

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GENİŞ DİSK AŞINMA DENEYİNİN KAYA KAROT
ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUFAN KOLGİTTİ

DENİZLİ, OCAK - 2022

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GENİŞ DİSK AŞINMA DENEYİNİN KAYA KAROT
ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUFAN KOLGİTTİ

DENİZLİ, OCAK - 2022

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından 2021FBE028 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

TUFAN KOLGİTTİ

ÖZET

GENİŞ DİSK AŞINMA DENEYİNİN KAYA KAROT ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUFAN KOLGİTTİ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SEFER BERAN ÇELİK)

DENİZLİ, OCAK - 2022

Geniş Disk Aşınma Deneyi (G_{DA}), doğaltaş olarak kullanılan kayaçların aşınma dirençlerinin belirlenmesi için önerilmiş ve prizmatik örnekler üzerinde gerçekleştirilen pratik ve ekonomik bir deney yöntemidir. Tez kapsamında, G_{DA} deney cihazı üzerinde ek bir karot tutucu aparat kullanılarak karot örneklerin aşınma değerlerinin belirlenebilmesi araştırılmıştır. G_{DA} cihazının karot örnekler üzerinde kullanılabilmesi yoluyla aşınma değerlerinin pratik olarak elde edilebilmesi mümkün olabilecek ve çeşitli mühendislik projelerinde yeni bir aşınma parametresi olarak kullanılabilir. Seçilen 9 kayaç türünden yaklaşık 27, 40, 48, 58 ve 68 mm çaplarında karot örnekler hazırlanmıştır. Örneklerin kuru ve doygun birim hacim ağırlık (γ_k , γ_d), görünür gözeneklilik (n_g), ağırlıkça su emme (A_s), boyuna dalga hızı (V_p), Leeb sertlikleri (HL_D) ardından karot aşınma (I_A) ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri (UCS) belirlenmiştir. Aynı tür ancak farklı çaplı örnekler üzerinde farklı I_A değerleri elde edilmektedir. Bu durumun değerlendirmelerde karışıklıklara neden olmaması için 50 mm çaplı örnekler üzerinde aşınma deneyinin gerçekleştirilmesi önerilmiş ve bu değer karot aşınma indeksi olarak tanımlanmıştır (I_{A-50}). Tüm örnekler üzerinde elde edilen I_A değerleri örnek grupları için önerilen düzeltme katsayıları ile çarpılarak I_{A-50} değerleri elde edilmiştir. Ayrıca yöntemin numune yetersizliği gibi durumlarda yarım karot örnekler üzerinde uygulanabilirliği araştırılmış ve I_A deneyinin yarım karotlar üzerinde de gerçekleştirilebildiği (D_A) ortaya konmuştur. I_{A-50} değerleri ile diğer malzeme özellikleri arasında elde edilen korelasyon denklemlerini kullanılarak, I_{A-50} değerinden kaya malzeme özelliklerinin tahmini veya I_{A-50} değerinden UCS gibi önemli bir tasarım parametresinin tahmininin mümkün olduğu ortaya konmuştur. I_{A-50} parametresinin kaya malzeme aşınmasının önemli olduğu mühendislik projelerinin tasarımlarında alternatif bir aşınma parametresi olarak kullanılabilirliği öngörülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Geniş Disk Aşınma deneyi, karot aşınma indeksi, kaya karot örneği

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE APPLICABILITY OF THE WIDE WHEEL ABRASION TEST ON ROCK CORE SAMPLES

MSC THESIS

TUFAN KOLGİTTİ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SEFER BERAN ÇELİK)

DENİZLİ, JANUARY 2022

The Wide Wheel Abrasion Test (G_{DA}) is a practical and economical test method that has been proposed to determine the abrasion resistance of rocks used as natural stones and is carried out on prismatic samples. Within the scope of this thesis, it was investigated that the abrasion values of the core samples could be determined by using an additional core holder apparatus on the G_{DA} test device. By using the G_{DA} device on core samples, it will be possible to obtain practical abrasion value and can be used as a new abrasion parameter in various engineering projects. Core samples of approximately 27, 40, 48, 58 and 68 mm in diameters were prepared from selected 9 rock types. After determining the dry and saturated unit weights (γ_k , γ_d), apparent porosity (n_g), water absorption by weight (A_s), longitudinal wave velocity (V_p) and Leeb hardness (HL_D) of the samples, core abrasion tests were carried out on all samples (I_A) finally uniaxial compressive strength tests (UCS) were carried out on all samples. Different I_A values are obtained on samples of the same rock types but with different diameters. In order to overcome some misinterpretations, it was suggested to perform the abrasion test on 50 mm diameter samples within the scope of this thesis and this value was defined as the core abrasion index (I_{A-50}). I_{A-50} values were obtained by multiplying the I_A values with the correction factors which were obtained in this study for each sample group. In addition, the applicability of the method on half-core samples was investigated in cases such as sample insufficiency, and it was revealed that the I_A test can also be performed on half-cores (D_A). By using the correlation equations obtained between I_{A-50} values and other material properties, it has been revealed that it is possible to estimate rock material properties from I_{A-50} value or to estimate an important design parameter such as UCS from I_{A-50} value. It is believed that the I_{A-50} parameter can be used as an alternative abrasion parameter in the design of engineering projects where rock material abrasion is an important aspect.

KEYWORDS: Wide Wheel Abrasion test, core abrasion index, rock core sample

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı.....	1
1.2 Önceki Çalışmalar	3
2. MALZEME VE METOT.....	6
2.1. Örnek Grupları ve Örnekleme Çalışmaları.....	6
2.2. Örnek Gruplarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri	9
3. FİZİKSEL VE MEKANİK KAYA MALZEME ÖZELLİKLERİ.....	12
3.1. Kuru ve Doygun Birim Hacim Ağırlıklar.....	12
3.2. Ağırlıkça Su Emme Oranları.....	14
3.3. Görünür Gözeneklilik Değerleri.....	15
3.4. Leeb Sertlik Değerleri.....	20
3.5. Boyuna Dalga Geçiş Hızları.....	23
3.6. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımları	24
3.7. Elastisite Modülü ve Poisson Oranları	26
4. GENİŞ DİSK AŞINMA DENEYİ.....	29
4.1. Geniş Disk Aşınma Deneyinin Tanıtımı.....	29
4.2. Geniş Disk Aşınma Deneyinin Karot Örneklere Uygulanması	31
4.3. Karot Örneklerde Farklı Çaplar İçin Elde Edilen Aşınma Değerleri	34
4.4. Yarım Karot Örneklere Geniş Disk Aşınma Deneyinin Uygulanabilirliği. 40	
4.5. Geniş Disk Karot Aşınma Deneyi ile İlgili Değerlendirmeler.....	42
5. KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE KAROT AŞINMA DEĞERLERİNİN KORELASYONU	43
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
7. KAYNAKLAR	53
8. ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Örnek hazırlama aşamaları (a: Karotiyer kullanılarak bloklardan örnek alımı, b: Karot örnek alımı detay görünümü, c: Blokların genel görünümü, d: Karotların istenilen boyda kesilmesi, e: Yarım karot örneklerin kesilmesi).	7
Şekil 2.2: Hazırlanan karot örneklerinin görünümleri.	8
Şekil 2.3: Tez kapsamında araştırılan örnek gruplardan temsili ince kesit görünümleri (Cal: Kalsit, Opq. M.: Opak mineral, Qtz: Kuvars, Prx: Piroksen, Pl: Plajiyoklas, Dol: Dolomit, Shard: Volkan camı kıymığı).	11
Şekil 3.1: Karotların ortalama boy ve çaplarının belirlenmesinde izlenen yol.	12
Şekil 3.2: Leeb sertliği ölçüm işlemi (a) ve ölçüm alınan noktalar (b).	21
Şekil 3.3: Leeb sertliği değerlerinin örnek hacmiyle değişimi.	22
Şekil 3.4: Boyuna dalga geçiş zamanı ölçümü.	23
Şekil 3.5: Örnek grupları için elde edilmiş gerilme, enine ve boyuna deformasyon verilerinin grafiksel gösterimi.	28
Şekil 4.1: GDA cihazının şematik görünümü (TS EN 14157 2017).	30
Şekil 4.2: Karot tutucunun şematik (a, b) görünümü (Ölçüler mm cinsindedir).	32
Şekil 4.3: Karot aşınma deneyinin gerçekleştirilmesi ve aşınma miktarının belirlenmesi (a: Örneğin cihaza yerleştirilmesi, b: Deneyin başlatılması, c: Aşınan kısmın sınırlarının belirlenmesi, d: Aşınan kısmın sınırlarının çizilmesi, e: Aşınma miktarının üç noktada ölçülmesi).	33
Şekil 4.4: Karot aşınma deneyi sonrası uygun ve uygun olmayan deney sonuçlarının görünümü, ignimbirit (a), traverten (b).	34
Şekil 4.5: Örnek grupları için 70 ile 40 mm çaplı karotlar üzerinde elde edilen ortalama IA değerinin farkı.	35
Şekil 4.6: TR, IG, LB ve DL örnek grupları için IA deney sonrası görünüm.	35
Şekil 4.7: Örnek gruplarında farklı çaplar için elde edilen IA değerleri.	38
Şekil 4.8: Örnek grupları için elde edilmiş düzeltme katsayıları.	39
Şekil 4.9: Yarım karot örnek üzerinde aşınma deneyinin gerçekleştirilmesi.	40
Şekil 4.10: Karot (a) ve yarım karot (b) örnekler üzerinde deney sonrası aşınan oluğun şematik görünümü ve aşınma miktarının hesaplanması.	41
Şekil 4.11: IA-50 ve DA değerlerinin korelasyonu.	41
Şekil 4.12: DA deneyi yapılmış yarım karotların görünümü.	42
Şekil 5.1: γ_k ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.	44
Şekil 5.2: γ_d ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.	45
Şekil 5.3: n_g ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.	45
Şekil 5.4: A_s ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.	46
Şekil 5.5: V_p ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.	47
Şekil 5.6: H_{LD} ve I_{A-50} arasındaki korelasyon	47
Şekil 5.7: UCS ve I_{A-50} arasındaki korelasyon.	48

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Tez kapsamında hazırlanan karot örnek özellikleri	6
Tablo 3.1: Örnek gruplarının kuru ve doymuş birim hacim ağırlık değerleri. ..	14
Tablo 3.2: Örnek gruplarının su emme değerleri.	15
Tablo 3.3: Örnek gruplarının görünür gözeneklilik değerleri.	16
Tablo 3.4: Örnek gruplarının Leeb sertliği değerleri.	22
Tablo 3.5: Örnek grupları için belirlenmiş V_p değerleri.	24
Tablo 3.6: Örnek gruplarının UCS değer aralıkları.	25
Tablo 3.7: Örnek grupları için elde edilen UCS, E ve ν değerleri.	27
Tablo 4.1: Örnek grupları için elde edilmiş I_{A-D} ilişkileri ve F katsayıları.	36
Tablo 4.2: Örnek grupları için elde edilen karot aşınma (I_A) ve I_{A-50} değerleri.	37
Tablo 5.1: I_{A-50} ile diğer özellikler arasında elde edilen korelasyon eşitlikleri.	48
Tablo 5.2: Örnek grupları için elde deney sonuçları.	49

SEMBOL LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık
γ_d	: Doymun birim hacim ağırlık
V_P	: Boyuna ultrases dalga hızı
HL_D	: Leeb yüzey sertliği
UCS	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
E	: Elastisite (Young) modülü
ν	: Poisson oranı
G_{DA}	: Geniş disk aşınma değeri
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Topluluğu
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
A_k	: Kuru örnek ağırlığı
A_d	: Doymun örnek ağırlığı
V	: Örnek hacmi
A_s	: Ağırlıkça su emme değeri
L	: Örnek uzunluğu
t	: Dalga geçiş hızı
F_y	: Yenilme yükü
A	: Örnek kesit alanı
σ	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
ϵ_e	: Enine birim deformasyon
ϵ_b	: Boyuna birim deformasyon
R_0	: Deney öncesi örnek çapı
R_1	: Deney sonrası örnek çapı
L_0	: Deney öncesi örnek boyu
L_1	: Deney sonrası örnek boyu
I_{A-50}	: Karot aşınma indeksi
I_A	: Karot aşınma değeri
D_A	: Yarım karot aşınma değeri
F	: Düzeltme katsayısı
R^2	: Belirleme katsayısı

ÖNSÖZ

Tez kapsamında yürütülen çalışmaların her aşamasında yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan, tezin gelişiminde büyük emeği olan danışmanım Doç. Dr. Sefer Beran Çelik'e,

Tez ile ilgili değerlendirmeleri ve yapmış oldukları katkılardan dolayı jüri üyeleri Doç. Dr. İbrahim Çobanoğlu ve Prof. Dr. İsmail Dinçer hocalarıma,

Petrografik analizlerde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Tamer Koralay'a ve Doç. Dr. Barış Semiz hocalarıma,

Tez çalışmamın bazı aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Mühendisi Gürcan Elçi ve Yiğithan Say arkadaşlarıma,

Çalışmalarım sırasında her daim yanımda olan sevgili aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik gelişmelere bağlı olarak hızlı, ekonomik ve tahribatsız deney yöntemlerine olan talep giderek artmaktadır. Bu doğrultuda yeni deney yöntemleri ve ayrıca halihazırda kullanılan deney yöntemlerinin geliştirilmesi, araştırmacıların üzerinde yoğun çalışmalar yaptığı güncel konular olarak dikkati çekmektedir. Çeşitli fiziksel ve mekanik kaya malzeme özellikleri, mühendislik yapılarının tasarımında kullanılan önemli girdi parametreleridir. Bu özellikler, farklı şekil ve boyutlarda hassas olarak hazırlanan deney örnekleri üzerinde belirlenmektedir. Gerek hassas ekipman ihtiyacı ve gerekse de bazı zayıf ve yumuşak kayalardan örnekleme güçlüğü gibi nedenler sonucunda uygulamada standart ve yüksek kaliteli örnek hazırlama güçlüğü sıklıkla yaşanmaktadır. Bunun sonucunda istenilen deney sonuçlarının pratik, ekonomik ve tahribatsız yöntemlerle tahmini, üzerinde yoğun çalışılan konular olarak öne çıkmaktadır.

1.1 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Tünel, baraj, yol gibi büyük mühendislik jeolojisi projeleri, şev stabilitesi, maden ve doğaltaş sahalarının etüt ve değerlendirmesine yönelik araştırma sondajlarında farklı çaplarda karot örnekleri rutin olarak elde edilmektedir. Uygulamada bazı durumlarda, yeterli miktarda karot örneği temin edilememekte ve çoğu özelliğin kısıtlı sayıdaki örnekler üzerinde belirlenme zorunluluğu ile karşılaşmaktadır. Bu gibi kısıtlamalara paralel olarak, doğaltaşlar için Avrupa Standardizasyon Komitesi tarafından önerilmiş ve sadece prizmatik örnekler üzerinde gerçekleştirilen Geniş Disk Aşınma Deneyinin (G_{DA}) karot örnekler üzerinde uygulanabilirliği bu tez kapsamında araştırılmıştır. G_{DA} deneyinin karot örnekler üzerinde uygulanabilmesi yoluyla karot aşınma parametresi yeni bir parametre (I_A) olarak tanımlanabilecek ve çeşitli mühendislik projelerinde alternatif bir girdi parametresi olarak kullanımı mümkün olabilecektir.

Kaya malzemelerin aşınma dirençleri içerdikleri mineraller, yapısal ve dokusal özellikleri tarafından kontrol edilmektedir. Kuvars ve feldispat gibi, diğer minerallere göre daha sert olan minerallerin varlığı kayacın aşınmaya olan direncini artırmaktadır. Günümüze kadar kaya malzemelerin aşınma dirençlerini belirlemeye yönelik çeşitli deney yöntemleri önerilmiştir. Ancak bu yöntemlerde özel ekipmanlar, uzman teknisyen ve özel örneklere ihtiyaç duyulmakta ve bu anlamda deneyin gerçekleştirilmesi pratik ve ekonomik olmamaktadır. Literatürde, G_{DA} deneyinin karot örnekler üzerinde kullanılabilirliği ile ilgili yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Tez çalışması kapsamında karot örnekler üzerinde aşınma deneyi araştırıldığından farklı çaplarda farklı aşınma değerlerinin elde edileceği açıktır. Bu durum, değerlendirme açısından olumsuzluklara yol açabilecektir. Çalışma kapsamında 50 mm çaplı örnek üzerinde elde edilen aşınma değeri göz önüne alınmış ve “Karot Aşınma İndeksi” (I_{A-50}) olarak önerilmiştir.

Önerilen I_{A-50} aşınma indeksi deneyinde karot örnekler üzerinde oldukça düşük bir miktarda malzemenin aşındığı görülmüştür. Bu durum, deneye tabi tutulan karot örnekler üzerinde bir tahribatın olmayacağı veya düşük miktarda bir tahribatın olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Halihazırda, G_{DA} deney cihazında karot örneklerin aşınma deneyine tabi tutulması mümkün değildir. Karot örneklerin aşındırıcı diske temas etmesini sağlayacak yüksekliği ayarlanabilen bir karot örnek tutucuya ihtiyaç bulunmaktadır. Tez kapsamında bir karot tutucu tasarlanarak imal ettirilmiştir. V şekilli olarak tasarlanan tutucu kullanılarak 40 ile 70 mm arasında değişen çaplardaki karot örneklerin sağlıklı olarak aşınma deneyine tabi tutulabildiği ortaya konmuştur. Tez kapsamında gerçekleştirilen karot aşınma deneyi TS EN 14157 (2017) standardında önerilen yöntemle bağlı kalınarak uygulanmış ve aşınma değerleri belirlenmiştir.

Karot örneklerin aşınmaya tabi tutulacak yüzeyinin, aşındırıcı geniş diske benzer olarak dairesel kesitli olması deneyin geliştirildiği düz yüzey üzerindeki aşınmanın ölçümü esasına ters düşmektedir. Başka bir ifadeyle aynı tür ve farklı çaplardaki karot örnekler üzerinde meydana gelecek aşınma miktarı deney süresince aşınan yüzeyin genişliğinin artışına bağlı olarak farklılık gösterecek ve uygulamada aynı litolojiye ait örnekler üzerinde de farklı aşınma değerlerinin elde edilmesine neden olacaktır. Bu durum tez kapsamında değerlendirilmiş ve farklı çaplı örnekler

üzerinde ölçülen I_A değerinin 50 mm çaplı örnek üzerinde alınan değere göre düzeltilebilirliği araştırılmıştır.

Bu kapsamda 40, 50, 60 ve 70 mm çaplı örnekler üzerinde alınan ölçümler analiz edilerek her kaya türü için düzeltme eşitlikleri önerilmiştir. Düzeltilmiş karot aşınma değeri ise I_{A-50} olarak tanımlanmıştır. Mümkün olan koşullarda yarım karotlar üzerinde de G_{DA} deneyinin gerçekleştirilebilirliği tez kapsamında araştırılmıştır. Her örnek grubundan 50 mm çaplı ikişer karot yarılanmıştır ve düz yüzeyleri üzerinde G_{DA} deneyleri başarı ile gerçekleştirilmiştir. Yarım karot örnekleri üzerinde elde edilen aşınma değerleri D_A olarak adlandırılmıştır. I_{A-50} ile D_A değerleri örnek grupları için karşılaştırılmış ve aralarında oldukça yüksek doğrusal ilişki elde edilmiştir. I_{A-50} değerleri elde edilen diğer malzeme özellikleri ile karşılaştırılmış ve ilgili eşitlikler sunulmuştur.

Bu tez çalışması yoğun deneysel bir çalışmanın ürünü olup tezde, karot örnekler üzerinde geniş disk aşınma deneyinin uygulanabilirliğinin ortaya konması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde karotlar üzerinde aşınma değeri yeni bir parametre olarak başarıyla elde edilebilmiştir. Ortaya konan düzeltilmiş karot aşınma değeri diğer parametrelerle karşılaştırılmış ve yüksek belirleme katsayılarıyla temsil edilen eşitlikler önerilmiştir.

1.2 Önceki Çalışmalar

G_{DA} ile ilgili literatür incelendiğinde çalışmaların daha çok doğal taşlar üzerinde ve doğal taşların aşınma dirençlerinin ortaya konmasına yönelik olduğu görülmektedir. Ayrıca deney koşullarının incelendiği bazı çalışmalara da rastlamak mümkündür. Aşağıda G_{DA} deneyini konu alan çalışmalara değinilmiştir.

Çobanoğlu ve diğ. (2010), Batı Anadolu'da yirmi bir farklı noktadan toplanmış olan kireçtaşı, mermer, dolomitik kireçtaşı ve traverten örnekleri üzerinde Böhme aşınma ve geniş disk aşınma deneylerini uygulayarak elde edilen parametreler arasındaki korelasyonları araştırmıştır. Test sonuçları arasında anlamlı doğrusal ilişkiler ortaya konmuştur.

Karaca ve diğ. (2010), Böhme ve G_{DA} deney yöntemleri arasında bir korelasyon elde etmek için yirmi beş farklı doğal taşın aşınma dirençleri ile fiziko-mekanik özelliklerini de araştırmıştır. Aşınma direnci ile fiziko-mekanik özellikler arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiş ve anlamlı doğrusal korelasyon değerleri elde etmişlerdir. Yapılan çalışmada kullanılan her iki aşınma direnci yöntemi ile tek eksenli sıkışma dayanımı ve Brezilyan çekme mukavemeti arasında istatistiksel olarak anlamlı doğrusal korelasyonlar ortaya konmuştur.

Yılmaz (2011), mineraloji temelli kaya sertliği indeksleri kullanılarak dairesel testelerde granitlerin aşınma ve aşındırma potansiyellerinin belirlenmesini araştırmıştır. Yapı ve dekoratif malzeme olarak yaygın kullanılan dokuz farklı granit üzerinde testere performansı deneyleri gerçekleştirmiştir. Ölçülmüş olan testereye özgü aşınma oranları, sert mineral bileşenlerinin yüzde içeriğini, bilinen sertlik değerleri ile birleştirerek elde edilen üç farklı kaya sertliği indeksiyle ilişkilendirmiştir. Kuvars yüzdesi içeriği önemli bir aşındırma parametresi olarak kabul edilse de çalışmada yapılan gözlemler, kuvars yüzdesinin tek başına değerlendirilmesinin granitlerin aşındırıcı etkisini tanımlamak için yeterli olmadığını ve böylece diğer sert mineral bileşenlerinin de dahil edilmesinin daha uygun olacağını önermiştir.

Marini (2011), doğal taşlardaki aşınma direnci tayininde kullanılan aşındırıcı malzemeler ve Bolonez mermerinin temininin deneyi pahalı hale getirdiğini dile getirmiştir. Canaloni mermerinin G_{DA} deneyinde alternatif bir referans kaya malzemesi olarak kullanılabileceğini önermiştir. Ayrıca standartta belirtilen ve üç kez kullanımla sınırlandırılan aşındırıcı tozun etkinliğinin daha fazla sayıda gerçekleştirilen testten sonra bile performansının değişmediğini ortaya koymuştur.

Yaralı (2016), Zonguldak Taşkömür Havzası kömür çevre kayaçlarının dayanımlarının Cerchar aşınma indisine (CAI) olan etkilerini araştırmıştır. 29 kömür çevre kayacı üzerinde Cerchar aşınma, tek eksenli basınç, Brazilian çekme dayanımı ile üç eksenli basınç dayanımı deneylerini yapmıştır. Cerchar aşınma ve dayanım deney sonuçlarını, regresyon analizi ve istatistiksel yöntemlerle değerlendirmiş, CAI ve tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı, içsel sürtünme açısı ve kohezyon arasında pozitif doğrusal ilişkiler önermiştir.

Çobanoğlu ve Çelik (2017), otuz iki numune üzerinde (otuz doğal taş, iki yapay taş) fiziksel özellik, sertlik, G_{DA} ve Böhme aşınma, tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerini elde etmişlerdir. Geniş disk aşınma değerlerinin diğer özellikler ve Böhme değerleri üzerinden tahmin edilebileceği sonucuna varmışlardır. Son olarak ise test edilen doğal taşlar için üç sınıftan oluşan bir aşınma sınıflandırması önermişlerdir.

Çelik (2018), traverten, dolomit, kireçtaşı ve mermerden oluşan on bir tür karbonat kayası üzerinde G_{DA} deneyi gerçekleştirmiştir. Geniş disk aşınma deneyi ile pratik ve ekonomik olarak kaya malzemelerin aşınma değerlerinin ortaya konabildiğini belirtmiş ve G_{DA} değeri ile diğer fiziksel ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerini karşılaştırmış ve ilgili tahmin eşitliklerini sunmuştur.

Özvan ve Direk (2020), doğal kaya örneklerinin aşınma özelliklerini araştırmak amacıyla, bozulmamış ve yapay olarak bozulmuş numunelerde Böhme, G_{DA} , AIV (agrega darbe değeri) deneylerini uygulamışlardır. AIV- G_{DA} , AIV-Böhme, Böhme- G_{DA} değerleri arasındaki ilişkileri incelemişler ve bu ilişkileri gösteren ampirik formüller geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada doğal kaya örneklerinin Böhme ve AIV değerlerinin tanımlanması için aşınma sınıfı önermişlerdir.

Özvan ve İnan (2020), G_{DA} deneyinde uygulanan ağırlıkların, cilalı ve mat yüzeyli örnek yüzeylerin ve farklı aşındırıcı tozların test sonuçları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. G_{DA} deneyi için 48 adet 7x10x3 cm boyutlarında ve Böhme deneyi için 24 adet 7x7x3 cm boyutlarında numuneler kullanılmıştır. G_{DA} ve Böhme deneylerinde hem siyah yapay korundum, hem de beyaz erimiş alüminyum korundum tozu kullanılıp örnekler üzerinde birbirine yakın aşındırma değerleri elde edilmiştir. Uygulanan G_{DA} deneyinde numunelerin anizotropisinin ve yükün elde edilen oluk şeklini etkilediği ortaya konmuştur.

2. MALZEME VE METOT

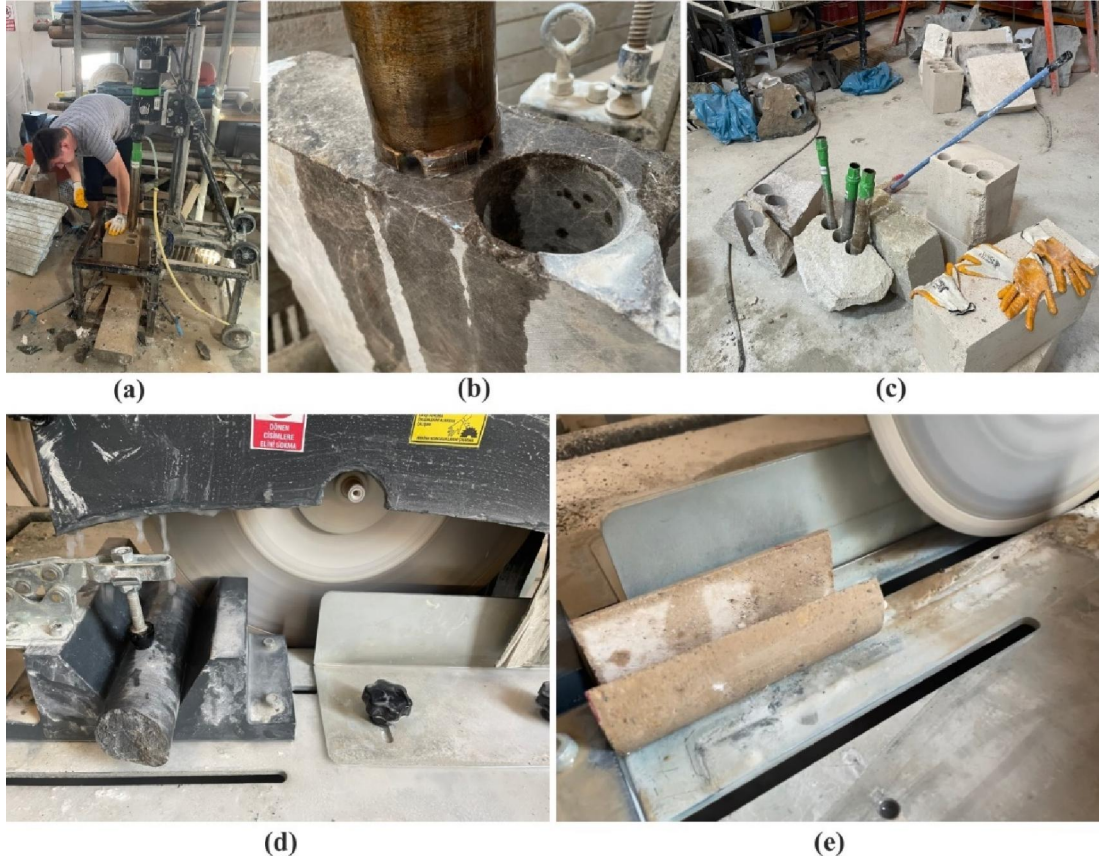
2.1. Örnek Grupları ve Örnekleme Çalışmaları

Bu tez çalışmasında değişik türde 9 farklı kaya türü seçilmiştir. Örnek gruplarının geniş bir aralıkta değişen fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olması tercih edilmiş bu sayede elde edilecek korelasyonların daha genel ve yaygın kullanıma sahip olması sağlanmıştır. Örnek grupları Türkiye'nin farklı bölgelerinden blok örnek olarak temin edilmiş ve bloklardan laboratuvarında karot örnekler alınmıştır. Örnekler 30, 40, 50, 60 ve 70 mm çaplı karot örnekler olarak alınmıştır. Uluslararası Kaya Mekaniği ve Mühendisliği Topluluğu (ISRM), deneysel kaya mekaniğinde özellikle tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde kullanılacak karot örneklerin boy/çap oranlarının en az 2.5 – 3 aralığında (ISRM 2007), Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM) ise bu oranı 2 – 2.5 aralığında önermiştir (ASTM 1991). Tez çalışması kapsamında, karot örnekler, boy/çap oranları 2.5 olacak şekilde hazırlanmıştır. Şekil 2.1'de örnek hazırlama aşamalarından görünüm verilmektedir. Hazırlanan örnekler için lokasyon, örnek türü, örnek çapı ve örnek sayısı bilgileri Tablo 2.1'de verilmiştir. Hazırlanan örneklerin topluca görünümü ise Şekil 2.2'de sunulmuştur.

Tablo 2.1: Tez kapsamında hazırlanan karot örnek özellikleri

Örnek kodu	Litoloji / Lokasyon	Ortalama örnek çapları (mm)	Örnek sayısı
TF	İgnimbirit / Afyon	26.11 / 39.61 / 47.61 / 56.31 / 67.21	3 / 3 / 3 / 3 / 3
IG	İgnimbirit / Nevşehir	26.81 / 39.63 / 47.73 / 58.50 / 66.91	3 / 3 / 3 / 3 / 3
TR	Traverten / Denizli	26.68 / 39.78 / 47.83 / 58.34 / 67.22	3 / 3 / 3 / 3 / 3
FL	Kireçtaşı / Burdur	26.86 / 39.64 / 47.92 / 58.41 / 67.42	3 / 3 / 3 / 3 / 3
LB	Dolomit / Burdur	26.71 / 39.74 / 47.75 / 58.33 / 67.60	3 / 3 / 3 / 3 / 3
TB	Kireçtaşı / Burdur	26.70 / 39.79 / 47.83 / 58.43 / 67.89	3 / 3 / 3 / 3 / 3
DB	Diyabaz / Burdur	27.42 / 39.83 / 47.84 / 58.26 / 67.90	2 / 1 / 2 / 1 / 1
MB	Mermer / Muğla	26.86 / 39.77 / 47.87 / 58.36 / 67.77	3 / 3 / 3 / 3 / 3
DL	Dolomit / Denizli	26.71 / 39.65 / 47.79 / 58.52 / 67.67	3 / 3 / 3 / 3 / 3

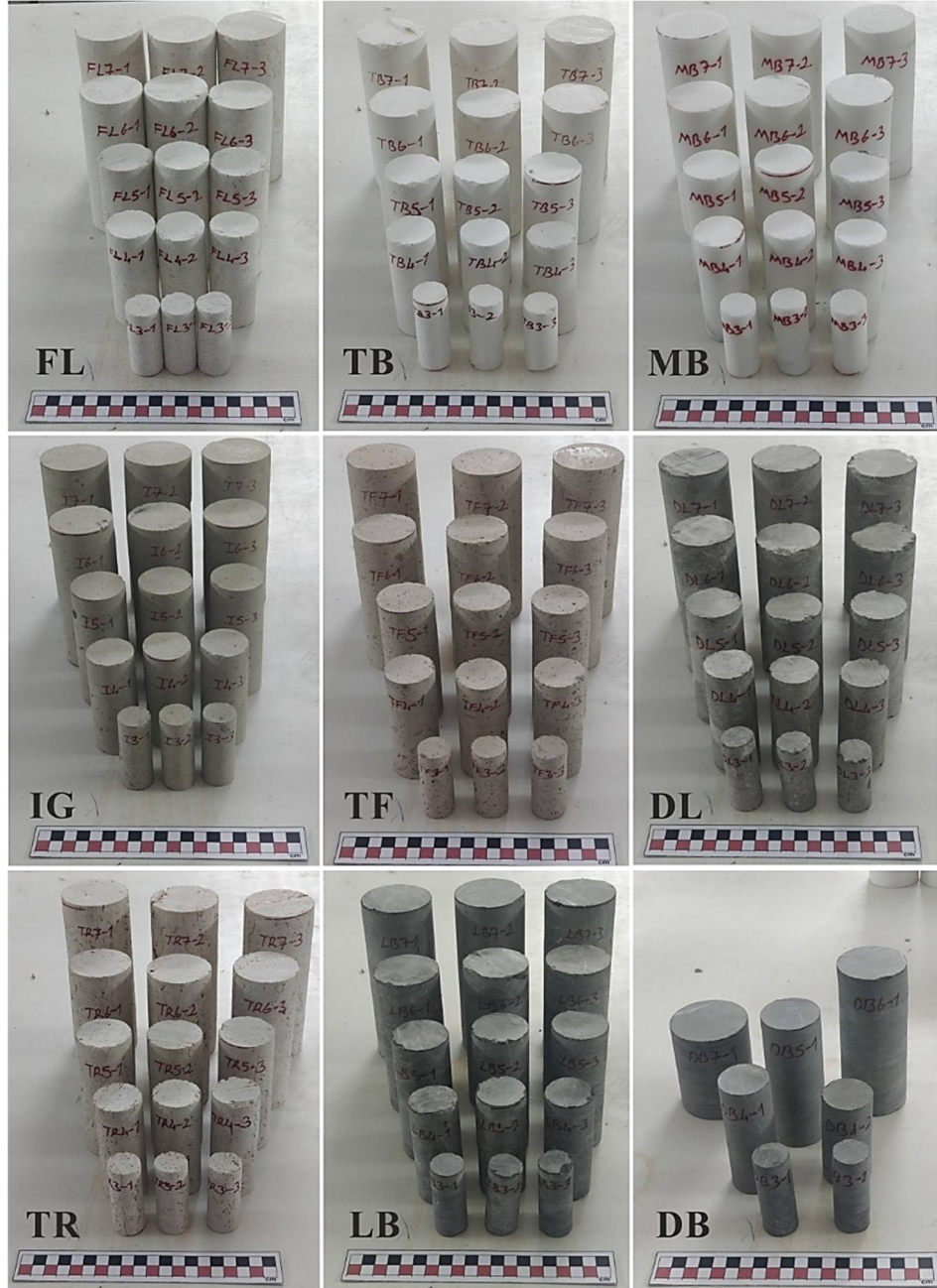
Diyabaz grubu örnekleme sırasında az miktarda blok örnek temin edilebildiğinden ve örnekler hazırlanırken parçalanmaları sebebiyle sınırlı sayıda örnek hazırlanabilmiştir. Tablo 2.1’de verilen örnek sayıları haricinde her grup için 50 mm çaplı örneklerden ikişer adet daha hazırlanmış ve kesilerek yarım karot örnekler hazırlanmıştır. Tüm örnekleme işlemleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.1: Örnek hazırlama aşamaları (a: Karotiyer kullanılarak bloklardan örnek alımı, b: Karot örnek alımı detay görünümü, c: Blokların genel görünümü, d: Karotların istenilen boyda kesilmesi, e: Yarım karot örneklerin kesilmesi).

Hazırlanan örnekler üzerinde; Kuru ve doymuş birim hacim ağırlıklar (γ_k , γ_d), görünür porozite (n_g), ağırlıkça su emme (A_s), boyuna ultrases dalga hızı (V_p), Leeb yüzey sertliği (HL_D), tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) değerleri tüm hazırlanan örnekler üzerinde belirlenmiştir. 50 mm çaplı birer örnek üzerinde ise Elastisite (Young) modülü (E) ve poisson oranı değerleri (ν) belirlenmiştir. UCS deneyleri öncesinde tezin amacı doğrultusunda geniş disk aşınma (G_{DA}) deneyleri gerçekleştirilmiştir. G_{DA} deneyleri tez kapsamında tasarlanan ek bir örnek tutucu kullanılarak başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla yarım

karotların kesik düz yüzeylerinde de G_{DA} deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Topluluğu tarafından (ISRM) önerilmiş yöntemlerine göre gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri ise ilgili standart TS EN 14157 (2017)'ye bağlı kalınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2: Hazırlanan karot örneklerinin görüntüleri.

2.2. Örnek Gruplarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Blok veya şekilsiz olarak laboratuvara getirilen örnek gruplarının Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında ince kesitleri yaptırılmıştır. İnce kesitler polarizan mikroskop altında mineralojik-petrografik olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda gruplar olarak verilmiştir.

MB Grubu:

Mermer olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3.a). Kalsit mineralleri yoğun olarak izlenmiş ve boyutları ortalama 0.90 mm olarak belirlenmiştir. Dokusal olarak heteroblastik mozaik poligonal doku gözlenmiştir. Kalsit minerallerinde polisentetik ikizlenmeler ayrıca iki yönlü dilinim çizgileri mevcuttur.

FL Grubu:

Bu grup mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3.b). Kayaç içerisinde kılcal boşluklar mevcuttur. Boşlukların ikincil kalsit mineralleri ile dolduğu gözlenmiştir. Alg izleri mevcuttur. Kayaç içerisinde foraminifer parçalarına rastlanmıştır.

DL Grubu:

Petrografik olarak bu grup dolomit olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3.c). Hipidiyotomik yarı şekilli mozaik dokular gözlenmektedir. Dolgulu ve dolgusuz boşluklar mevcuttur. Dolgular ikincil kalsit mineralleridir. Üniform olmayan kristal yapıları mevcuttur.

LB Grubu:

Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3.d). Ana doku mikritik özelliktedir. İkincil kalsit dolguları gözlenmiş ve bu oluşumlar sparitik doku özelliğine sahiptir. Stilolit demir damarları mevcuttur.

TB Grubu:

Bu örnek grubu mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3.e). Genel doku mikritik özellik göstermektedir. İkincil kalsit damarları gözlenmiştir. Bu damarlar sparitik dokuya sahiptir.

TR Grubu:

Traverten olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3.f). Çok belirgin boşluklu yapı travertenin karakteristik özelliğini yansıtmaktadır. Kayaç sparitik dokuya sahiptir. Çok küçük kristaller mevcuttur. Genel olarak kalsit mineralleri hakimdir.

DB Grubu:

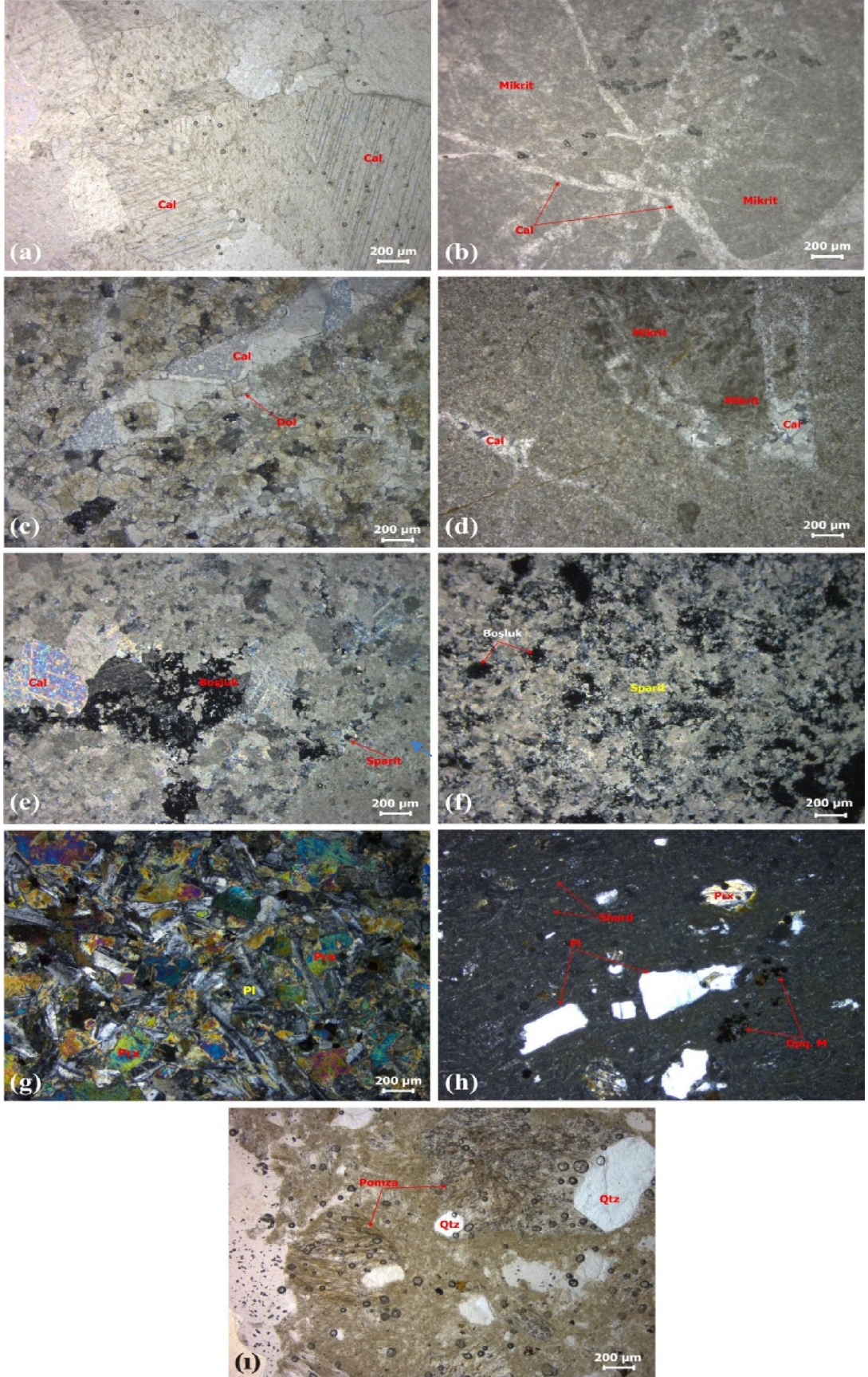
Kayaç petrografik açıdan doleritik diyabaz olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3.g). Kayaç ofitik dokuya sahip olduğu gözlenmiştir. Plajioklas ve piroksen mineralleri ağırlıklı olarak gözlenmiştir. Kuvars oranı % 10'dan azdır.

IG Grubu:

Petrografik tanımlama orta derecede kaynaklaşmış ignimbirit olarak yapılmıştır (Şekil 2.3.h). Kayaç ötakitik dokuya sahiptir. Akma yapıları gözlenmiştir. Yoğunlukla plajioklas ve piroksenler mevcuttur. Kristaller parçalı köşeli kırılmış şekilde gözlenmiştir. İnce volkan camı kıymıkları mevcuttur. Bu kayaç türünde tipik şekilde rastlanan gaz baloncukları görülmüştür. Litik bileşenlere rastlanmıştır. Opak mineraller gözlenmiştir. Genellikle andezit bileşimli bir yapıya sahiptir.

TF Grubu:

Kayaç grubunun petrografik tanımlaması riyolitik ignimbirit olarak yapılmıştır (Şekil 2.3.1). Zayıf-orta derece kaynaklaşma mevcuttur. Bol miktarda pomza parçaları gözlenmiştir. Plajioklas, kuvars, opasitleşmiş biyotitler ve metamorfik kayaç çakılları gözlenmiştir. Sanidin türü alkali feldispatlar belirlenmiştir.



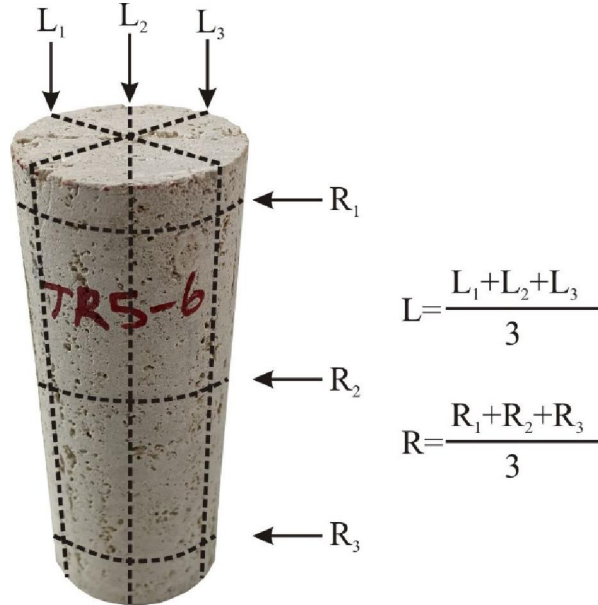
Şekil 2.3: Tez kapsamında araştırılan örnek gruplardan temsili ince kesit görünüşleri (Cal: Kalsit, Opq. M.: Opak mineral, Qtz: Kuvars, Prx: Piroksen, Pl: Plajiyoklas, Dol: Dolomit, Shard: Volkan camı kıymığı).

3. FİZİKSEL VE MEKANİK KAYA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Tez kapsamında çalışılan 9 kaya grubunun temel fiziksel ve mekanik özellikleri; kuru ve doymun birim hacim ağırlıklar (γ_k , γ_d), görünür porozite (n_g), ağırlıkça su emme (A_s), boyuna dalga hızı (V_p), Leeb yüzey sertliği (HL_D), tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS), Elastisite (Young) modülü (E) ve Poisson oranı değerleri (ν) olarak belirlenmiştir.

3.1. Kuru ve Doymun Birim Hacim Ağırlıklar

Kuru ve doymun birim hacim ağırlıklar tüm örnekler için belirlenmiştir. Tüm örnekler 105°C sıcaklıkta 24 saat fırında kurutulmuş ve örneklerin sabit kütleye ulaşması sağlanmıştır. Örneklerin kuru koşuldaki ağırlıkları belirlendikten sonra suya daldırılarak 48 saat bekletilerek doymun ağırlıkları belirlenmiş ardından Arşimet terazisi kullanılarak su içi ağırlıklar belirlenmiştir. Tüm örneklerin 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas yardımıyla çap ve boy ölçüleri üçer noktadan alınmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak örneklerin çap ve boyları belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Karotların ortalama boy ve çaplarının belirlenmesinde izlenen yol.

γ_k ve γ_d değerleri aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Deneyler ISRM (2007)'de önerilen yönteme göre belirlenmiştir.

$$\gamma_k = \frac{A_k}{V} \quad (\text{Eş.1})$$

$$\gamma_d = \frac{A_d}{V} \quad (\text{Eş.2})$$

Burada,

A_k ve A_d : Kuru ve doygun örnek ağırlıkları,

V : hacim değeridir.

rnek grupları için elde edilen ortalama γ_k değerlerinin, 14.91 kN/m³ ignimbirit (TF) rnek grubu ile 27.56 kN/m³ diyabaz (DB) rnek grubu arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler Anon (1979) sınıflamasına göre, ‘‘ok düşük’’ ve ‘‘ok yüksek’’ birim hacim ağırlıklı kaya sınıfındadır. γ_d değerleri için elde edilen değerlerin ise 17.36 kN/m³ ile 27.65 kN/m³ arasında aynı örnek grupları için elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.1’de minimum, maksimum ve ortalama değerler olarak verilmiştir.

Tablo 3.1: Örnek gruplarının kuru ve doymun birim hacim ağırlık değerleri.

Örnek Kodu	Birim hacim ağırlıklar, γ_k (kN/m ³) (Parantez içindeki değerler γ_d içindir)			Anon (1979) Sınıflaması
	Min.	Maks.	Ort.	
TF	14.42 (16.97)	15.10 (17.75)	14.91 (17.36)	Çok düşük
DL	26.77 (27.07)	27.56 (27.65)	27.26 (27.46)	Çok yüksek
LB	27.07 (27.16)	28.05 (28.05)	27.36 (27.46)	Çok yüksek
TR	21.87 (22.55)	22.55 (23.24)	22.16 (22.85)	Orta
FL	24.52 (24.91)	25.10 (25.50)	24.71 (25.10)	Orta
IG	16.18 (18.93)	17.06 (19.42)	16.47 (19.12)	Çok düşük
TB	22.85 (23.63)	25.40 (25.69)	24.32 (24.91)	Orta
MB	25.50 (25.59)	26.09 (26.09)	25.79 (25.79)	Yüksek
DB	27.26 (27.26)	27.85 (27.85)	27.56 (27.65)	Çok yüksek

3.2. Ağırlıkça Su Emme Oranları

Ağırlıkça su emme kapasitesi, örnek ağırlıklarına bağlı olarak kayacın boşluklarına alabileceği su miktarının ölçüsü olup yüzde olarak belirtilmektedir. Ağırlıkça su emme değerleri (A_s) örnekler için yukarıda belirtilen değerler kullanılarak aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$A_s = \left(\frac{A_d - A_k}{A_k} \right) \times 100 \quad (\text{Eş.3})$$

Ortalama ağırlıkça su emme değerleri, % 0.11 ile % 16.50 arasında sırasıyla diyabaz (DB) ve ignimbirit (TF) grubu örnekler için elde edilmiştir. Bu aralığı temsil eden ortalama değer ise % 2.26 olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.2: Örnek gruplarının su emme değerleri.

Örnek Kodu	Ağırlıkça Su Emme (A_w , %)			
	Min.	Maks.	Ort.	Std. S.
TF	13.70	18.55	16.50	1.54
DL	0.50	1.22	0.78	0.19
LB	0.17	0.53	0.29	0.09
TR	2.50	3.36	2.91	0.22
FL	0.96	2.26	1.67	0.30
IG	13.43	17.91	15.77	1.48
TB	1.32	3.80	2.55	0.83
MB	0.13	0.54	0.23	0.10
DB	0.05	0.18	0.11	0.04

3.3. Görünür Gözeneklilik Değerleri

Görünür gözeneklilik (n_g) kaya malzemeler için önemli bir parametre olup kayacın mekanik ve deformabilite özellikleri üzerinde etkilidir. Tüm örneklerin n_g değerleri, belirlenen ağırlıklar kullanılarak hesaplanmıştır (Eş.4). Görünür gözeneklilik tanımı gereği hacimce su emmeye eşittir. Bu nedenle tez içinde hacimce su emme değerlerine ayrıca değinilmemiştir.

$$n_g = \left(\frac{A_d - A_k}{V} \right) \times 100 \quad (\text{Eş.4})$$

n_g değerleri grup ortalamaları olarak, % 0.31 ile % 26.52 arasında değişmekte ve diyabaz (DB) ve ignimbirit (IG) örnek grupları için elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla “Çok düşük” ve “Yüksek” gözenekli kaya sınıfına girmektedir (Anon, 1979). Ortalama olarak ise % 8.05 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: Örnek gruplarının görünür gözeneklilik değerleri.

Örnek Kodu	Görünür gözeneklilik (n_g , %)				Anon (1979) Sınıflaması
	Min.	Maks.	Ort.	Std. S.	
TF	21.06	27.96	25.00	2.13	Yüksek
DL	1.42	3.37	2.18	0.51	Düşük
LB	0.48	1.47	0.81	0.24	Çok düşük
TR	5.69	7.52	6.57	0.47	Orta
FL	2.45	5.63	4.20	0.72	Düşük
IG	23.34	29.60	26.52	2.13	Yüksek
TB	3.42	8.98	6.24	1.84	Orta
MB	0.34	1.39	0.62	0.27	Çok düşük
DB	0.14	0.50	0.31	0.13	Çok düşük

3.4. Leeb Sertlik Değerleri

Leeb sertliği metal malzemelerin yzey sertliğinin belirlenmesi amacıyla 1970'li yıllarda geliştirilmiş bir deney yntemidir (Leeb 1979). Her ne kadar metal malzemeler için geliştirilmiş olsa da kaya malzemeler üzerinde kullanımı yaygınlaşmaya devam etmektedir. Dinamik sertlik olümü esasına dayalı olan yntemde, olüm alınırken malzeme yzeyine çarpıp geri sıçrayan ucun çarpma ve sıçrama hızlarının oranının 1000 katı Leeb sertliği değeri olarak verilmektedir.

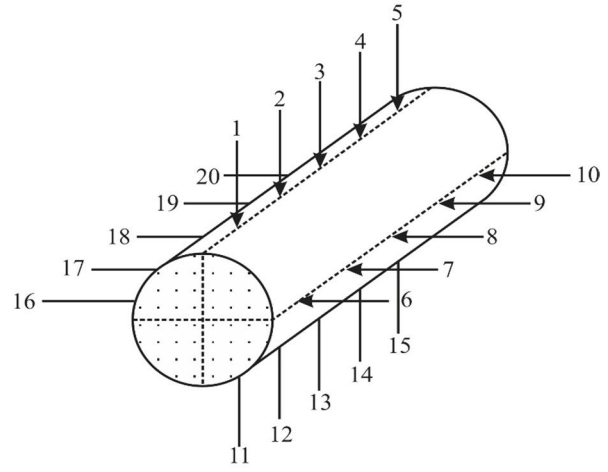
Leeb sertliğinin kaya malzemeler üzerinde kullanımına ynelik çalışmaların 1990'lı yıllarda başladığı gürlmektedir. Bu çalışmaların çok b¼y¼k bir b¼l¼m¼ tek eksenli sıkışma dayanımının tahmini üzerine olduğu gürlmektedir. Bunun haricinde çeşitli kaya malzeme ozellikleri ile korelasyonların yapıldığı alışmalar, Leeb sertliği ile farklı sertlik olüm yntemlerinin karşılaştırılmalarına ynelik çalışmalar gürlmektedir (Verwaal ve Mulder 1993; Meulenkamp ve Alvarez Grima 1999; Kawasaki ve diğ. 2002; Aoki ve Matsukura 2008; Daniels ve diğ. 2012; G¼neř Yılmaz 2013; Lee ve diğ. 2014; Su ve Momayez 2017; G¼neř Yılmaz ve G¼ktan 2019; Corkum ve diğ. 2018; Desernaud ve diğ. 2019; elik ve obanoğlu 2019; Aldeeky ve diğ. 2020; Gomez-Heras ve diğ. 2020; Benavente ve diğ. 2021). Bazı çalışmalarda, equotip sertliği olarak da adlandırılan Leeb sertliğinin kayaların ozellikle UCS değerlerinin tahmininde oldukça başarı ile kullanıldığı gürlmektedir. Tez alışması kapsamında örneklerin Leeb sertliği olümleri alınarak sertlik değerleri ortaya konmuştur. Elde edilen sertlik değerleri çalışılan malzeme ozellikleriyle karşılaştırılmıştır.

Leeb sertlik değerleri, TIME® 5100 cep tipi portatif sertlik cihazı kullanılarak ol¼lm¼řt¼r. Kullanılan cihazda, "D" tipi genel kullanım için önerilen ve 11 Nmm arpma enerjisi uygulayan u bulunmaktadır. Uygulanan arpma enerjisi çok yaygın kullanıma sahip L tipi Schmidt sertlik ekicine oranla çok daha d¼ř¼kt¼r. Bu anlamda ozellikle zayıf ve yumuşak kayalar üzerinde başarı ile uygulanabilmektedir. Çalışma kapsamında farklı çaplı örnekler üzerinde Leeb sertliği olümleri alınmıştır. Leeb sertliği örnek şekli ve çapı üzerine yapılmış çalışmalar bulunmakla birlikte bu çalışmalar kısıtlı kaya t¼rleri üzerinedir. Ayrıca kaya malzemeler üzerinde Leeb

sertliğinin ölçümü için önerilmiş bir yöntem henüz bulunmamaktadır. Çalışmalarda genellikle 20 ölçüm ortalamasının HL_D değeri olarak alındığı görülmektedir. Şekil 3.2’de Leeb sertliği ölçüm detayı verilmiştir. Karot örneğin uzun eksenini boyunca yaklaşık eşit mesafelerde beş ölçüm alındıktan sonra örnek 90° , 180° ve 270° çevrilerek aynı işlem tekrarlanmıştır. Toplamda 20 ölçüm alınmış bu ölçümlerin ortalaması örneğin HL_D değeri olarak belirlenmiştir. Tüm ölçümler cihaz düşey konumda tutularak alınmıştır.



(a)



(b)

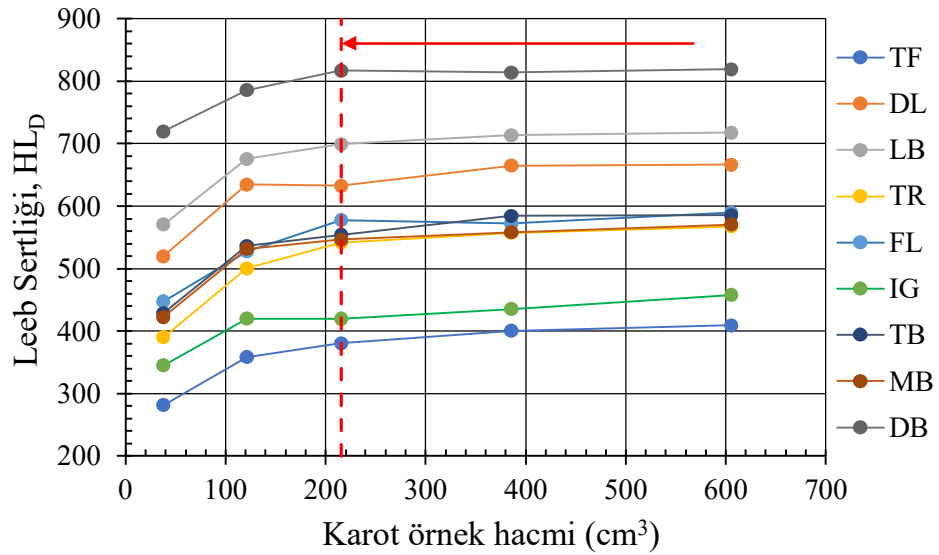
Şekil 3.2: Leeb sertliği ölçüm işlemi (a) ve ölçüm alınan noktalar (b).

Her bir örnek için alınan ölçümün minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 3.4’de verilmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde ortalama en düşük sertlik değerinin ignimbirit (TF) grubu için 372.68 olarak, en yüksek sertlik değerinin ise diyabaz (DB) grubu örnekler üzerinde ve ortalama 779.66 olarak belirlenmiştir. Sertlik değerlerinin gruplar bazındaki değişimi incelendiğinde TF ve IG grubu örneklerin benzer litolojide olmasına rağmen sertlik değerleri arasında farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu farklılığın TF ve IG grubu ignimbirit örnekleri için farklı kaynaklaşma derecesi, içerdiği mineraller ve litik kayaç parçalarının varlığı ile ilgili olduğu söylenebilir.

Tablo 3.4: Örnek gruplarının Leeb sertliği değerleri.

Örnek Kodu	Leeb Sertlik Değerleri			
	Min.	Maks.	Ort.	Std. S.
TF	272.95	416.70	372.68	40.46
DL	502.75	678.05	623.41	55.03
LB	546.75	727.00	675.23	55.26
TR	365.20	579.95	511.35	66.26
FL	419.70	609.95	542.75	53.63
IG	337.25	462.20	415.71	38.66
TB	394.35	611.05	537.63	65.22
MB	410.55	581.90	525.78	54.56
DB	704.45	818.85	779.66	41.52

Tez çalışmasının ana amacı olmamakla birlikte HL_D ölçüm sonuçlarının karot örnek hacmine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Şekil 3.3’de örnek hacmi ile HL_D değerlerinin değişimi sunulmuştur. Genel olarak hacim artışı ile sertlik değerlerinin arttığı ancak hacmi 215 cm^3 üzerinde olan örneklerde elde edilen sertlik değerlerinin daha az değişim gösterdiği görülmüştür. Çalışılan litolojiler için geçerli olmak üzere HL_D değerlerinin sağlıklı olarak ölçülebildiği karot örnek hacminin 215 cm^3 değerinin üzerinde olması gerektiği ortaya konmuştur. Bu hacim değeri hazırlanan karot örneklerde 50 mm çapa karşılık gelmektedir.



Şekil 3.3: Leeb sertliği değerlerinin örnek hacmiyle değişimi.

3.5. Boyuna Dalga Geçiş Hızları

Kaya malzemelerin karakterizasyonunda tahribatsız ve en yaygın olarak uygulanan yöntemlerden birisi de boyuna dalga geçiş hızlarıdır (V_p). Pratik ve ekonomik bir yöntem olması yaygınlaşmasındaki en önemli etkidir. Hazırlanan örneklerin tümünün Pundit Lab + cihazı kullanılarak geçiş zamanları ölçülmüştür. Örnek boyları ölçülen dalga geçiş zamanlarına bölünerek boyuna dalga hızları elde edilmiştir (Eş.5). Ölçümlerde 54 kHz frekans değerine sahip alıcı ve verici algılayıcılar kullanılmıştır (şekil 3.4).

$$V_p = \frac{L}{t} \quad (\text{Eş.5})$$

Burada,

L: Örnek uzunluğu (mm),

t: dalga geçiş zamanı (μs)

V_p : Boyuna dalga geçiş hızı (km/s) olarak verilmiştir.



şekil 3.4: Boyuna dalga geçiş zamanı ölçümü.

V_p hızları en düşük 2.34 km/s ile ignimbirit (IG) örnek grubu, en yüksek ise 6.76 km/s değeri ile diyabaz (DB) örnek grubu için elde edilmiştir.

Tablo 3.5: Örnek grupları için belirlenmiş Vp değerleri.

Örnek Kodu	Vp (km/s)				Anon (1979) Sınıflaması
	Min.	Maks.	Ort.	Std. S.	
TF	2.23	2.76	2.53	0.19	Düşük
DL	2.86	3.90	3.33	0.33	Düşük
LB	5.46	6.78	6.37	0.36	Çok yüksek
TR	5.16	5.33	5.24	0.04	Çok yüksek
FL	4.81	5.99	5.48	0.26	Çok yüksek
IG	2.18	2.51	2.34	0.14	Çok düşük
TB	4.77	5.85	5.28	0.34	Çok yüksek
MB	3.78	4.39	4.18	0.18	Orta
DB	6.47	6.86	6.76	0.12	Çok yüksek

3.6. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımları

Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) mühendislik projelerinde kullanılan en temel ve yaygın parametrelerden birisidir. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi boy/çap oranı 2.5 ve yaklaşık 27, 40, 48, 58 ve 68 mm çaplarında hazırlanmış karot örnekleri üzerinde UCS deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde 2000 kN yükleme kapasiteli tek eksenli sıkışma yükleme cihazı kullanılmıştır. Hazırlanmış olan kayaç örneklerinin alt ve üst yüzeylerinin birbirine paralel, yan yüzeylerinin pürüzsüz ve deforme olmamış örnekler olmasına özen gösterilmiştir. Deney örneklerinde doğal ve yapay kırık, çatlak, bozuşma olmamasına özen gösterilerek sağlam numuneler üzerinde deneyin gerçekleştirilmesine özen gösterilmiştir.

Yüklemeye maruz bırakılan örneklerin kırıldığı andaki yenilme yükü kaydedilmiş ve Eş.6'da verilen formül ile UCS değerleri hesaplanmıştır. Yenilme yükünün, karot örneğin kesit alanına oranı ile tek eksenli sıkışma dayanımı değeri hesaplanmış olmaktadır. Deneyler, ISRM (2007) tarafından önerilmiş yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir.

$$UCS = \frac{F_y}{A} \quad (\text{Eş.6})$$

Burada,

F_y : Yenilme yükü (kN),

A: Örnek kesit alanı (mm²)

UCS: Tek eksenli sıkışma dayanımıdır. Genellikle MPa birimi ile verilir.

Elde edilen UCS ortalama değerlerinin örnek grupları için 19.96 MPa ile 166.31 MPa arasında değişkenlik gösterdiği ve bu değerler sırasıyla ignimbirit (TF) ve diyabaz (DB) örnek grupları için elde edilmiştir. Bu değerler dayanım sınıfı olarak “Zayıf kaya” ve “Çok sağlam kaya” sınıfındadır (ISRM, 2007).

Tablo 3.6: Örnek gruplarının UCS değer aralıkları.

Örnek Kodu	UCS (MPa)				ISRM (2007) Sınıflaması
	Min.	Maks.	Ort.	Std. S.	
TF	9.07	24.79	19.96	3.03	Zayıf
DL	21.93	81.28	48.79	16.96	Orta
LB	52.47	132.90	73.76	18.19	Sağlam
TR	25.33	57.05	40.85	8.20	Orta
FL	25.59	69.58	43.60	12.00	Orta
IG	14.75	23.77	20.23	2.95	Orta
TB	20.37	71.38	44.61	15.59	Orta
MB	19.19	50.92	37.33	8.74	Orta
DB	84.06	322.59	188.63	77.38	Çok sağlam

3.7. Elastisite Modülü ve Poisson Oranları

Tez çalışması kapsamında UCS deneyleri gerçekleştirilirken, örnek gruplarının Elastisite modülü (ayrıca aksenal deformasyon modülü ve Young modülü olarak da adlandırılmaktadır) ve Poisson oranlarının belirlenmesi amacıyla, 50 mm çaplı örnekler üzerinde boyuna ve enine deformasyon verileri ölçülmüştür. Bu veriler örneğe çerçeveler yardımıyla tutturulan, enine ve boyuna deformasyon ölçerler (LVDT-Doğrusal Değişken Diferansiyel Transformatör) kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) değerleri aşağıda verilen Eş. 7 ve 8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_b} \quad (\text{Eş.7})$$

$$\nu = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b} \quad (\text{Eş.8})$$

$$\varepsilon_e = \frac{R_0 - R_1}{R_0} \quad (\text{Eş.9})$$

$$\varepsilon_b = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \quad (\text{Eş.10})$$

Bu denklemlerde,

E: Elastisite modülü, GPa birimi ile hesaplanmıştır,

σ : Tek aksenli sıkışma dayanımı (MPa),

ν : Poisson oranı,

ε_e : Enine birim deformasyon,

ε_b : Boyuna birim deformasyon,

R_0 : Deney öncesi örnek çapı (mm),

R_1 : Deney sonrası örnek çapı (mm),

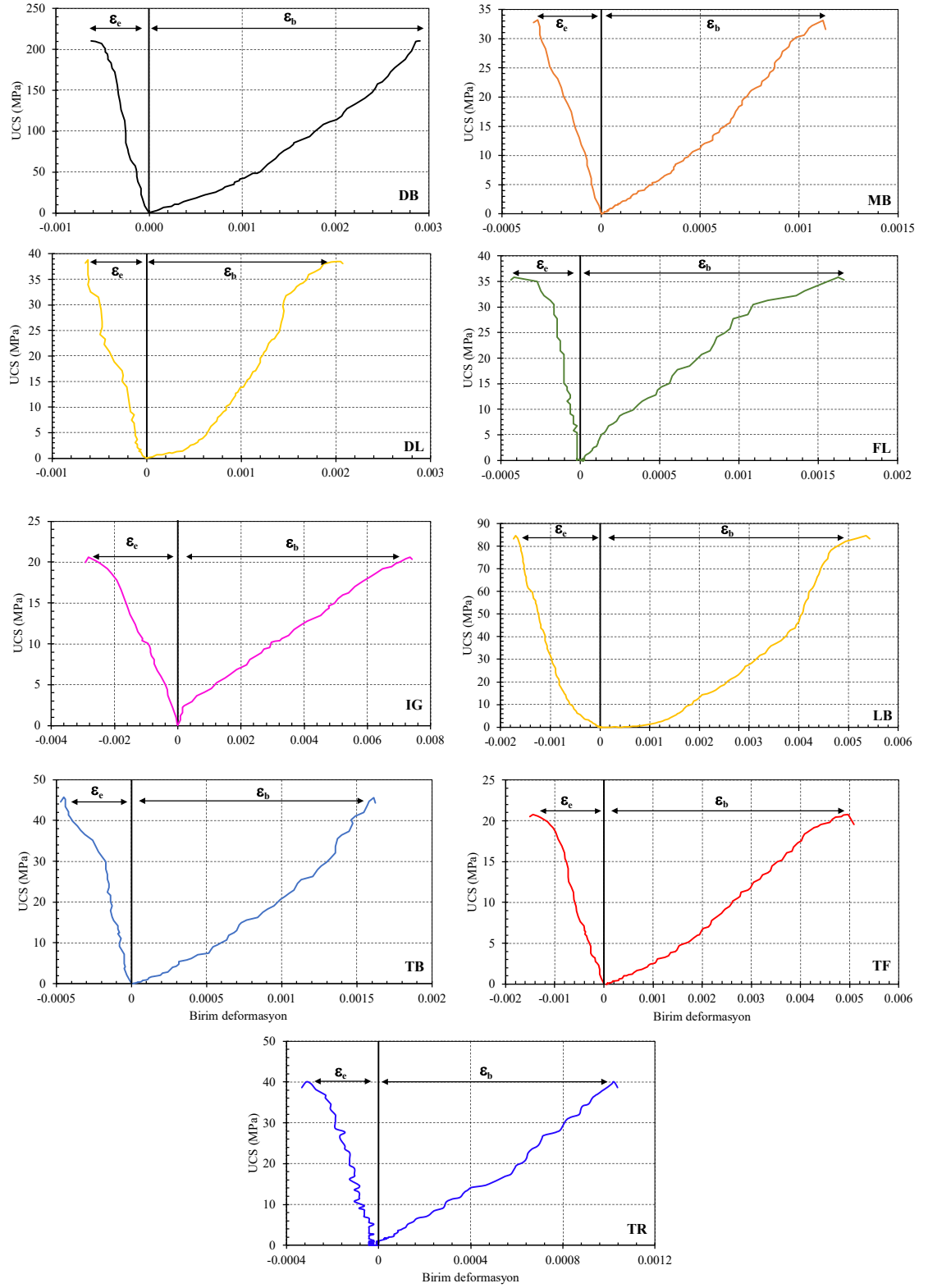
L_0 : Deney öncesi örnek boyu (mm),

L_1 : Deney sonrası örnek boyu (mm),

Young modülü ve poisson oranları örnek grupları için ortalama değerler olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, gerilme ve deformasyon eğrilerinin hemen hemen döz kesiminin eğimi olarak belirlenmektedir (ISRM 2007). Tez alışması kapsamında gerilme ve enine ve boyuna deformasyon verilerinden hesaplanan sonuçlar Tablo 3.7’de sunulmuştur. Ayrıca ölçölen enine ve boyuna birim deformasyonların UCS değerleri ile değişimi şekil 3.5’de grafik olarak verilmiştir.

Tablo 3.7: Örnek grupları için elde edilen UCS, E ve ν değerleri.

Örnek grup kodu	UCS (MPa)	E (GPa)	ν
DB	210.5	113.97	0.14
MB	32.24	25.21	0.26
DL	38.46	15.95	0.29
FL	35.87	27.47	0.16
IG	20.58	3.18	0.32
LB	84.65	11.27	0.30
TB	45.56	42.66	0.14
TF	20.79	7.9	0.23
TR	40.07	32.85	0.20



Şekil 3.5: Örnek grupları için elde edilmiş gerilme, enine ve boyuna deformasyon verilerinin grafiksel gösterimi.

4. GENİŞ DİSK AŞINMA DENEYİ

G_{DA} deneyi inşaat ve yapı sektöründe doğaltaş olarak kullanılan kaya malzemelerin yoğun yaya, araç trafiği gibi nedenler etkisiyle aşınmaya karşı direncinin pratik olarak ölçülmesi amacıyla 2000’li yıllarda önerilmiş bir deney yöntemidir. Önerildiği yıllardan günümüze değin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Daha eski yıllardan beri kullanılan Böhme aşınma deneyine göre daha pratik olması yaygınlaşmasındaki en önemli etkindir (Çobanoğlu ve Çelik 2017). Literatürde, G_{DA} deneyi üzerine yapılan çalışmaların aşınma ve farklı indeks özellikleri arasında korelasyon ve deney koşullarının incelendiği görülmektedir.

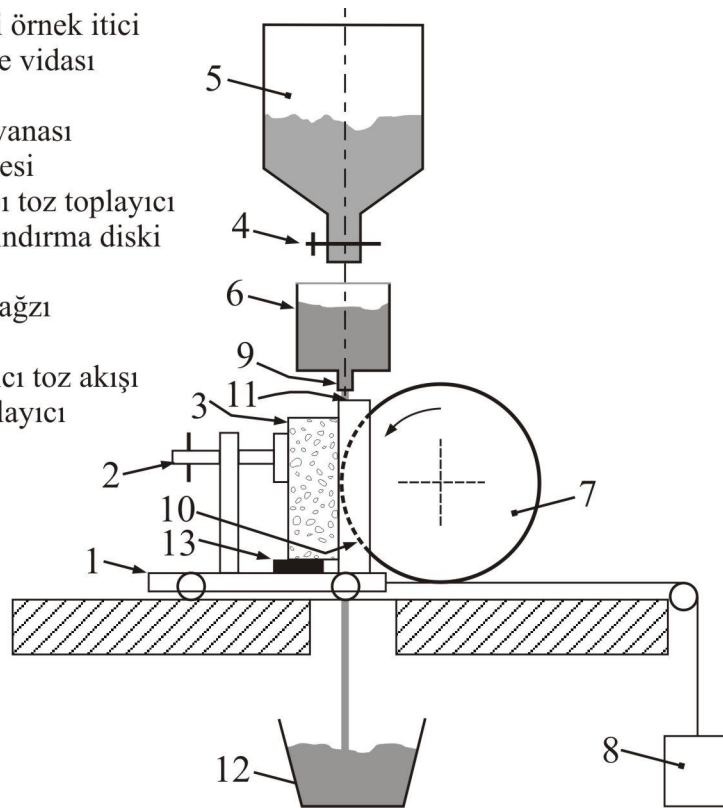
4.1. Geniş Disk Aşınma Deneyinin Tanıtımı

G_{DA} deneyi, Avrupa Standardizasyon Komitesi tarafından onaylanarak yürürlüğe girmiş ve ülkemizde de “Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Aşınma direncinin tayini” başlığıyla yürürlükte olan TS EN 14157 (2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. İlgili standart içeriğinde doğal taşlar için önerilen G_{DA} ve Böhme deney yöntemleri bulunmaktadır. G_{DA} deneyi, 60 (± 3) saniyede 75 devir yapan 200 mm çaplı ve 70 mm genişlikli aşındırıcı bir diskin prizmatik kaya örneği üzerinde açtığı oluğun genişliğinin ölçüsü olarak verilmektedir. Deney süresince örnek ve aşındırıcı disk arasında standartta önerilen aşındırıcı toz (alüminyum oksit) akışının sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir.

G_{DA} cihazının şematik görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir. Deney süresince örneğin üzerinde bulunduğu kızaklı tutucu mekanizma, askıdaki 14 (± 0.01) kg’lık ağırlığa sahip bir yük etkisiyle örneği aşındırıcı diske itmektedir. Aşındırıcı diskin 75 devir sonunda örnek üzerinde meydana getirdiği oluğun sınırları cetvel kullanılarak en az iki kat büyütme büyüteç altında 0.5 mm kalınlığa sahip kurşun kalemle çizilmelidir. Elde edilen paralel çizgiler arasındaki yatay uzaklık G_{DA} değeri (mm) olarak tanımlanmaktadır. Bu değer, dijital kumpas (en az 0.05 mm hassasiyetli) kullanılarak, ortada ve kenarlara 10 (± 1) mm mesafede alınan yatay mesafe ölçümlerinin ortalamasının en yakın 0.1 mm’ye yuvarlanması yoluyla belirlenmektedir (TS EN 14157 2017).

G_{DA} deney cihazının kalibrasyonunun her 400 deney sonunda ve belirtilen bazı durumlarda yapılması gerektiği ve bu işlemin referans kaya olarak önerilen Bolonez mermeri üzerinde yapılması ve ölçülecek 20.0 (± 0.5) mm'lik aşınma değerinin referans olarak kabul edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Standartta Bolonez mermeri yerine, Bolonez mermeri ile alınan ölçümlerle arasında en az 0.8 belirleme katsayısı veren alternatif bir kaya malzemesinin de kullanılabileceği belirtilmiştir. Marini vd. (2011), G_{DA} cihazının kalibrasyonunda Bolonez mermeri yerine Canaloni mermerinin kullanılabilirliğini önermiştir. Çelik (2018) ise Denizli travertenini üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada %2 görünür gözenekliliğe sahip Denizli klasik traverteninin G_{DA} cihaz kalibrasyonunda kullanılabileceğini önermiştir. Bolonez mermeri üzerinde ölçülen değer 20.0 mm'den daha düşük olduğu durumlarda, bu değer 20.0 mm ile farkının ölçümlere eklenmesi yoluyla, deney sonuçlarının düzeltilmesi gerektiği ilgili standartta belirtilmiştir.

1. Hareketli örnek itici
2. Sabitleme vidası
3. Örnek
4. Kontrol vanası
5. Toz haznesi
6. Aşındırıcı toz toplayıcı
7. Geniş aşındırma diski
8. Ağırlık
9. Toz akış ağzı
10. Oluk
11. Aşındırıcı toz akışı
12. Toz toplayıcı
13. Kama

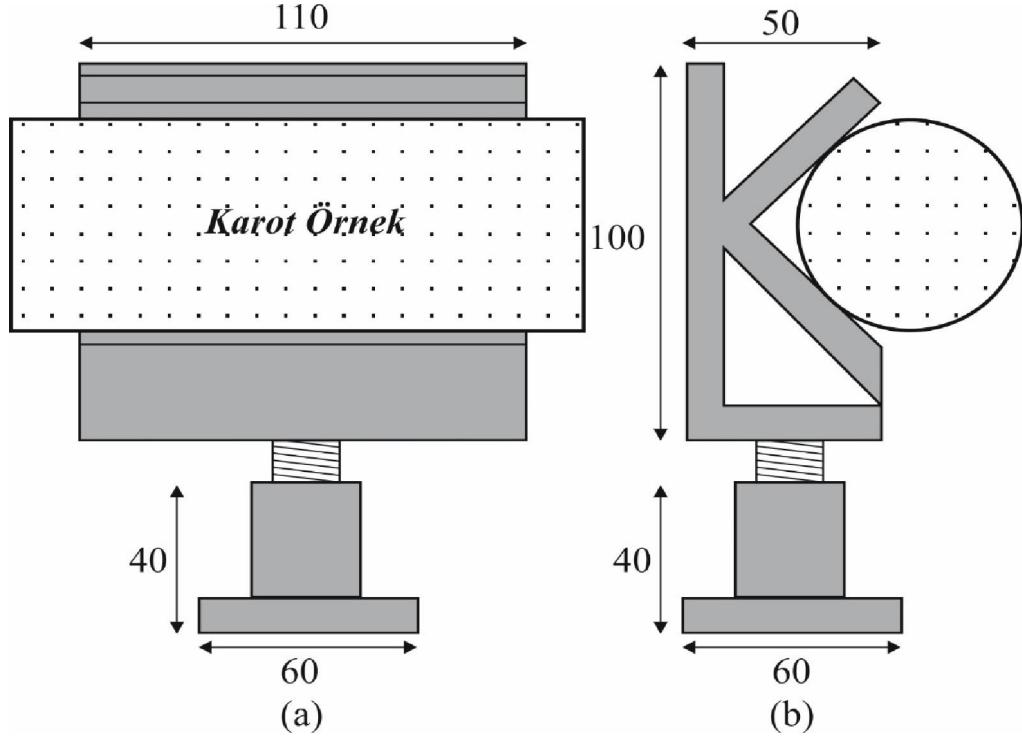


Şekil 4.1: GDA cihazının şematik görünümü (TS EN 14157 2017).

4.2. Geniş Disk Aşınma Deneyinin Karot Örneklerle Uygulanması

Tezin amacı doğrultusunda farklı çaplardaki silindirik kaya karot örnekleri üzerinde aşınma deneyinin yapılabilirliği değerlendirilmiş ve cihazın buna uygun olmadığı görülmüştür. Ancak bir karot örnek tutucunun deney süresince kullanılması yoluyla deneylerin gerçekleştirilebileceği öngörülmüştür. Prizmatik örnek yerleştirilen kısma konabilecek yüksekliği ayarlanabilen ve detayları Şekil 4.2’de verilen bir tutucu aparat tasarlanarak yaptırılmıştır. Yüksekliğin ayarlanabilir olması sayesinde karot merkezi ile aşındırıcı diskin merkezinin aynı hizada olması sağlanabilmektedir.

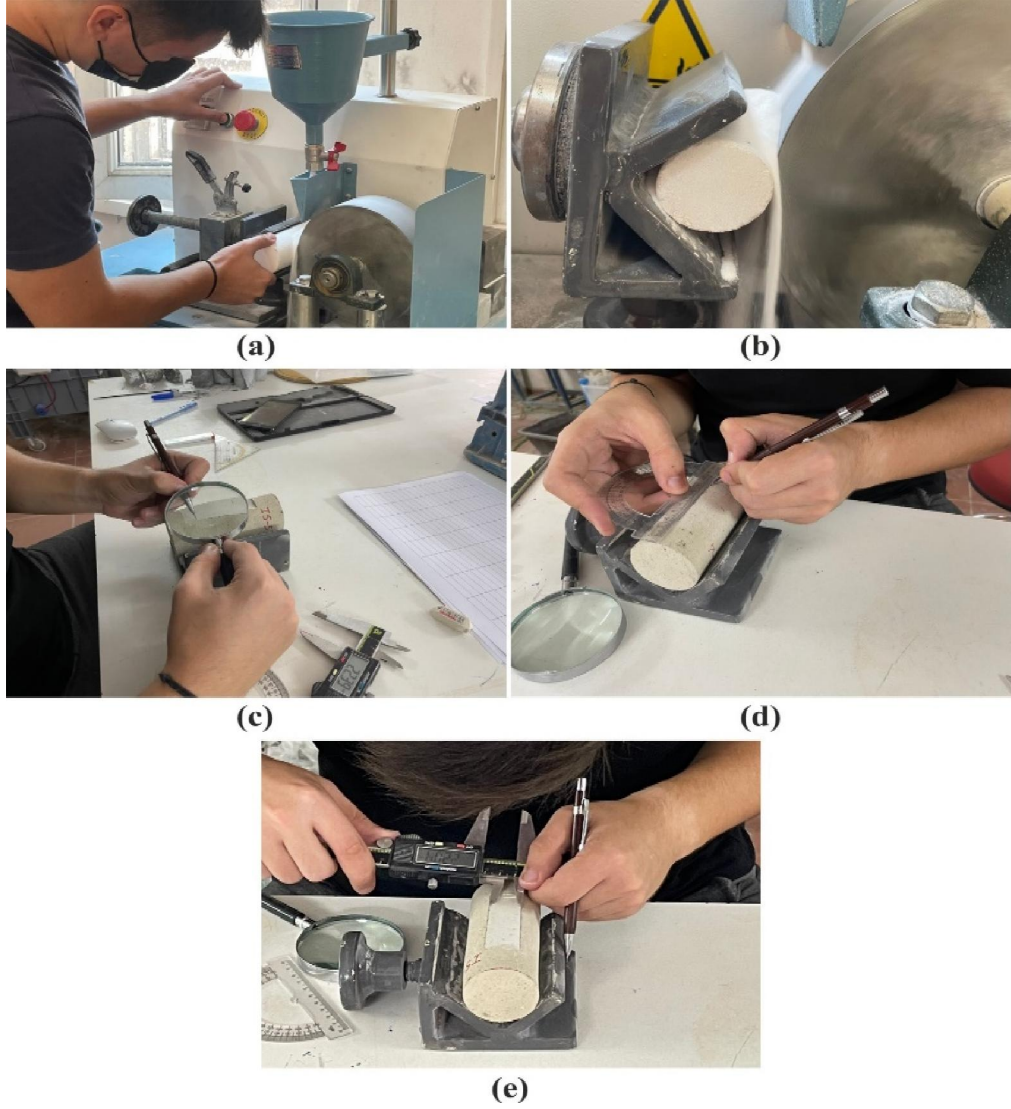
Deneylere başlamadan önce Bolonez mermeri kullanılarak cihaz kalibre edilmiştir. Mermer üzerinde açılan oluk 20.03 mm olarak belirlenmiş ve cihaz ile gerçekleştirilecek deney sonuçlarının düzeltilmeye gerek olmadığı görülmüştür. 9 kaya grubundan beş farklı çapta alınan 3’er karot örneği üzerinde aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ancak 30 mm çaplı örnekler üzerinde deneylerin sağlıklı olarak gerçekleştirilemediği birkaç deneme sonunda görülmüştür. Özellikle deney başlangıcında örneklerde dönme ve yerinden oynama gibi durumlar gözlenmiştir. Bu nedenle yaklaşık 27 mm çaplı örnekler üzerinde aşınma deneyleri gerçekleştirilmemiştir. Tez kapsamında yaklaşık 40, 48, 58 ve 68 mm çaplardaki karot örneklerinin sağlıklı bir şekilde deneylere tabi tutulabildiği görülmüştür.



Şekil 4.2: Karot tutucunun şematik (a, b) görünümü (Ölçüler mm cinsindedir).

Deneylere başlamadan önce karot tutucu G_{DA} cihazına yerleştirilmiş, boşluklar alınarak su terazisi ile yataylanmış ve örneğin aşındırıcı diske teması kontrollü olarak sağlanmıştır. Örnek yüzeyinin aşındırıcı diske tam teması sağlandıktan sonra aşındırıcı toz musluğu açılarak sürekli ve aşınacak yüzeyin toz ile sürekli beslenmesi sağlanmıştır. Cihaz çalıştırılarak deneye başlanmış ve 75 devir süresince aşındırıcı disk ile örnek yüzeyinin temas ettiği ve toz akışının sağlandığı kontrol edilmiştir. Deneyler sonunda örnekler üzerinde gerekli ölçümler alınarak her örnek için I_A değeri belirlenmiştir.

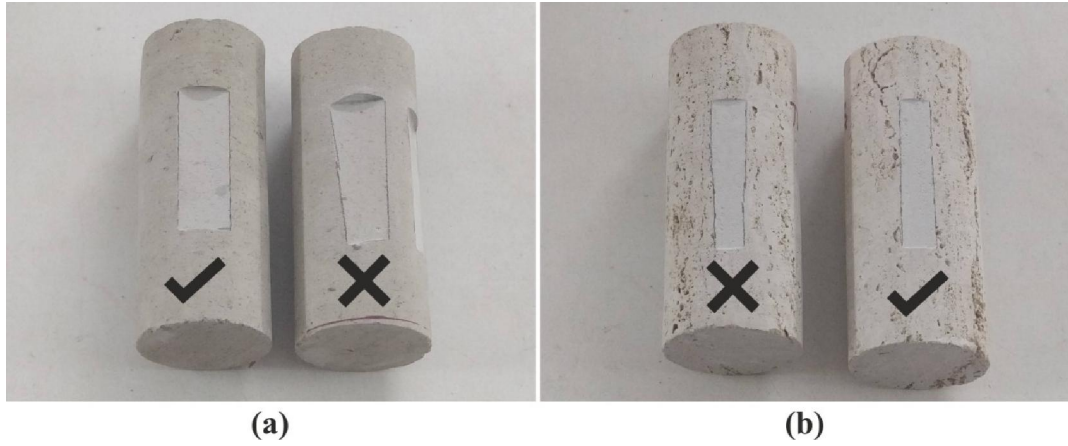
Karot aşınma deneyi sonucunda tüm ölçüm ve değerlendirmeler ilgili standarttaki prosedüre göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3'de deney ve aşınan oluğun ölçülerek karot aşınma değerinin belirlenmesine yönelik adımlara ait görünümler verilmiştir.



Şekil 4.3: Karot aşınma deneyinin gerçekleştirilmesi ve aşınma miktarının belirlenmesi (a: Örneğin cihaza yerleştirilmesi, b: Deneyin başlatılması, c: Aşınan kısmın sınırlarının belirlenmesi, d: Aşınan kısmın sınırlarının çizilmesi, e: Aşınma miktarının üç noktada ölçülmesi).

Oluşan oluğun genişliği sert kaya malzemelerde, yumuşak olanlara göre daha ince olduğu belirlenmiştir. Ayrıca beklenildiği gibi örnek çapı artışıyla oluşan oluğun genişliğinin arttığı da gözlenmiştir. Karot aşınma deneylerinde, örnek hazırlama hassasiyetinin aşınma sonuçlarına etkisi net olarak fark edilmiş, özellikle karot alımı sırasında örnek yüzeyinde oluşacak dalgalanmaların, aşınan kısmın sınırlarının doğrusal olmamasına ve buna bağlı olarak hatalı sonuçların elde edilmesine neden olabileceği görülmüştür.

Gerek deney sırasında muntazam yerleştirilmeyen örnekler üzerinde alınan ölçümler ve gerekse de örnek yüzeyinin dalgalı olması gibi nedenlerle sağlıklı ölçümler alınabilmektedir. Bu tip durumlarla karşılaşıldığında örneğin çevrilerek deneyin tekrarlanması mümkün olduğu görülmüştür. Şekil 4.4’de aşınma deneyine tabi tutulmuş, uygun ve uygun olmayan aşınma şekilleri örnek olarak sunulmuştur.

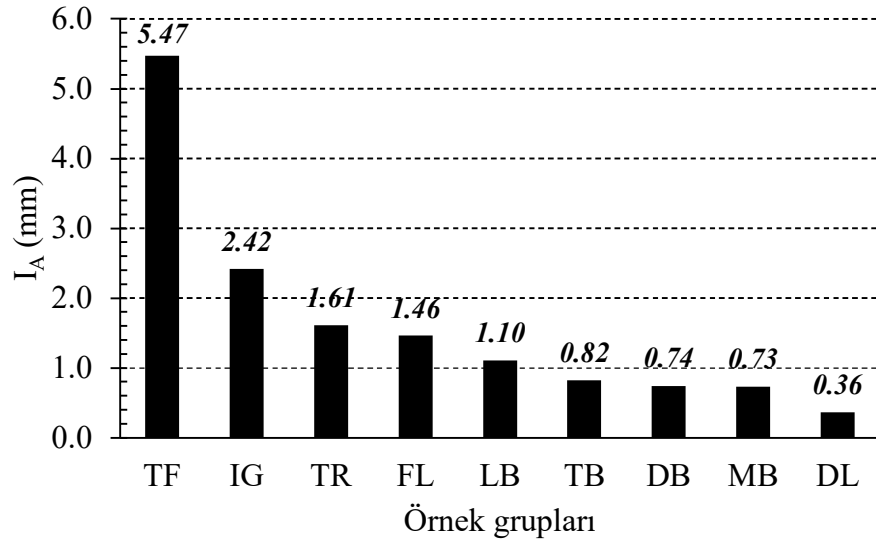


Şekil 4.4: Karot aşınma deneyi sonrası uygun ve uygun olmayan deney sonuçlarının görünümü, ignimbirit (a), traverten (b).

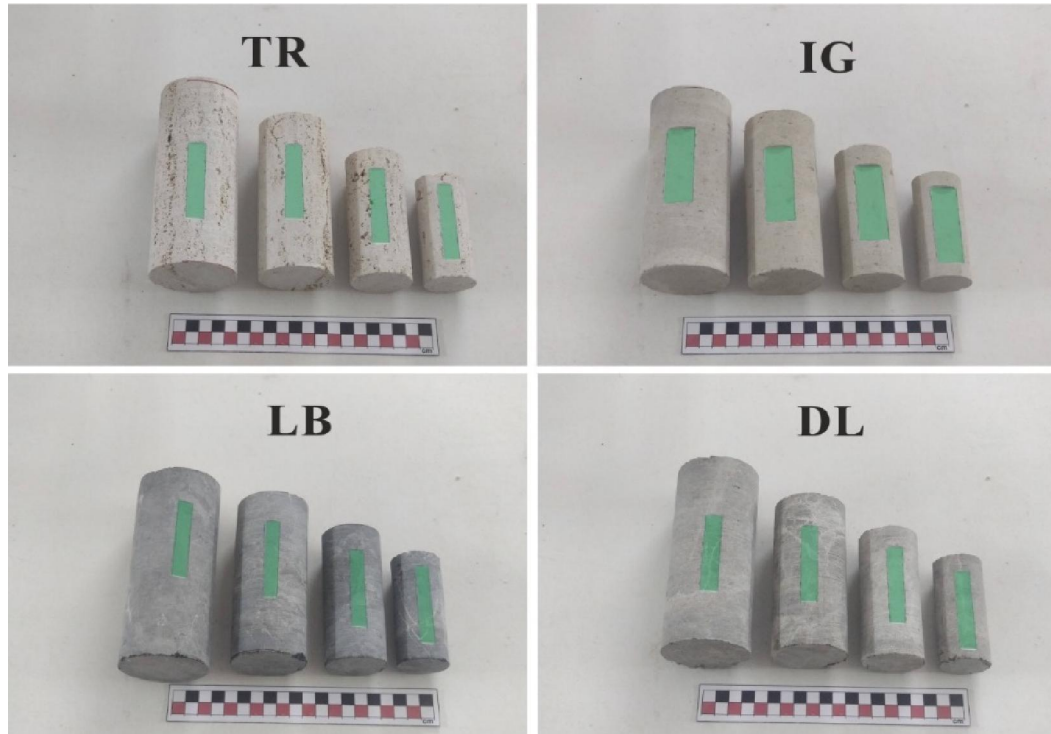
4.3. Karot Örneklerde Farklı Çaplar İçin Elde Edilen Aşınma Değerleri

Farklı çaplı örnekler üzerinde yapılan karot aşınma deneylerinde farklı değerlerin elde edileceği açıktır. Bu durum ortaya konan karot aşınma değerinin (I_A) değerlendirilmesini ve çeşitli mühendislik amaçları doğrultusunda kullanımını kısıtlayacaktır. Tez kapsamında 50 mm çaplı örnekler üzerinde karot aşınma değerinin belirlenmesi önerilmektedir. Bu değer (I_{A-50}), referans kabul edilerek karot aşınma indeksi olarak tanımlanmıştır. Her örnek grubunda her çap için elde edilen üç I_A değerinin ortalaması alınarak değerlendirmelerde kullanılmıştır. Örnek grupları için elde edilen aşınma değerleri ortalamalar olarak Tablo 4.5’de verilmiştir.

Yumuşak kaya örnek gruplarındaki artış, sert kaya örnek gruplarına göre kolay aşınabilir oldukları için daha yüksek olarak gözlenmiştir. Örnek grupları üzerinde farklı çaplardaki örnekler üzerinde gerçekleştirilen aşınma değerlerinin farkı Şekil 4.5’de verilmiştir. En büyük farkın TF (ignimbirit) grubu için 5.47 mm, en küçük fark ise DL (dolomit) grubu için 0.36 mm olduğu belirlenmiştir. Diğer örnek gruplarının ise bu değerler arasında değişim gösterdiği görülmüştür. Örnek gruplarının deney sonrası görünümleri Şekil 4.6’de verilmiştir.



Şekil 4.5: Örnek grupları için 70 ile 40 mm çaplı karotlar üzerinde elde edilen ortalama IA değerinin farkı.



Şekil 4.6: TR, IG, LB ve DL örnek grupları için IA deney sonrası görünümler.

Değişimlerin doğrusal olduğu ve artan örnek çapı ile arttığı görülmüş, farklı litolojiler için bu artış miktarlarının farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi bu durumun belirsizlik yaratacağı öngörülmüş ve bu belirsizliğin aşılması amacıyla 50 mm çaplı örnekler üzerinde geniş disk aşınma deneyinin gerçekleştirilmesi ve bu çapın referans olarak alınması (I_{A-50}) tez kapsamında önerilmiştir.

Hazırlanan örnek çapları arasında 50 mm'ye en yakın çapın yaklaşık 48 mm olması nedeniyle çap- I_A değerlerinin dağılımlarını temsil eden eğilim doğrusundan tam olarak I_{A-50} değerinin düzeltilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla her örnek grubun için düzeltme katsayıları (F) önerilmiştir. Ölçülen I_A değeri ile F katsayısının çarpımı yoluyla I_{A-50} değerinin farklı çaplı örnekler üzerinde ölçülen I_A değerlerinden düzeltilmesi mümkün olmuştur (Eş. 1). Örnek grupları için belirlenen F katsayılarının örnek çapları ile değişimleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 4.1'de her örnek grubu için elde edilen I_A -D ilişkileri ve F değerleri topluca verilmiştir.

Tablo 4.1: Örnek grupları için elde edilmiş I_{A-D} ilişkileri ve F katsayıları.

	I_{A-D} ilişkisi	R^2	F
TF	$I_A = 0.1957 \times D + 7.9457$	0.99	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.555}$
DL	$I_A = 0.0122 \times D + 12.14$	0.91	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.044}$
LB	$I_A = 0.037 \times D + 9.2845$	0.91	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.149}$
TR	$I_A = 0.0598 \times D + 10.442$	0.99	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.21}$
FL	$I_A = 0.0573 \times D + 11.089$	0.93	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.187}$
IG	$I_A = 0.0932 \times D + 17.693$	0.98	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.192}$
TB	$I_A = 0.029 \times D + 11.46$	0.99	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.102}$
MB	$I_A = 0.0248 \times D + 13.704$	0.83	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.085}$
DB	$I_A = 0.0282 \times D + 6.7806$	0.95	$F = \left(\frac{50}{D}\right)^{0.158}$

Tablo 4.1'de verilen eşitlikler kullanılarak her bir örnek grubu için 50 mm çaplı karot örneği üzerindeki aşınma değeri belirlenmiştir (I_{A-50}). Tüm örnek grupları için I_{A-50} değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.2'de sunulmuştur.

$$I_{A-50}=I_A \times F \quad (1)$$

Burada,

I_{A-50} : Karot aşınma indeksi (veya düzeltilmiş I_A değeri, mm),

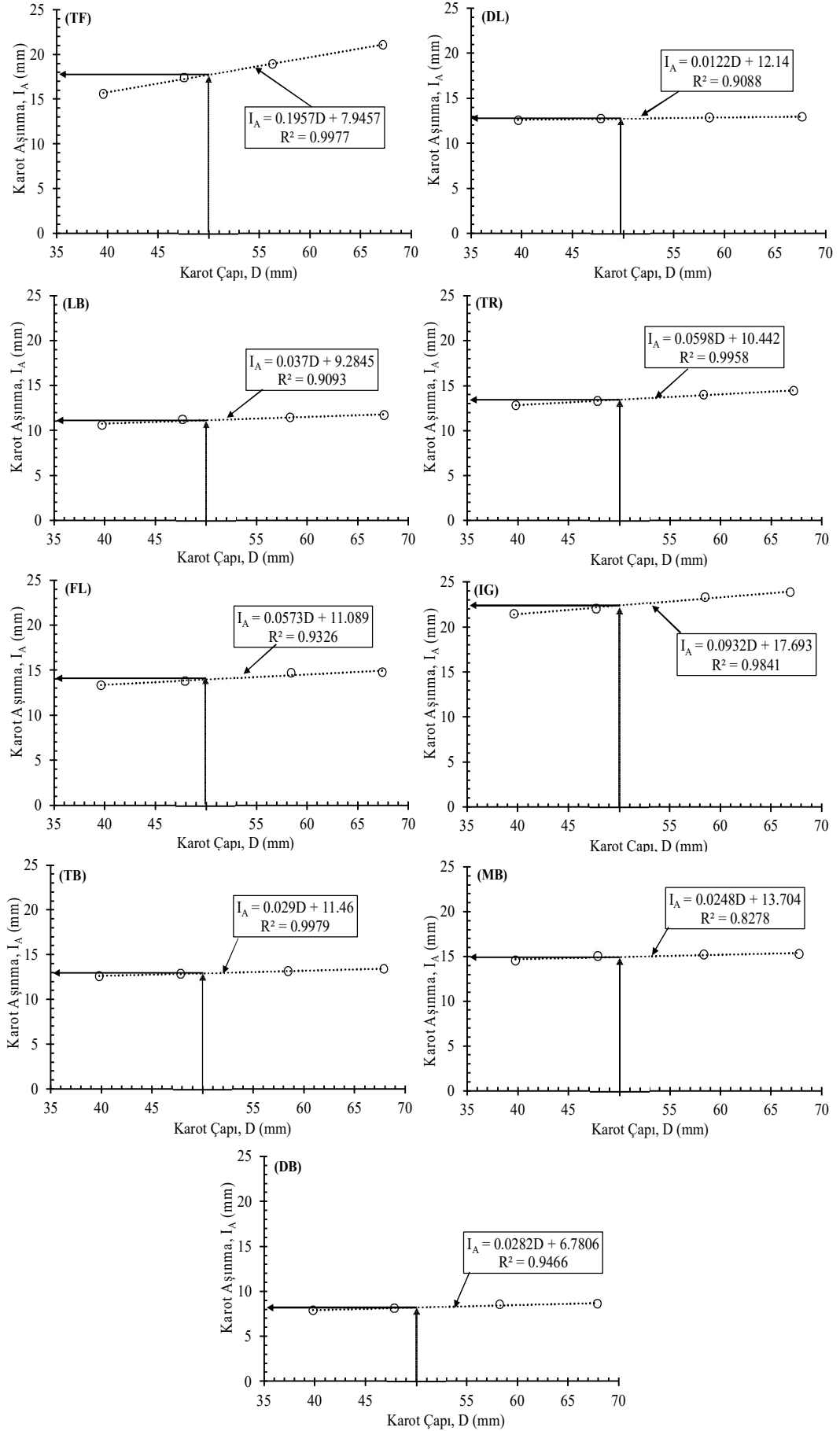
I_A : Karot aşınma değeri (mm),

F: Düzeltme katsayısı (Tablo 4.1’de verilmiştir).

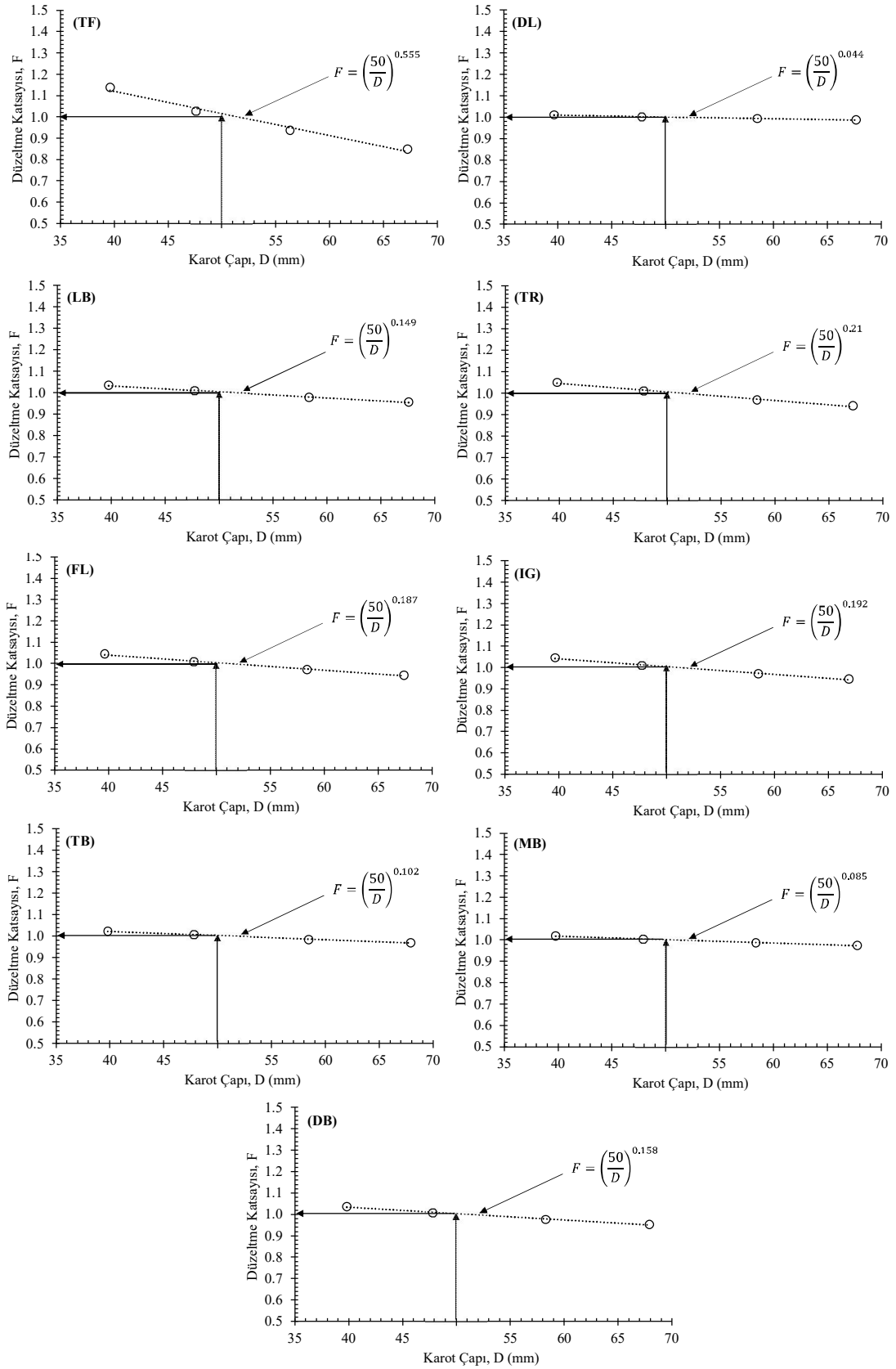
Tablo 4.2: Örnek grupları için elde edilen karot aşınma (I_A) ve I_{A-50} değerleri.

Örnek kodu*	D (mm)	I_A (mm)	I_{A-50} (mm)	Ort. I_{A-50} (mm)	Örnek kodu*	D (mm)	I_A (mm)	I_{A-50} (mm)	Ort. I_{A-50} (mm)
TF4	39.61	15.60	17.86	17.82	IG4	39.63	21.44	22.41	22.45
TF5	47.61	17.42	17.74		IG5	47.73	22.00	22.19	
TF6	56.31	18.93	17.76		IG6	58.50	23.32	22.63	
TF7	67.21	21.07	17.91		IG7	66.91	23.85	22.56	
DL4	39.65	12.58	12.71	12.77	TB4	39.79	12.60	12.89	12.95
DL5	47.79	12.78	12.81		TB5	47.83	12.87	12.92	
DL6	58.52	12.87	12.78		TB6	58.43	13.16	12.96	
DL7	67.67	12.94	12.77		TB7	67.89	13.42	13.01	
LB4	39.74	10.61	10.98	11.18	MB4	39.77	14.55	14.84	14.97
LB5	47.72	11.24	11.32		MB5	47.87	15.05	15.10	
LB6	58.33	11.46	11.20		MB6	58.36	15.23	15.03	
LB7	67.60	11.72	11.20		MB7	67.77	15.29	14.90	
TR4	39.78	12.81	13.44	13.49	DB4	39.83	7.88	8.17	8.22
TR5	47.83	13.29	13.41		DB5	47.84	8.27	8.16	
TR6	58.34	14.00	13.55		DB6	58.26	8.54	8.34	
TR7	67.22	14.42	13.55		DB7	67.90	8.62	8.22	
FL4	39.64	13.33	13.92	14.01					
FL5	47.92	13.75	13.86						
FL6	58.41	14.70	14.28						
FL7	67.42	14.79	13.99						

* Örnek kodundaki rakamlar cm cinsinden örnek çapını göstermektedir.



Şekil 4.7: Örnek gruplarında farklı çaplar için elde edilen I_A değerleri.



Şekil 4.8: Örnek grupları için elde edilmiş düzeltme katsayıları.

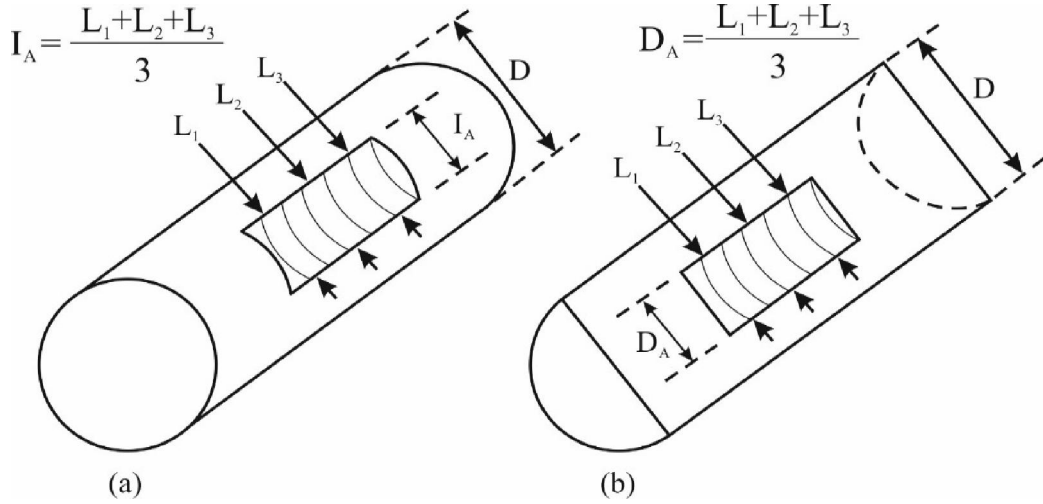
4.4. Yarım Karot Örnekler Geniş Disk Aşınma Deneyinin Uygulanabilirliği

Mühendislik amaçlarına yönelik saha araştırmalarında, madencilik ve hammadde araştırmalarına yönelik sondajlardan temin edilen örnekler üzerinde fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerin belirlenmesi amacıyla analizler ve deneyler gerçekleştirilmektedir. Örnek sayısının kısıtlı olduğu bazı durumlarda örnekler tüm bu analizler için yetersiz kalabilmektedir. Bu gibi durumlarda karotların yarılanarak deneylere tabi tutulması yoluna gidilebilmekte ve istenilen veriler elde edilebilmektedir.

Tez kapsamında tanıtılan tutucu aparat kullanılarak yarım karotların kesik düz yüzeyinde aşınma deneyinin yapılabilirliği araştırılmıştır (D_A). Gerçekte bu durum cihazın önerildiği prizmatik örneklerin ön yüzeyinin deneye tabi tutulması ile aynı durumu temsil etmektedir. Tüm örnek gruplarından 50 mm çaplı karot örneklerden ikişer adeti yarılanarak dört yüzeyde aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.9). D_A deneyi yapılmış örnek görünümü Şekil 4.9'de verilmiştir. Ayrıca I_A ve D_A deneyi gerçekleştirilmiş örnekler için şematik görünüm Şekil 4.10'de sunulmuştur.

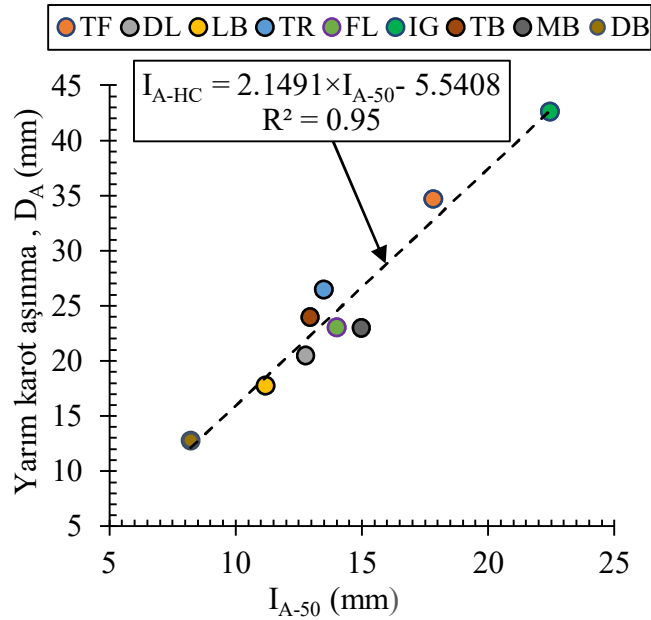


Şekil 4.9: Yarım karot örnek üzerinde aşınma deneyinin gerçekleştirilmesi.



Şekil 4.10: Karot (a) ve yarım karot (b) örnekler üzerinde deney sonrası aşınan oluğun şematik görünümü ve aşınma miktarının hesaplanması.

Elde edilen I_{A-50} ve D_A değerleri örnek grupları için karşılaştırılmış ve aralarındaki korelasyon araştırılmıştır. I_{A-50} değeri belirlenmiş bir karot örneğinin D_A değerinin tahmin edilebildiği durumlarda veya yarım karot üzerinde doğrudan ölçülecek D_A değeriyle, literatürde yer alan ilişkiler de kullanılabilir ve istenilen parametrelerin tahmin edilmesi, yorumlanması mümkün olabilecektir. Tez kapsamında elde edilen ve aynı örnek grupları üzerinde belirlenen ortalama I_{A-50} ve D_A değerlerinin korelasyonu Şekil 4.11’de verilmiştir. Belirleme katsayısının 0.99 olarak belirlenmesi ilişkinin istatistiksel olarak çok anlamlı olduğunu göstermektedir. Şekil 4.12’de D_A deneyi yapılmış yarım karot örneklerin görünümü verilmiştir.



Şekil 4.11: I_{A-50} ve D_A değerlerinin korelasyonu.



Şekil 4.12: DA deneyi yapılmış yarım karotların görünümü.

4.5. Geniş Disk Karot Aşınma Deneyi ile İlgili Değerlendirmeler

G_{DA} cihazına örnek tutucu bir aparat eklenerek, karot örnekler üzerinde aşınma deneylerinin başarıyla uygulanabildiği ortaya konmuş, yarım karot örneği üzerinde aşınma değerinin ortaya konma zorunluluğuyla karşılaşıldığında önerilen karot tutucu aparatın bu işlem için de uygun olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlarda karot aşınma deneylerinin 50 mm çaplı örnekler üzerinde yapılması önerilmektedir. Örnek çapının 50 mm'den farklı olduğu durumlarda çalışılma zorunluluğunda 40 ile 70 mm arasında değişen en az dört farklı çapta hazırlanan örnekler üzerinde I_A deneyinin gerçekleştirilmesi ve elde edilen örnek çapı ve aşınma değeri ilişkisinden I_{A-50} değerinin belirlenebildiği tez çalışması kapsamında ortaya konmuştur.

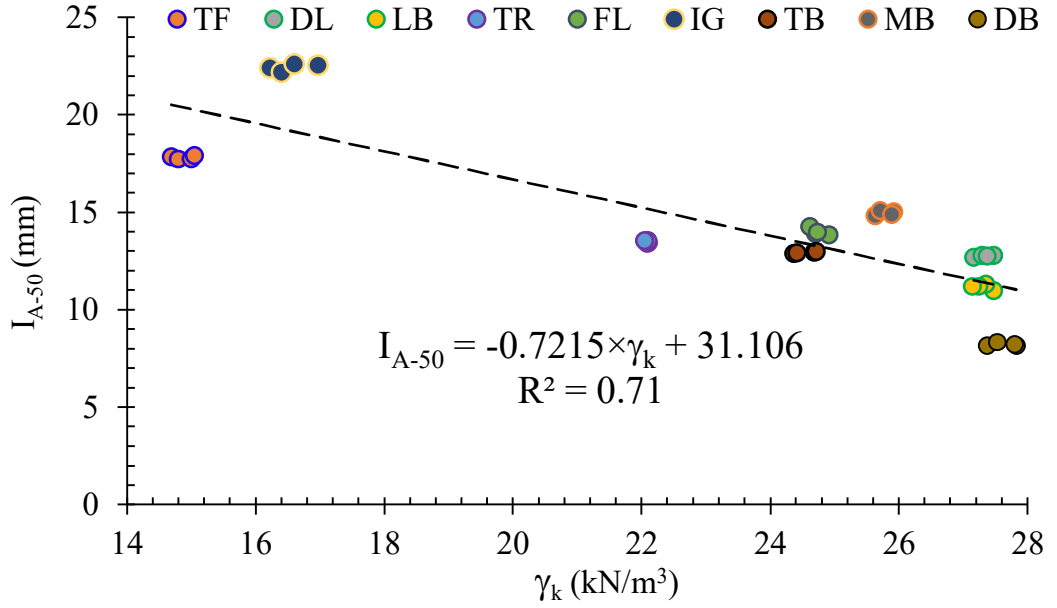
I_{A-50} deneylerinde örneklerin hassas olarak hazırlanması sağlıklı deney sonuçlarına ulaşılması bakımından çok önemlidir. Özellikle karot alımı sırasında karot yüzeylerinin dalgalı ve pürüzsüz olmamasına özen gösterilmelidir. Karot örnekler üzerinde oluşan aşınma oluşunun ölçümü, düz yüzeyde oluşana göre daha dar olarak elde edildiğinden, ilgili standartta belirtildiği gibi büyüteç, 0.5 mm kurşun uçlu kalem, cetvel kullanılarak hassas olarak alınmalıdır.

5. KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE KAROT AŞINMA DEĞERLERİNİN KORELASYONU

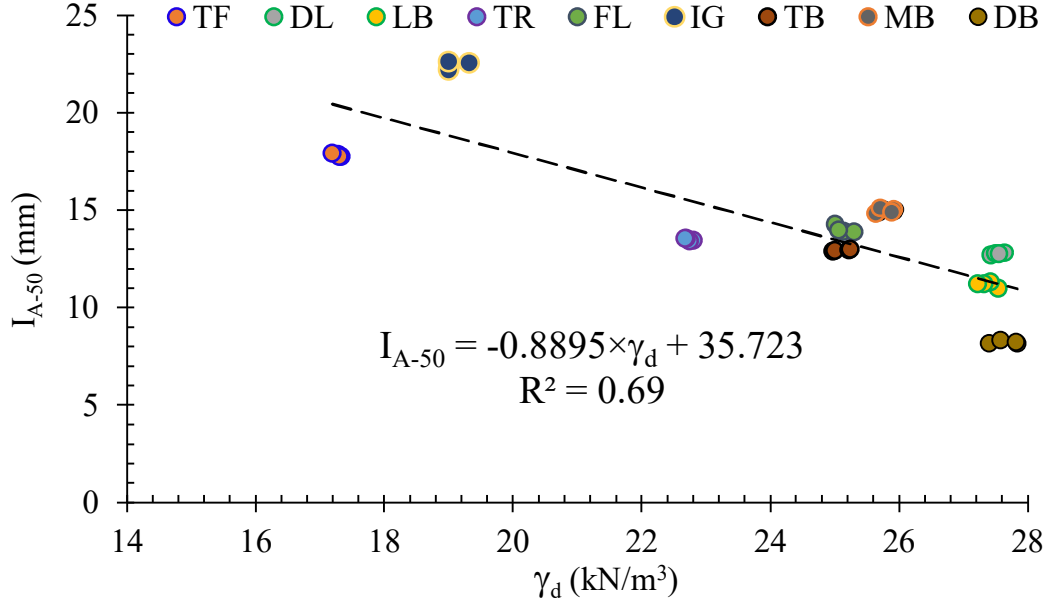
I_A değerlerinden düzeltilerek belirlenen I_{A-50} değerlerinin tez kapsamında incelenen kaya örnek grupları üzerinde belirlenen γ_k , γ_d , n_g , A_S , HL_D ve UCS değerleri ile I_{A-50} arasındaki korelasyonlar araştırılmış ve bu kısımda verilmiştir. Çalışmanın amaçlarından biri de elde edilecek korelasyonlar ile karot aşınma indeksinin temel fiziksel özellikler ile ilişkisinin ortaya konması ve özellikle de UCS değerinin tahmininde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Elde edilecek ilişkiler ile çeşitli parametrelerin tahmini mümkün olabilecek ve bu yolla uygulamada yaygın kullanım sağlanmış olacaktır. Örnek grupları üzerinde belirlenmiş I_{A-50} ve diğer deney sonuçları her çapa ait 3 örneğin ortalaması alınarak belirlenmiş ve korelasyon grafiklerinde her örnek grubu 4 nokta ile temsil edilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi 30 mm çaplı örnekler üzerinde karot aşınma deneyleri sağlıklı olarak gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle aşınma verisi en düşük 40 mm çaplı örneklere aittir.

Tekli regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlara göre kuru birim hacim ağırlık artışı ile I_{A-50} değerlerinin doğrusal bir fonksiyona bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmayı temsil eden doğrusal fonksiyonun belirleme katsayısı (R^2) 0.71 olarak elde edilmiştir (Şekil 5.1). Grafik incelendiğinde TF ve IG örnek gruplarının petrografik açıdan ignimbirit olarak adlandırılmasına rağmen sergiledikleri aşınma özellikleri farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu farklılığın temel sebebi TF grubunun kuvars ve feldispat gibi sert mineraller içermesi olarak yorumlanmıştır. Doygun birim hacim ağırlığı değerlerinin de benzer şekilde artan I_{A-50} değerleri ile doğrusal olarak azaldığı belirlenmiş ve Şekil 5.2’de verilmiştir. I_{A-50} değerleri ile γ_d değerlerinin dağılımını temsil eden doğru için belirleme katsayısı 0.69 olarak elde edilmiştir. Birim hacim ağırlıkların kaya malzeme aşınması ile doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir. Hemen hemen tüm örnek gruplarına ait verilerin bu bulguyu desteklediği görülmüştür.

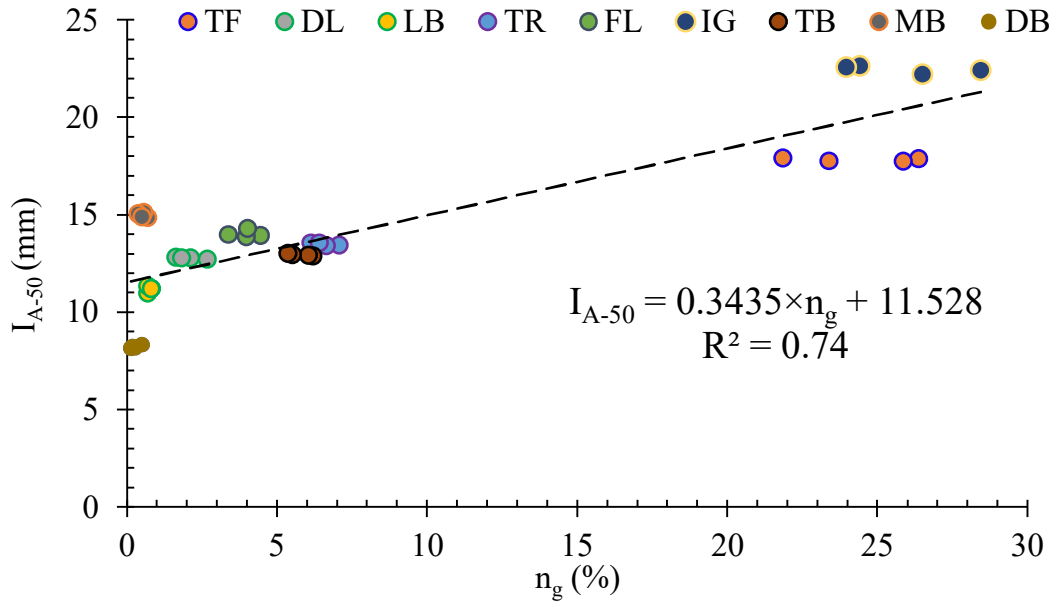
Kaya malzemeler için önemli kontrol parametrelerinden birisi de görünür gözeneklilik değeridir. Bu değer kaya malzemelerin aşınma özellikleri üzerinde de etkiye sahiptir. Tez çalışması kapsamında I_{A-50} değerleri ile n_g değerleri arasında ise pozitif doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. Bu ilişki için belirleme katsayısı 0.74 olarak elde edilmiştir (Şekil 5.3). MB grubu örneklerin eğilim doğrusunun bir miktar üzerinde olduğu belirlenmiş ve MB grubu mermer örnekleri üzerinde elde edilen yüksek I_{A-50} değerlerinin örnek grubunun içerdiği iri kalsit minerallerinin etkisi altında elde edilmesiyle açıklanmıştır. Ağırlıkça su emme değerleri de görünür gözenekliliğe benzer olarak elde edilmiştir. Bu benzerlik su emmenin gözeneklilik ile kontrol edilmesi ile açıklanabilir. A_S ve I_{A-50} değerleri arasında pozitif doğrusal bir ilişki elde edilmiş ve bu ilişkiye ait R^2 değeri 0.66 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.4).



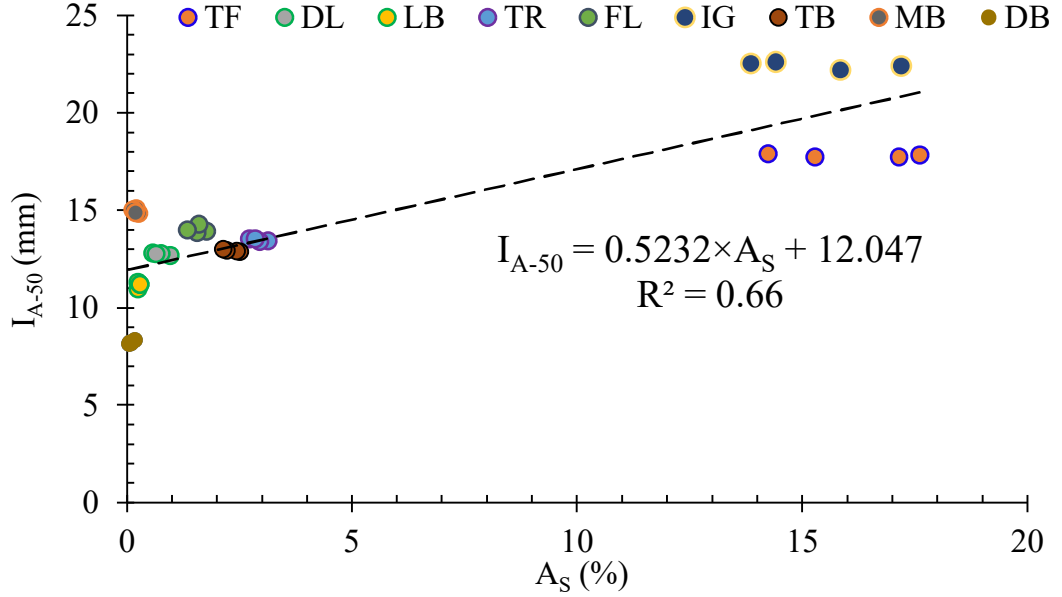
Şekil 5.1: γ_k ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.



Şekil 5.2: γ_d ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.



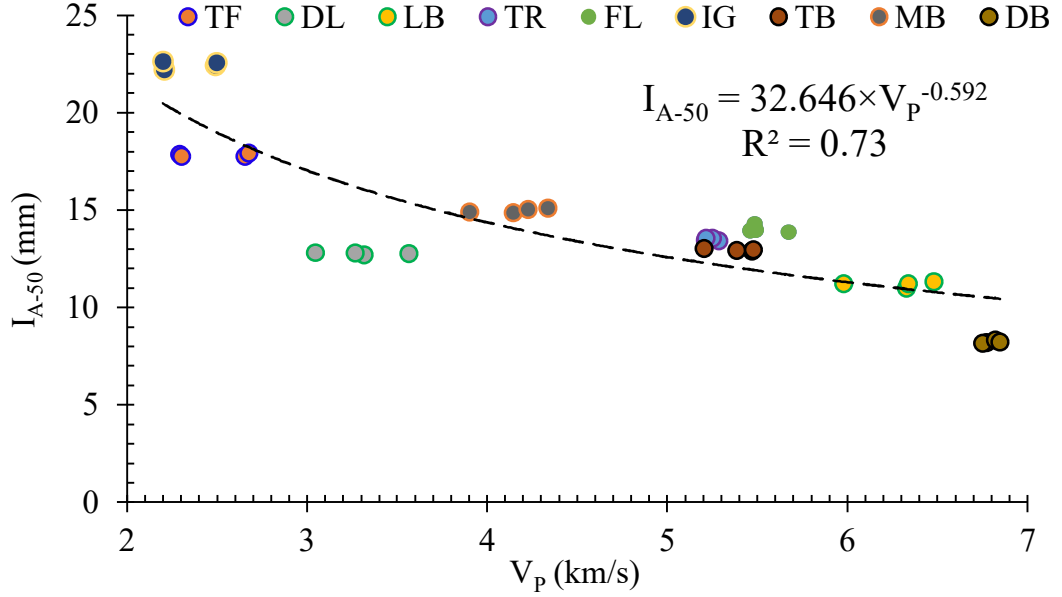
Şekil 5.3: n_g ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.



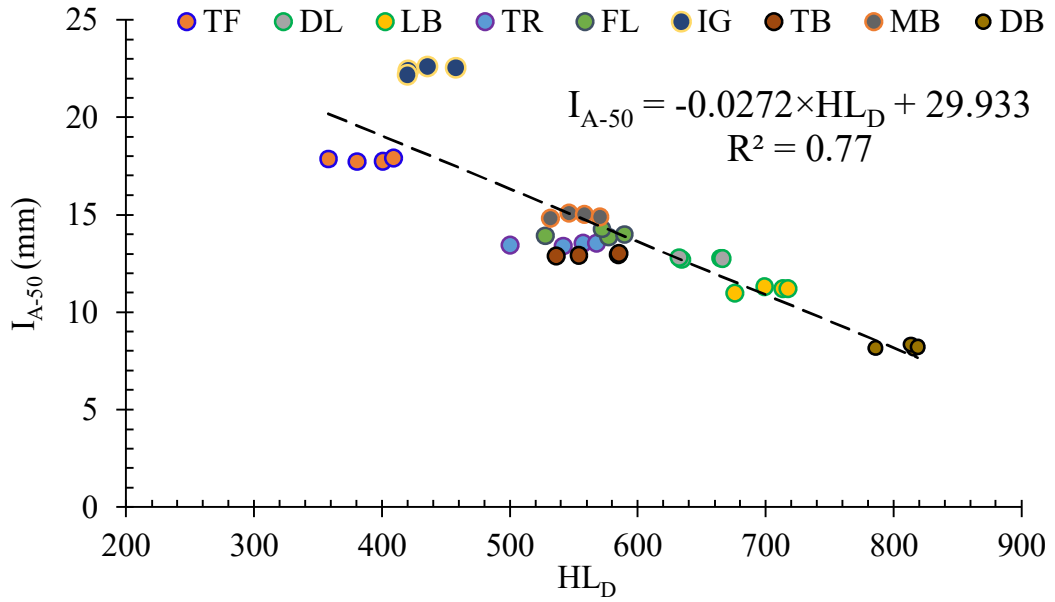
Şekil 5.4: A_S ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.

Kaya malzemelerinin UCS değerlerinin tahmininde tahribatsız bir deney olarak kullanılan boyuna dalga hızları pratikliği nedeniyle çok yaygınlaşmış bir deney yöntemidir. V_P değerleri, yüksek dayanımlı ve düşük gözenekli kayalarda daha yüksek, yüksek gözenekli zayıf ve yumuşak kayalarda ise düşük değerler olarak elde edilmektedir. Bu çalışma kapsamında da I_{A-50} değerleri ile boyuna dalga hızları (V_P) arasında, hız artışı ile I_{A-50} değerlerinin üstel olarak azaldığı gözlenmiştir. Elde edilen R² değeri bu iki parametre için 0.73 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.5).

Tez çalışması kapsamında, özellikle kullanımı son yıllarda artan ve dinamik yüzey sertliği ölçümü esasına dayalı ile Leeb sertliği değerleri tüm örnekler üzerinde ölçülmüştür. Yüzey sertliğinin artışıyla I_{A-50} değerlerinin doğrusal bir fonksiyona bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu azalımı temsil belirleme katsayısı 0.77 olarak elde edilmiştir. IG grubunun eğilim doğrusunun biraz üzerinde olduğu belirlenmiştir. Diğer tüm grupların eğilim doğrusu ile uyumlu olduğu ve Leeb sertliği ve I_{A-50} aşınma değerleri arasında önemli bir korelasyonun olduğu ortaya konmuştur (Şekil 5.6).



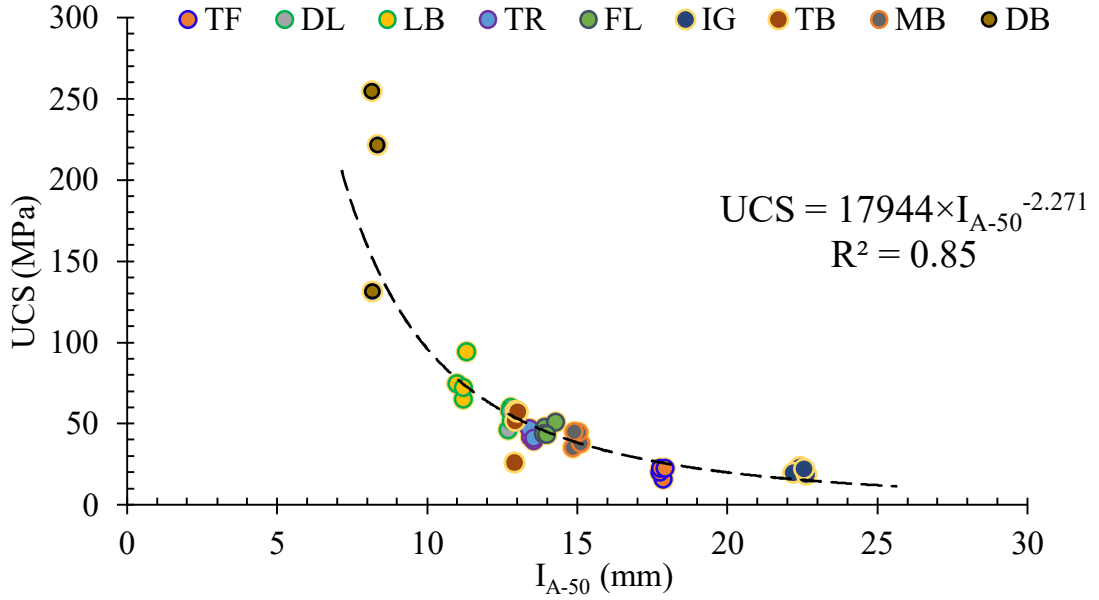
Şekil 5.5: V_P ve I_{A-50} değerlerinin dağılımı.



Şekil 5.6: HL_D ve I_{A-50} arasındaki korelasyon.

UCS kaya malzemeler için en önemli mekanik parametrelerden biri olup çoğu mühendislik projesinde önemli bir girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. UCS değerinin belirlenmesinde belli sayıda hassas olarak hazırlanmış örneğe ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca hassas yükleme kontrollü tek eksenli sıkışma dayanımı cihazlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koşulların yerine getirilemediği durumlarda veya hızlı değerlendirmelerin gerektiği koşullarda UCS değeri doğrudan olmayan yöntemlerle tahmin edilmektedir. Literatürde oldukça yoğun araştırmaların yapıldığı bu konular dikkat çekmektedir. I_{A-50} değerleri ile UCS arasındaki korelasyon

incelenmiş ve önerilen I_{A-50} değerinden UCS değerlerinin tahmin edilebilirliği ortaya konmuştur. UCS artışıyla I_{A-50} değerlerinin üstel olarak azaldığı gözlenmiştir. Elde edilen R^2 değeri 0.85 gibi yüksek bir değer olarak belirlenmiş ve uygulamaya katkısının olma potansiyeline sahiptir.



Şekil 5.7: UCS ve I_{A-50} arasındaki korelasyon.

Elde edilen korelasyon eşitliklerinin I_{A-50} değerinin kullanımının yaygınlaşmasında yeterli öneme sahip olduğu ortaya konan belirleme katsayılarından anlaşılmaktadır. Tez çalışması kapsamında elde edilen eşitlikler topluca Tablo 5.1’de verilmiştir. Ayrıca korelasyon eşitliklerinin belirlenmesinde kullanılan veriler Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Tablo 5.1: I_{A-50} ile diğer özellikler arasında elde edilen korelasyon eşitlikleri.

Parametreler	Eşitlik	R^2
$\gamma_k - I_{A-50}$	$I_{A-50} = -0.7215 \times \gamma_k + 31.106$	0.71
$\gamma_d - I_{A-50}$	$I_{A-50} = -0.8895 \times \gamma_d + 35.723$	0.69
$n_g - I_{A-50}$	$I_{A-50} = 0.3435 \times n_g + 11.528$	0.74
$A_S - I_{A-50}$	$I_{A-50} = 0.5232 \times A_S + 12.047$	0.66
$V_P - I_{A-50}$	$I_{A-50} = 32.646 \times V_P^{-0.592}$	0.73
$HL_D - I_{A-50}$	$I_{A-50} = -0.0272 \times HL_D + 29.933$	0.77
$UCS - I_{A-50}$	$UCS = 17944 \times I_{A-50}^{-2.271}$	0.85

Tablo 5.2: Örnek grupları için elde deney verileri.

Örnek Kodu	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	n_g (%)	A_s (%)	V_p (km/s)	UCS (MPa)	HL_D	I_A (mm)	I_{A-50} (mm)
TF4	14.69	17.28	26.38	17.61	2.291	15.74	358.15	15.60	17.86
TF5	14.79	17.33	25.87	17.15	2.302	20.17	380.57	17.42	17.74
TF6	15.00	17.30	23.39	15.29	2.656	22.36	400.73	18.93	17.76
TF7	15.05	17.19	21.86	14.25	2.677	22.25	408.98	21.07	17.91
DL4	27.16	27.43	2.68	0.97	3.316	46.27	634.42	12.58	12.71
DL5	27.47	27.63	1.62	0.58	3.047	51.49	632.25	12.78	12.81
DL6	27.29	27.50	2.12	0.76	3.268	59.82	664.83	12.87	12.78
DL7	27.37	27.55	1.82	0.65	3.566	57.73	666.18	12.94	12.77
LB4	27.48	27.54	0.68	0.24	6.328	74.59	675.73	10.61	10.98
LB5	27.35	27.42	0.69	0.25	6.478	94.18	699.03	11.24	11.32
LB6	27.24	27.32	0.81	0.29	6.338	65.10	713.25	11.46	11.20
LB7	27.15	27.22	0.81	0.29	5.980	72.09	717.42	11.72	11.20
TR4	22.11	22.80	7.06	3.14	5.211	41.61	500.18	12.81	13.44
TR5	22.09	22.74	6.65	2.95	5.288	46.74	541.80	13.29	13.41
TR6	22.10	22.70	6.13	2.72	5.249	39.41	557.18	14.00	13.55
TR7	22.05	22.67	6.40	2.85	5.215	41.05	567.40	14.42	13.55
FL4	24.71	25.14	4.46	1.77	5.460	47.74	527.57	13.33	13.92
FL5	24.91	25.30	3.98	1.57	5.671	43.55	577.40	13.75	13.86
FL6	24.61	25.01	4.01	1.60	5.486	50.67	571.97	14.70	14.28
FL7	24.73	25.06	3.39	1.35	5.493	43.08	589.47	14.79	13.99
IG4	16.22	19.01	28.44	17.20	2.492	23.26	420.23	21.44	22.41
IG5	16.40	19.00	26.50	15.85	2.208	19.74	419.72	22.00	22.19
IG6	16.60	19.00	24.41	14.42	2.200	18.41	435.42	23.32	22.63
IG7	16.97	19.32	23.97	13.86	2.498	22.08	457.75	23.85	22.56
TB4	24.36	24.97	6.20	2.51	5.469	25.88	536.05	12.60	12.89
TB5	24.41	25.00	6.05	2.44	5.385	51.68	553.80	12.87	12.92
TB6	24.68	25.22	5.50	2.22	5.479	58.06	584.68	13.16	12.96
TB7	24.71	25.24	5.37	2.14	5.203	57.29	585.17	13.42	13.01
MB4	25.63	25.70	0.69	0.26	4.145	35.21	531.75	14.55	14.84
MB5	25.71	25.76	0.55	0.21	4.338	37.91	546.22	15.05	15.10
MB6	25.92	25.96	0.37	0.14	4.227	44.37	558.05	15.23	15.03
MB7	25.88	25.93	0.50	0.19	3.901	45.03	570.40	15.29	14.90
DB4	27.37	27.40	0.28	0.10	6.772	131.34	785.63	7.88	8.17
DB5	27.82	27.84	0.14	0.05	6.751	254.60	815.75	8.27	8.16
DB6	27.52	27.57	0.50	0.18	6.820	221.38	813.65	8.54	8.34
DB7	27.80	27.82	0.19	0.07	6.847	---	818.85	8.62	8.22

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geniş Disk Aşınma deneyinin karot örnekleri ve yarılanmış karot örnekleri üzerinde uygulanabilirliğinin ortaya konmasının amaçlandığı bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

Batı Anadolu'da farklı bölgelerden elde edilmiş 9 kaya grubundan beş farklı çapta ve boy/çap oranı 2.5 olacak şekilde karot örnekler hazırlanmıştır. Örnek gruplarından ince kesitler yaptırılarak mineralojik ve petrografik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışılan kayaç litolojileri mikritik kireçtaşı (üç tür), dolomitik kireçtaşı, mermer, traverten, doleritik diyabaz ve ignimbirit (iki tür) olarak tanımlanmıştır.

Örnek gruplarının ortalama değerler olarak kuru birim hacim ağırlıklarının 14.91 kN/m^3 ile 27.56 kN/m^3 arasında ve sırasıyla ignimbirit (TF) ve diyabaz (DB) örnek grupları için belirlenmiştir. Doygun birim hacim ağırlıkları ise yine aynı örnek grupları üzerinde ve sırasıyla 17.36 kN/m^3 ile 27.65 kN/m^3 arasında değiştiği ortaya konmuştur. Görünür porozite (n_g) değerleri grup ortalamaları olarak, % 0.31 ile % 26.52 arasında, sırasıyla diyabaz (DB) ve ignimbirit (IG) örnek grupları için elde edilmiştir. Ortalama ağırlıkça su emme değerleri, % 0.11 ile % 16.50 arasında sırasıyla diyabaz (DB) ve ignimbirit (TF) grubu örnekler için elde edilmiştir.

Boyuna dalga hızlarının (V_p) 2.34 km/s değeri ile 6.76 km/s arasında, ignimbirit (IG) ve diyabaz (DB) örnek grubu için elde edilmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) değerleri ise 19.96 MPa ve 166.31 MPa olarak sırasıyla ignimbirit (TF) ve diyabaz (DB) örnek grupları için elde edilmiştir. Bu değerler ISRM (2007)'de verilen UCS sınıflamasına göre sırasıyla "zayıf kaya" ve "Çok sağlam kaya" sınıfındadır.

Çalışılan kaya grupları için ortalama elastisite modülü ve ortalama Poisson oranları 48 mm çaplı örnekler üzerinde UCS deneyleri sırasında ölçülen deformasyon değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen en küçük elastisite modülünün ignimbirit (IG) örnek grubu için 3.18 GPa, en yüksek değerin ise DB grubu için 113.97 GPa olarak hesaplanmıştır. En düşük Poisson oranı kireçtaşı (TB) ve diyabaz (DB) örnek grupları için 0.14 olarak, en yüksek değer ise ignimbirit (IG) örnek grubu için 0.32 olarak belirlenmiştir.

Örneklerin yüzey sertliği değerleri Leeb sertlik cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Leeb sertlik yöntemi ile kaya malzemelerin yüzey sertliği değerleri çok hızlı, pratik ve hassas olarak elde edilebilmekte olup bu özellikleri ile kaya malzemeler üzerinde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Leeb sertlik değerleri incelendiğinde ortalama en düşük sertlik değerinin ignimbirit (TF) grubu için 372.68 olarak, en yüksek sertlik değerinin ise diyabaz (DB) grubu örnekler üzerinde ve ortalama 779.66 olarak belirlenmiştir.

Tezin ana amacı doğrultusunda karot örnekler üzerinde geniş disk aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında tasarlanan bir karot tutucu aparat kullanılarak deneyler gerçekleştirilebilmiştir. Hazırlanan her çap için deneyler gerçekleştirilmeye çalışılmış ancak en küçük çaplı örnekler üzerinde deneylerin sağlıklı olarak gerçekleştirilemediği görülmüştür. Deneysel çalışmaların sonunda 40 ile 68 mm arasında değişen çaplarda hazırlanan karot örnekler üzerinde deneylerin gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Aynı tür kaya malzemesi üzerinde farklı çaplı örnekler üzerinde farklı aşınma değerleri elde edilmektedir. Uygulamada bu durumun bir belirsizlik yaratmaması için 50 mm çaplı örnek üzerindeki aşınma değerinin yapılacak tüm hesaplama ve değerlendirmelerde kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmüş ve bu değer “Karot aşınma indeksi” olarak önerilmiştir. Tez çalışması kapsamında farklı çaptaki örnekler üzerinde elde edilen aşınma değerleriyle oluşturulan grafiklerden 50 mm’ye karşılık gelen aşınma değeri belirlenmiş ve örnek grupları için sunulmuştur. Elde edilen ortalama karot aşınma indeksi değerlerinin 8.19 mm ile 22.35 mm arasında ve sırasıyla diyabaz (DB) ve ignimbirit (IG) örnek grupları için elde edilmiştir.

Mühendislik projelerine yönelik saha araştırmalarında, maden ve hammadde sahalarının etütlerinde kaya malzeme örneklemeleri genellikle karot olarak yapılmaktadır. Karot örnek miktarının yetersiz olduğu ve bir dizi deneysel çalışmanın sınırlı sayıdaki örnekler üzerinde yapılması gereken durumlarda yarılanmış karot örnekleri üzerinde de aşınma parametresinin belirlenebilirliği araştırılmıştır. Yarım karotların düz yüzeylerinde de aşınma deneyinin başarı ile gerçekleştirilebildiği ortaya konmuştur. Elde edilen karot ve yarım karot örnekler üzerinde elde edilen aşınma değerleri karşılaştırılmış ve belirleme katsayısı 0.95 ile temsil edilen doğrusal ve anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

Örnek grupları için elde edilen I_{A-50} değerleri, kaya malzeme özellikleri ile karşılaştırılmış ve elde edilen korelasyonlar tez çalışması kapsamında sunulmuştur. Çalışılan örnek gruplarının incelenen özelliklerinin geniş aralıkta değişmesi, elde edilen ilişkilerin uygulamada çeşitli kaya malzeme özelliklerinin I_{A-50} değerinden tahmin edilebilmesine olanak sağlayabilecektir. Ayrıca, kaya malzeme aşınmasının kritik olduğu mühendislik projelerinin tasarımlarında alternatif bir aşınma parametresi olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir. Elde edilen korelasyon denklemlerini kullanarak, I_{A-50} değerinden kaya malzeme özelliklerini tahmin etmek veya I_{A-50} değerinden UCS gibi önemli bir tasarım parametresini tahmin etmek mümkün olacaktır.

I_{A-50} değeri karot numuneleri üzerinde çok pratik olarak belirlenebilmiş ancak 40 mm altında çapa sahip karotlar üzerinde sağlıklı olarak deneyler gerçekleştirilememiştir. Ayrıca karot örneklerin hassas olarak hazırlanmasının deney sonuçlarına etkisi net olarak gözlenmiştir. Özellikle örneklerin dış yüzeylerinin dalgalı ve pürüzlü olması elde edilecek aşınma oluşunun sınırlarının net olmamasına ve hatalı sonuçların elde edilmesine yol açabileceği belirlenmiştir.

Daha sonraki çalışmalarda farklı kaya türleri üzerinde farklı araştırmacılar tarafından I_{A-50} değerlerinin belirlenmesi ve tüm verilerin değerlendirilerek daha genel korelasyonların elde edilmesi önerilmektedir. Rutin olarak temin edilen karot numuneleri üzerinde oldukça pratik ve tahribatsız bir şekilde elde edilecek olan bu yeni alternatif I_{A-50} aşınma parametresinin kaya mekaniği ve kaya mühendisliği proje tasarımlarında kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

Aldeeky, H., Al Hattamleh, O., Rababah, S., “Assessing the uniaxial compressive strength and tangent Young’s modulus of basalt rock using the Leeb rebound hardness test”, *Materiales de Construcción* 70:(340) 230, (2020).

Anon, “Classification of rocks and soils for engineering geological mapping part I: Rock and soil materials”, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 19:364-371, (1979).

Aoki, H., Matsukura, Y., “Estimating the unconfined compressive strength of intact rocks from Equotip hardness”, *Bull Eng Geol Environ* 67(1):23–29, (2008).

ASTM, “Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances (Designation: D 4543)”, *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, PA, USA, (1991).

Benavente, D., Fort, R., Gomez-Heras, M., “Improving uniaxial compressive strength estimation of carbonate sedimentary rocks by combining minimally invasive and non-destructive techniques”, *Int J Rock Mech. Min. Sci.*, 147, 104915, (2021).

Çelik S. B., Çobanoğlu, İ., “Comparative investigation of Shore, Schmidt, and Leeb hardness tests in the characterization of rock materials”, *Environ Earth Sci.*, 78:554, (2019).

Çelik, S. B., “Karbonat Kayalarının Aşınma Dirençlerinin Geniş Disk Aşınma Deneyi ile Araştırılması”, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi* 30 (1), 303-310, (2018).

Çelik, S. B., “Karbonat Kayalarının Aşınma Dirençlerinin Geniş Disk Aşınma Deneyi ile Araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1):303-310, (2018).

Çobanoğlu, İ., Çelik, S. B., “Assessments on the usability of Wide Wheel (Capon) test as reference abrasion test method for building Stones”, *Construction and Building Materials* 151, 319–330, (2017).

Çobanoğlu, İ., Çelik, S. B., “Assessments on the usability of Wide Wheel (Capon) test as reference abrasion test method for building stones”, *Constr Build Mater* 151:319-330, (2017).

Cobanoğlu, I., Celik, S. B., Alkaya, D., “Correlation between “wide wheel abrasion (capon)” and “Bohme abrasion” test results for some carbonate rocks”, *Scientific Research and Essays Vol. 5(22)*, pp. 3398-3404, (2010).

Corkum, A. G., Asiri, Y., El Naggar, H., Kinakin, D., “The Leeb hardness test for rock: An updated methodology and UCS correlation”, *Rock Mech. Rock Eng.* 51:665-675, (2018).

Daniels, G., McPhe, C. A., Sorrentino Y. C., McCurdy P., “Nondestructive strength index testing applications for sand failure evaluation. In: SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition”, *Society of Petroleum Engineers* pp. 12, (2012).

Desarnaud, J., Kiriya, K., Simsir B. B., Wilhelm, K., Viles, H., “A laboratory study of Equotip surface hardness measurements on a range of sandstones: What influences the values and what do they mean?”, *Earth Surf Proc. Land* 44:1419-1429, (2019).

EN 14157, “Natural stones - Determination of abrasion resistance”, European Standard 19p., (2017).

Gomez-Heras, M., Benavente, D., Pla, C., Martinez-Martinez, J., Fort, R., Brotons, V. “Ultrasonic pulse velocity as a way of improving uniaxial compressive strength estimations from Leeb hardness measurements”, *Constr Build Mater* 261, 119996, (2020).

Güneş, Yılmaz, N., “The influence of testing procedures on uniaxial compressive strength prediction of carbonate rocks from Equotip hardness tester (EHT) and proposal of a new testing methodology: Hybrid dynamic hardness (HDH)”, *Rock Mech Rock Eng* 46(1):95-106, (2013).

Güneş, Yılmaz, N., Göktaş, R. M., “Comparison and combination of two NDT methods with implications for compressive strength evaluation of selected masonry and building stones”, *Bull Eng Geol Environ* 78:4493-4503, (2019).

ISRM, “The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the commission on testing methods”, *Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group* 628p, (2007).

Karaca, Z., Yılmaz, N., Göktaş, R. M., “Considerations on the European Standard EN 14157 Test Methods: Abrasion Resistance of Natural Stones Used for Flooring in Buildings”, *Rock Mech Rock Eng*, 45:103–111, (2012).

Kawasaki, S., Tanimoto, C., Koizumi, K., Ishikawa, M., “An attempt to estimate mechanical properties of rocks using the Equotip hardness tester”, *Journal of the J Soc Eng Geol* 43(4):244–248, (2002).

Lee, J. S., Smallwood, L., Morgan, E., “New application of rebound hardness numbers to generate logging of unconfined compressive strength in laminated shale formations”, In: 48th US rock mechanics - geomechanics symposium 2:972–978, (2014).

Leeb, D., “Dynamic hardness testing of metallic materials”, *NDT Int* 12(6):274-278, (1979).

Marini, P., Bellopede, R., Perino, L., De Regibus, C., “Optimisation of an abrasion resistance test method on natural stones”, *Bull Eng Geol Environ* 70:133–138, (2011).

Marini, P., Bellopede, R., Perino, L., Regibus, C. D., “Optimisation of an abrasion resistance test method on natural Stones”, *Bull Eng Geol Environ* 70:133–138, (2011).

Meulenkamp, F., Alvarez, Grima, M., “Application of neural networks for the prediction of the unconfined compressive strength (UCS) from Equotip hardness”, *Int J Rock Mech Min* 36(1):29–39, (1999).

Ozvan, A., Direk, N., “The relationships among different abrasion tests on deteriorated and undeteriorated rocks”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, (2020).

Özvan, A., İnan, E., “Mermerlerin Aşınma Direncini Belirlemek İçin Kullanılan Geniş Diskli Aşındırma Testi (GDA) İçin Bazı Yorumlar ve Öneriler”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 44, 183-196, (2020).

Su, O., Momayez, M., “Correlation between Equotip hardness index, mechanical properties and drillability of rocks”, *Dokuz Eylul University Journal of Science and Engineering* 19(56):519-531, (2017).

Verwaal, W., Mulder, A., “Estimating rock strength with the Equotip hardness tester”, *Int J Rock Mech Min & Geomech Abs* 30(6):659–662, (1993).

Yaralı, O., “Kömür Çevre Kayaçları Dayanım Özelliklerinin Cerchar Aşınma İndeksine Olan Etkileri”, *Yerbilimleri*, 37 (2), 179-192, (2016).

Yılmaz, N. Y., “Abrasive Assessment of Granitic Building Stones in Relation to Diamond Tool Wear Rate Using Mineralogy-Based Rock Hardness Indexes”, *Rock Mech Rock Eng* 44:725–733, (2011).