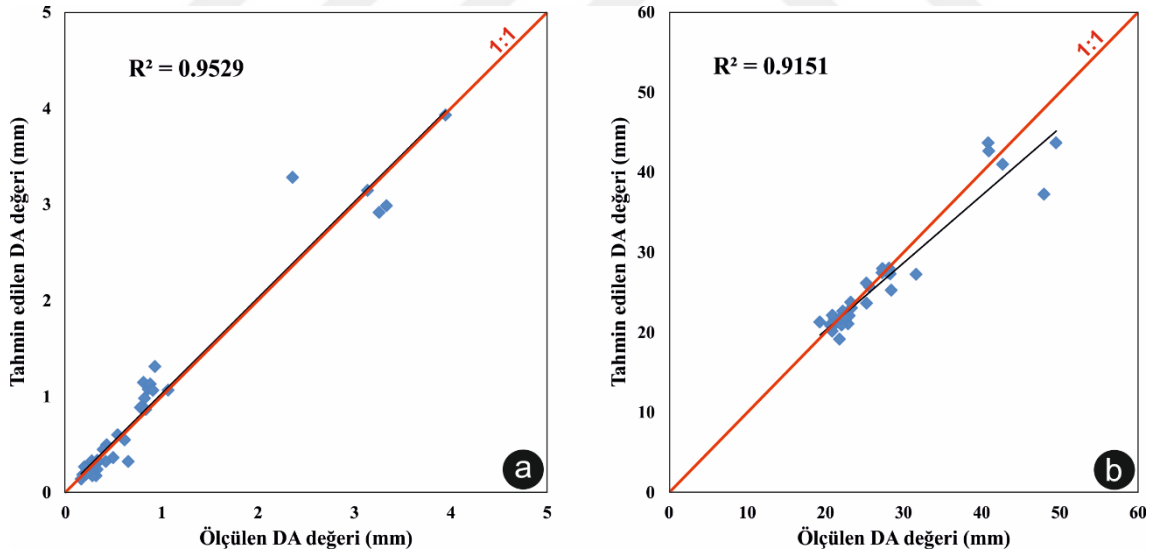
edilen ve ölçülen değerler arasındaki ilişkiye bakıldığında GDA'nın elde edilmesinde, BA % kütle kaybından elde edilen (Şekil 4.14a) ilişkinin BA hacim kaybından (Şekil 4.14b) elde edilen ilişkidenden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca göre, hesaplamalarda kütleli % aşınma kaybından elde edilen sonuçların, hacim kaybına göre elde edilen sonuçlardan daha doğru eşitlikler verdiği gözlenmiştir. Özellikle GDA deneyinde oluk derinliğinin tam olarak belirlenememesi oluk açıklığından yapılan hesaplamalarda az da olsa gerçek aşınmanın dışında değerlerin elde edilmesine neden olmaktadır.

Çizelge 4.10. GDA için önerilen denklemlerin ölçülmüş ve tahmin edilen değerleri

Numune	Örnek No	% Kütle Kaybı			Hacim Kaybı		
		Böhme Ölçülen	GDA Ölçülen	GDA Tahmin Edilen	Böhme Ölçülen (cm ³)	GDA Ölçülen (mm)	GDA Tahmin Edilen (mm)
Bozunmamış	1	7.80	0.33	0.24	12.50	21.46	21.25
	2	6.84	0.32	0.18	11.96	22.94	21.08
	3	3.50	0.17	-0.05	5.58	21.85	19.16
	4	6.31	0.16	0.14	8.94	20.90	20.17
	5	11.59	0.43	0.50	18.57	23.36	23.08
	6	17.33	0.78	0.89	25.87	28.46	25.27
	7	20.14	0.86	1.08	32.46	31.64	27.26
	8	21.18	0.81	1.15	33.18	27.27	27.48
	9	9.12	0.27	0.33	14.60	22.04	21.88
	10	6.96	0.19	0.19	10.97	20.89	20.79
	11	48.35	3.33	2.99	65.67	48.00	37.26
	12	52.69	2.36	3.28	87.02	40.86	43.69
	13	62.29	3.95	3.93	86.99	49.52	43.68
Donma-Çözülme sonrası ait	1	9.03	0.42	0.33	14.19	22.57	21.76
	2	9.61	0.50	0.37	15.31	23.09	22.09
	3	8.20	0.20	0.27	14.15	21.18	21.74
	4	6.98	0.18	0.19	12.69	19.32	21.30
	5	13.13	0.54	0.60	20.94	23.28	23.79
	6	18.73	0.82	0.98	27.27	25.69	25.70
	7	20.91	0.88	1.13	33.29	28.04	27.51
	8	23.61	0.93	1.31	35.00	28.17	28.02
	9	10.88	0.39	0.45	17.24	22.25	22.67
	10	7.01	0.28	0.19	11.46	22.09	20.93
	11	50.70	3.14	3.15	83.60	40.94	42.66

Çizelge 4.10. devamı

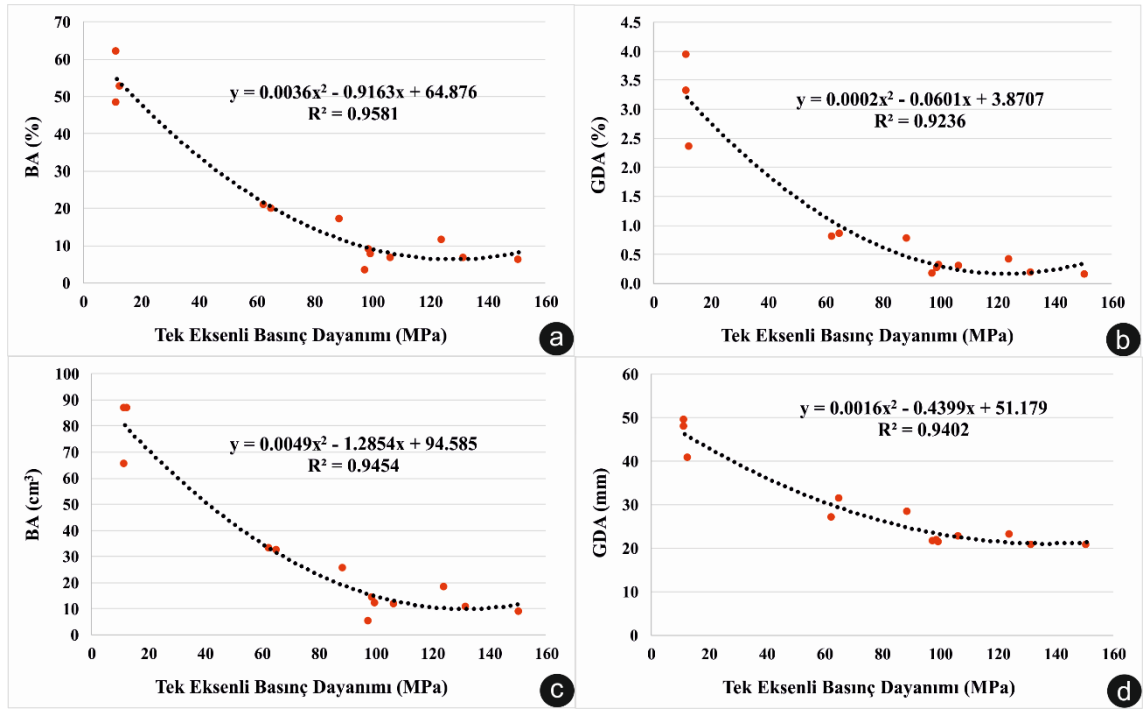
Numune	Örnek No	% Kütle Kaybı			Hacim Kaybı		
		Böhme Ölçülen	GDA Ölçülen	GDA Tahmin Edilen	Böhme Ölçülen (cm ³)	GDA Ölçülen (mm)	GDA Tahmin Edilen (mm)
Tuz Kristallenmesi sonrasında ait	1	8.77	0.33	0.31	13.89	21.41	21.67
	2	9.01	0.65	0.32	15.48	20.91	22.14
	3	9.17	0.33	0.34	14.21	22.01	21.76
	4	6.81	0.28	0.18	11.12	20.73	20.83
	5	12.33	0.62	0.55	20.53	25.30	23.67
	6	16.99	0.83	0.87	28.90	25.28	26.18
	7	19.97	0.91	1.07	34.83	27.35	27.97
	8	19.97	1.07	1.07	32.69	28.32	27.33
	9	9.18	0.33	0.34	15.01	22.46	22.00
	10	7.11	0.22	0.20	11.59	20.66	20.97
	11	47.29	3.26	2.92	78.11	42.70	41.01



Şekil 4.14. GDA için önerilen denklemlerin ölçülmüş ve tahmin edilen değerlere ait grafikler (BA kütle kaybından (%) (a), BA hacim kaybından (cm³) (b) tahmin edilen GDA değerleri.

Aşındırma testlerinden elde edilen sonuçlar ile tek eksenli basınç değerleri (UCS) arasındaki ilişkilere de bakıldığında, hem yüzde aşındırma değerleri (Şekil 4.15a-b) hem de standartta verilen birim cinsinden olan aşındırma değerleri (Şekil 4.15c-d) ile tek

eksenli basınç dayanımı arasında yüksek bir belirleme katsayısının olduğu tespit edilmiştir (Eş. 4.5 - Eş. 4.8). Bu sonuca göre UCS'den de aşınma kaybının hesaplanabileceği belirlenmiştir. Burada da BA için Eş.4.5'in GDA için de Eş. 4.7'nin % aşınma kaybı değerlerine bağlı elde edilen eşitliklerinin kullanımı önerilmektedir. Bu eşitliklerin elde edilmesinde üssel ilişkinin doğrusal ilişkiden daha yüksek regresyon katsayısına sahip olduğu görülmüş olup bu sonucun Çobanoğlu ve Çelik (2017) tarafından UCS ile GDA ve BA arasında yapılan ilişkilere benzer şekilde geliştiği gözlenmiştir.



Şekil 4.15. Tek eksenli basınç dayanımı ile aşındırma testlerinden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiler.

$$BA(\%)=0.0036(UCS)^2-0.92UCS+64.88 \quad (R^2=0.96) \quad (4.5)$$

$$BA(cm^3)=0.0049(UCS)^2-1.29UCS+94.59 \quad (R^2=0.95) \quad (4.6)$$

$$GDA(\%)=0.0002(UCS)^2-0.06UCS+3.88 \quad (R^2=0.92) \quad (4.7)$$

$$GDA(mm)=0.0016(UCS)^2-0.44UCS+51.179 \quad (R^2=0.94) \quad (4.8)$$

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında mermerler için kullanılan aşındırma testleri arasında en yaygın kullanılan iki metot arasındaki ilişkiler 13 farklı kaya ve bu kayaların yapay bozunmayla tahrip edilen numuneleri arasındaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Sonuçlar

Tez çalışmasında kullanılan numunelerin Böhme aşındırma ve Geniş Diskli aşındırma testi sonuçlarına bakıldığında genel olarak en az aşınan numunelerin tek eksenli basınç ve Schmidt çekici geri tepme değerleri en yüksek olan bazalt, andezit ve granit olduğu, en fazla aşınan numunelerin ise killi kireçtaşı ve ignimbiritler olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar aşınmada kayayı oluşturan minerallerin sertliğinin aşınmayı etkileyen en önemli parametre olduğunu göstermektedir.

GDA ve BA testinde, başlangıç numuneleri ile bozunma sonrası tahrip edilen numuneler karşılaştırıldığında aşınma miktarının bozunmanın artmasıyla arttığı görülmüştür.

GDA testinin sonuçları oluk açıklığına göre değerlendirildiğinde, başlangıç numuneleri ile yapay bozunma sonucu tahrip edilen numuneler arasındaki bozunmanın etkisi, tüm numunelerde net olarak gözlenmemiştir. Oluk açıklığı; aynı kayanın farklı noktasındaki gözenek, bant, fosil gibi heterojen dokusal özelliklerinden etkilendiği için, değerlendirmeler de bazen doğru bir sonuç vermemektedir. Özellikle oluk derinliği hesaplanamadığından, kütle kaybının GDA testi sonuçlarında kullanılması daha doğru sonuçlar verecektir. Bu durumda da oluşan oluğun düzgün olmasına ve kayanın genel özelliklerini yansıtacak bir noktadan alınmasına dikkat edilmelidir.

BA testinde her kaya için karşılaştırma yapıldığında, aynı kayanın % kayıp ile cm^3 hacim aşınma kaybı sonuçları arasında uyum olduğu belirlenmiştir.

Yapay bozunmalarda özellikle de donma-çözülme testinde, bozunmanın etkisi kayanın tamamında eşit olmayabilmektedir. Bu nedenle, BA testinde aşındırma diskinin ve aşındırıcı tozun numunenin tüm yüzeyine eşit olarak etki etmesinden dolayı, yapay bozunmanın etkisi GDA testine göre daha net olarak gözlenmiştir.

13 farklı kayanın sonuçları karşılaştırıldığında, BA bağımsız değişkeninden GDA bağımlı değişkeninin, hem % kayıp cinsinden, hem de standartta verilen birim cinsinden hesaplanabileceği, yüksek belirleme katsayısına sahip eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerden Eş.4.2 ve Eş.4.4'ün aşınmaya karşı yüksek dayanıma sahip mermer örneklerinden elde edilmesinden dolayı, GDA'nın BA değerinin hesaplanmasında kullanılabileceği belirlenmiştir.

Kayaların tek eksenli basınç dayanımı ile aşındırma değerleri arasında da belirleme katsayısı yüksek eşitlikler elde edilmiştir ve bu eşitliklerden özellikle Eş.4.5'in ile Eş. 4.7'nin GDA ve BA değerlerinin belirlenmesinde kullanılması önerilmektedir.

BA aşınma deneyinin; GDA deneyi gerçekleştirme süresinin yaklaşık 30 katı süre alması, daha fazla aşındırıcı toz kullanılması, aşındırıcı tozun maliyetinin GDA deneyinde kullanılan korundum tozun maliyetinin hemen hemen iki katı olması gibi olumsuz tarafları bulunmasına rağmen, her iki yöntemde de elde edilen aşınma değerlerine bakıldığında, BA deneyinde tüm yüzeyin aşınmaya tabi tutulması ve her 22 devirden sonra numunenin 16 döngü boyunca 90° döndürülmesi, traverten gibi farklı içyapıya sahip kayalarda aşınmanın daha eşit dağılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle BA deneyi GDA deneyinden daha doğru aşınma kaybı değeri vermektedir.

5.2. Öneriler

Traverten gibi farklı kesim yüzeyi özellikleri gösteren örneklerde aşınmanın nereden yapılacağına karar verilirken dikkat edilmesi önerilmektedir.

Literatürde Çobanoğlu ve Çelik (2017) dışında GDA sonuçlarının iç ve dış mekanlarda kullanılabilirliğinin belirlenebileceği bir ölçüte rastlanmamıştır. Bu çalışmanın verileri artırılarak böyle bir ölçütü içeren değer aralıklarına sahip bir tablonun hazırlanması önerilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen eşitliklerin kontrol edilmesi amacıyla kaya çeşidinin artırılarak, hesaplamalarda olabilecek hataların azaltılması için yeni çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akın, M., 2008. *Eskipazar (Karabük) Travertenlerinin Bozunmasının Araştırılması* (doktora tezi, basılmamış). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 263.
- Akın, M. and Özsan, A., 2011. Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70:101–114.
- Akın, M., Dinçer, İ., Özvan, A., Oyan, V. Ve Tapan, M., 2016. İgnimbiritlerdeki kılcal su emme özelliğinin ahlal selçuklu mezar taşlarının bozunmasındaki rolü. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 40 (2).
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E, Gökçeoğlu, C., 1997. The surficial physical deterioration behaviour of Neogene volcano-sedimentary rocks of Eskişehir-Yazılıkaya NW Turkey. *Proc. Int. Symp. on Engineering Geology and Environment. Athens Greece*. A.A. Balkema, Rotterdam. V3. 3065-3069
- Broekmans, M.A.T.M. 2007. Failure of greenstone, jasper and cataclasite aggregate in bituminous concrete due to studded tyres: similarities and differences, *Materials Characterization*, 58 :1171-1182.
- Cardu, M. and Giraudi, A., 2012. Metal – Rock pair characterization in exviation engineering. *J South Afr. Inst. Min. Metal.*, 112 : 379-386.
- Çobanoğlu, İ. and Çelik, S.B., 2017. Assessments on the usability of Wide Wheel (Capon) test as reference abrasion test method for building stones, *Construction and Building Materials*, 151 : 319-330.
- Çobanoğlu, İ. and Çelik, S.B., 2010. Correlation between wide wheel abrasion (capon) and Böhme abrasion test results for some carbonate rock, *Sci. Res. Essays* 5:(22) : 3398-3404.
- Deere, D. and Miller, R. 1966., *Engineering Classification And Index Properties For Intact Rock Tech.* Report No AFWL - TR-65-116, Air Force Weapons Lab., Kirtland Air Base, New Mexico.
- Erdoğan, O. and Özvan, A., 2015. Evaluation of strength parameters and quality assessment of different lithotype levels of Edremit (Van) Travertine (Eastern Turkey). *Journal of African Earth Sciences*, 106: 108-117.
- ISRM, 1981. *Rock characterization, testing and monitoring. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods*, Pergamon Press, 211, Oxford.
- ISRM, 2007. *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006*. Eds. R. Ulusay and J.A. Hudson, ISRM Turkish National Group, Ankara.

- ISRM, 2014. *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*, 2007–2014, (Eds. R. Ulusay). Springer International Publishing, Switzerland. 101-106.
- Karaca, Z., Deliormanlı, A.H., Elçi, H., Pamukçu, C., 2010. Effect of freze –thaw process on the abrasion loss value of Stones, *Int.J.Rock Mech.Mining Sci.*, 47:(7) 1207-1211.
- Karaca, Z., Yılmaz , N.G., Gökten R. M., 2012. Considerations on the european standard EN 14157 test methods: Abrasion resistance of natural Stones used for flooring in building, *Rock Mech.Rock Eng.*, 45 : 103-111.
- Mac Gregor, I.D. and Chiu, K.Y. 2000. Porosity and wear resistance in Stone Flooring tiles, *J.Test Eval.*, 28 :149-154.
- Marini, P., Bellopede, R., Perino, L., Regibus, C.D. 2011. Optimisation of an abrasion resistanc test method on natural Stones, *Bull.Eng.Geol. Environ.*, 70 :133-138.
- RILEM, 1980. *Recommended Tests To Measure The Deterioration Of Stone And To Assess The Effectiveness of Treatment Methods*. Commission 25-PEM. Material and Structures. 13: 175-253.
- Sahlin, T., Starzec, K., Stigh, J., Scouenborg, B. 2001. Physical properties and durability of fresh and impregnated limestone and sandstone from central Sweden used for thinstone flooring and cladding, *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 181-185.
- TS 12371, 2010. *Doğal Taşlar - Deney Metotları – Dona Dayanım Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 13
- TS 699, 2016. *Tabii Yapı Taşları, İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 36
- TS EN 12370, 2001. *Doğal Taşlar - Deney Metotları – Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 9
- TS EN 14157, 2017. *Doğal Taşlar – Aşınma Direncinin Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 21
- TS EN 1926, 2007. *Doğal Taşlar - Deney Metotları – Basınç Dayanımı Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 17
- Türkmenoğlu, F.Z., 2007. *Yapı Taşı Olarak Kullanılan Bazı Kayaların Fizikomekanik Özelliklerinin Belirlenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Ürünveren, A.K., 2008. *Kadirli (Osmaniye) Kösepınarı Köyü ve Çevresindeki Mermerlerin Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Van, T.T., Beck, K. and Al-Mukhtar, M., 2007. Accelerated weathering tests on two highly porous limestones. *Environmental Geology*, **52**: 411-420.
- West, G., 1981. A review of rock abrasiveness testing for tunneling, *Proceedings of the international Symposium on Weak Rock*, 21-24 September, Tokyo, 585-594
- Yavuz , A.B., Türk, N. ve Koca, M.Y., 2002. Muğla yöresi mermerlerinin mineralojik kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği*, 28-1.
- Yılmaz, N.G., 2013. The influence of testing procedures on uniaxial compressive strength prediction of carbanate rock from Equotip hardness tester (EHT) and proposal of a new testing methodology; hybrid dynamic (HDH), *Rock Mech.-Rock Eng.*, **46** : 95-106.
- Yılmaz, NG., Goktan, R.M. and Onargan, T., 2017. Correlative relations between three-body abrasion wear resistance an petrographic properties of selected granites used as floor coverings, *Wear*, **372-373**:197–207



ÖZ GEÇMİŞ

1968 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Diyarbakır'da tamamladıktan sonra (1988-1992) tarihleri arasında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği bölümünden mezun oldu.

2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Halen Van Büyükşehir Belediyesi Asfalt Laboratuvarında Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 25/07/2019

Tez Başlığı / Konusu: **Donma-Çözülme ve Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Kaya Örneklerde Oluşan Aşınma Kaybı Miktarlarının Belirlenmesi**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 42 sayfalık kısmına ilişkin, 25/07/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından TURNITIN intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 (Yüzde Üç) dür.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç;
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Nevzat DİREK
25/07/2019

Adı Soyadı: Nevzat DİREK

Öğrenci No: 159101054

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Yüksek Lisans

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç.Dr. Ali ÖZVAN

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Süleyman SENSÖZ
Enstitü Müdürü