



**YAYA TRAFİĞİNE MARUZ KALAN MAĞMATİK
VE KARBONAT KÖKENLİ DOĞALTAŞLARDA
AVRUPA (EN) VE AMERİKAN (ASTM) AŞINMA
DAYANIMI STANDARDI DENEYLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ÇAKIR

Danışman

Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2024

Bu tez çalışması 23.FEN.BİL.29 numaralı proje ile AKÜ BAP Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANSTEZİ

**YAYA TRAFİĞİNE MARUZ KALAN MAĞMATİK VE
KARBONAT KÖKENLİ DOĞALTAŞLARDA AVRUPA (EN) VE
AMERİKAN (ASTM) AŞINMA DAYANIMI STANDARDI
DENEYLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Ali ÇAKIR

Danışman

Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Ali ÇAKIR tarafından hazırlanan “Yaya Trafikine Maruz Kalan Mağmatik ve Karbonat Kökenli Doğaltaşlarda Avrupa (EN) ve Amerikan (ASTM) Aşınma Dayanımı Standardı Deneylerinin Karşılaştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 04/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

Başkan : Prof. Dr. Mahmut YAVUZ
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İrfan Celal ENGİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04 / 06/2024

İmza
Ali ÇAKIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAYA TRAFİĞİNE MARUZ KALAN MAĞMATİK VE KARBONAT KÖKENLİ DOĞALTAŞLARDA AVRUPA (EN) VE AMERİKAN (ASTM) AŞINMA DAYANIMI STANDARDI DENEYLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ali ÇAKIR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

Bu çalışmada, magmatik kökenli doğaltaşlar ile karbonat kökenli doğaltaşlarda kayaçların aşınma dayanımlarını saptamaya yarayan Avrupa Birliği (EN) ve Amerikan (ASTM) standart deneyleri karşılaştırılmıştır. Özellikle doğaltaşların döşenme yerlerinde yayaların sürtünmesi sonucunda oluşacak aşınma miktarı, doğaltaşlarının ömürlerini tahmin etmede ve kullanılıp kullanılmamasına karar vermede önemli kriterlerdendir. Bu tez çalışmasında, bazı magmatik kökenli sert taş ile karbonat kökenli (kireçtaşı, mermer, traverten) taşlar üzerinde EN 14157 ile ASTM C241 Aşınma Dayanımı Tayini standart test yöntemleri uygulanarak elde edilen sonuçlar arasındaki korelasyonlar saptanmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, her iki ayrı standart test yöntemi arasında yüksek korelasyonlu ters ilişki olduğu saptanmıştır. ASTM veya EN standart aşındırma deney yöntemindeki bir sonucun, diğer standart test yöntemi sonucuna dönüştürülmesi için bir eşitlik önerisi getirilmiştir. Bu yolla; yeniden numune hazırlamak ve deney yapmak için gereksiz zaman ve maliyet kayıpları önlenmiş, kullanıcıların zemin kaplaması için doğaltaş seçmelerinde daha çabuk ve doğru karar almalarına yardımcı olunacaktır.

2024, vii + 43 sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğaltaş, Aşınma dayanımı, Standart, EN, ASTM.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

COMPARISON OF EUROPEAN (EN) AND AMERICAN (ASTM) ABRASION RESISTANCE TEST STANDARD RESULTS ON NATURAL STONES OF MAGMATIC AND CARBONATE ORIGIN SUBJECTED TO FOOT TRAFFIC

Ali ÇAKIR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

In this study, European Union (EN) and American (ASTM) standard test methods, which are used to determine the abrasion resistance of rocks in igneous origin and carbonate origin natural stones, were compared. The amount of wear that will occur as a result of the friction of pedestrians, especially in the floor covering areas of natural stones, is an important criterion in estimating the life of natural stones and in deciding whether to use them or not. In this thesis, the correlation between the results obtained by applying TS-EN 14157 and ASTM C241 Abrasion Resistance Determination standard test methods on some igneous stones and carbonate origin stones (limestone, marble, travertine) was tried to be determined. As a result, a highly correlated inverse relationship was found between the two standard test methods. In this way, an equation proposal is introduced for converting a result in any standard test method to the result of another standard test method.

2024, vii + 43 pages

Keywords: Natural stones, Abrasion resistance, Standards, EN, ASTM.

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunun önerilmesinde ve çalışmanın yürütülmesinde her türlü yardımını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ'e teşekkür ederim. Ayrıca, akademik çalışmalarındaki katkılarından dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve literatür araştırmaları ve yazım aşamalarındaki desteklerinden dolayı Arş. Gör. Mustafa GÜRSOY'a da teşekkür ederim. Ayrıca, 23.FEN.BİL.29 nolu "Yaya Trafikine Maruz Kalan Mağmatik ve Karbonat Kökenli Doğaltaşlarda Avrupa (EN) ve Amerikan (ASTM) Aşınma Dayanımı Standardı Deneylerinin Karşılaştırılması" başlıklı proje kapsamındaki maddi desteklerinden dolayı AKÜ BAP Komisyonuna da teşekkürlerimi sunarım.

Diğer taraftan, her zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme de teşekkür ederim.

Ali ÇAKIR

Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
3. MATERYAL ve METOT	10
3.1 Deneylerde Kullanılan Magmatik Kökenli Kayaç Numuneleri	10
3.2 Deneylerde Kullanılan Karbonat Kökenli Kayaç Numuneleri	10
3.3 Deneylerde Kullanılan Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler	11
3.4 Örneklenen Kayaçlarda Yapılan Aşındırma Testlerin Tanıtımı	11
3.4.1 EN-Aşınma Direnci Tayini (EN-14157).....	11
3.4.2 ASTM C241 Aşınma Direnci Tayini Deneyi	13
3.4.3 EN 14157 ve ASTM C241 Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	14
3.5 Örneklenen Kayaçların Özellikleri	16
4. BULGULAR	17
4.1 EN-ASTM Aşınma Dayanımları (AD) ile Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişkiler ..	17
4.2 İstatistiksel Analizler	32
4.2.1 Korelasyon Analizleri	32
4.2.2 Doğrusal Regresyon Analizleri.....	33
4.2.2.1 Magmatik Kayaçların Doğrusal Regresyon Analizleri	34
4.2.2.2 Karbonatlı Kayaçların Doğrusal Regresyon Analizleri.....	35
4.2.2.3 Tüm Kayaçların Doğrusal Regresyon Analizleri	36
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	38
6. KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yüzeyler arası aşınma modeli.....	2
Şekil 3.1 Dikey aşındırma cihazı (EN-14157;2017)	12
Şekil 3.2 Aşınma oluşunu gösteren test edilmiş bir numune örneği.....	12
Şekil 3.3 ASTM C241 Aşınma test cihazı ve parçaları.....	14
Şekil 4.1 Magmatik kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile UCS arasındaki ilişkiler.....	17
Şekil 4.2 Magmatik kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile Porozite arasındaki ilişkiler	18
Şekil 4.3 Magmatik kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile Açık Gözeneklilik (AG) arasındaki ilişkiler	19
Şekil 4.4 Magmatik kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile Shore Sertlik İndeksi (HS) arasındaki ilişkiler.....	20
Şekil 4.5 Magmatik kayaçların ASTM aşınma dayanımı (AD) ile Su emme arasındaki ilişkiler.....	21
Şekil 4.6 Magmatik kayaçların EN aşınma dayanımı (AD) ile Eğilme Dayanımı (BS) arasındaki ilişkiler	21
Şekil 4.7 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile UCS arasındaki ilişkiler.....	22
Şekil 4.8 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile Yoğunluk arasındaki ilişkiler	23
Şekil 4.9 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile Birim Hacim Ağırlık (BHA) arasındaki ilişkiler	24
Şekil 4.10 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile Cerchar Aşınma İndeksi (CAI) arasındaki ilişkiler	25
Şekil 4.11 Tüm kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile UCS arasındaki ilişkiler.....	25
Şekil 4.12 Tüm kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile Shore Sertlik İndeksi (HS) arasındaki ilişkiler.....	25
Şekil 4.13 Tüm kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) ile Cerchar Aşınma İndeksi (CAI) arasındaki ilişkiler.....	25

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam Ediyor)

	Sayfa
Şekil 4.14 Magmatik kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) test sonuçları arasındaki ilişkiler	29
Şekil 4.15 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) test sonuçları arasındaki ilişkiler	30
Şekil 4.16 Tüm kayaçların ASTM ve EN aşınma dayanımı (AD) test sonuçları arasındaki ilişkiler	31



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Magmatik kayaçların türleri	10
Çizelge 3.2 Karbonatlı kayaçların türleri	10
Çizelge 3.3 Kayaçların uygulanan testler ve standartları	11
Çizelge 3.4 EN 14157 ve ASTM C241 Aşınma dayanımı test yöntemlerinin karşılaştırılması..	15
Çizelge 3.5 Örneklenen magmatik kayaçlara ait fiziksel ve fiziko- mekanik aşınma özellikleri.	16
Çizelge 3.6 Örneklenen karbonat kökenli kayaçlara ait fiziksel ve fiziko- mekanik aşınma özellikleri.	16
Çizelge 4.1 Magmatik kayaçlara ait korelasyonlar	33
Çizelge 4.2 Karbonatlı kayaçlara ait korelasyonlar	33
Çizelge 4.3 Tüm kayaçlara ait korelasyonlar	33
Çizelge 4.4 Magmatik kayaçlara ait regresyon analizleri güvenilirlik analizleri	35
Çizelge 4.5 Karbonatlı kayaçlara ait regresyon analizleri güvenilirlik analizleri	36
Çizelge 4.6 Tüm kayaçlara ait regresyon analizleri güvenilirlik analizleri	37

1. GİRİŞ

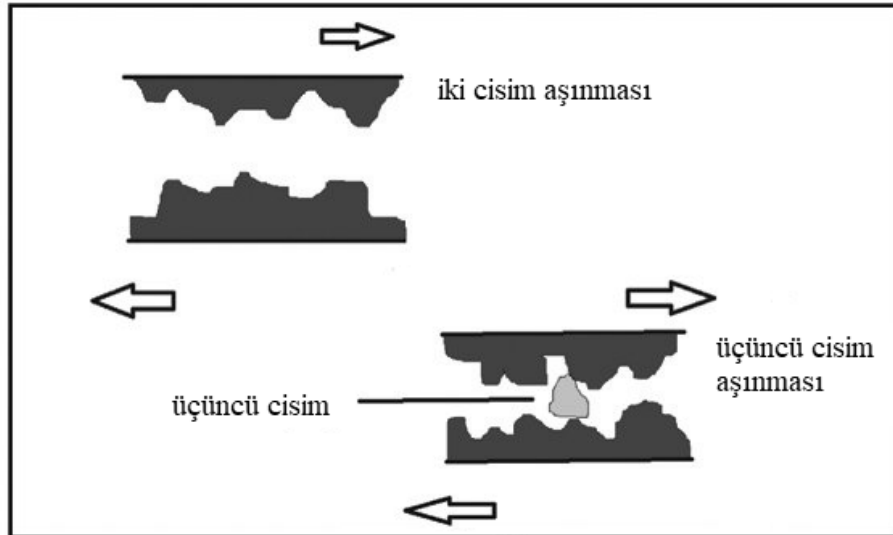
Doğaltaş sektöründe yaya trafiğinin yoğun olduğu bina içinde ve dışındaki alanlarda kullanılan doğaltaşların sürtünmeden kaynaklı aşınmadan dolayı görünüşleri bozulmakta ve bunların tamirleri veya değiştirilmeleri oldukça çok zaman ve para kaybına neden olmaktadır. Bu tür durumların oluşmaması için doğaltaşların sürtünmeden kaynaklı aşınma miktarlarının önceden tahmin edilmesine yönelik Avrupa Birliği (EN) standart test yöntemi ile Amerikan (ASTM) standart test yöntemi mevcuttur. Bu standart yöntemler birbirinden tamamen farklı olup, elde edilen sonuçların birbirleri ile karşılaştırılması veya birbirine dönüştürülmesi imkansızdır. Elde edilen sonuçlara göre düşük aşınma direnci olan doğaltaşların yerine aşınma dayanımı yüksek olanların zeminlerde döşeme, basamak, eşikler, kaldırım vb gibi yaya ve eşya trafiği nedeniyle sürtünmenin daha fazla olduğu yerlerde kullanılmaları önerilmektedir.

Bu tez çalışmasında, 7 adet magmatik kökenli sert taş ile 7 adet karbonat kökenli (kireçtaşı, mermer, traverten) taş üzerinde Avrupa Birliğine ait “TS-EN 14157 Doğaltaş-Aşınma Direnci Tayini (Dikey Aşınma Testi)” standardı ile Amerikan “ASTM C241 Yaya Trafiğine Maruz Kalan Taşın Aşınma Direnci İçin Standart Test Yöntemi” standart test yöntemleri uygulanarak, elde edilen sonuçlar arasındaki istatistiksel ilişkiler saptanmaya çalışılmıştır. Halen bilim camiasında ve doğaltaş sektöründe bu iki yöntemi bu düzeyde araştıran ve iki farklı test yöntemi arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bilimsel bir çalışma ve yayın bulunmamaktadır. Bu tez çalışması ile hem bu alandaki bilimsel boşluk doldurulacak hem de doğaltaş sektöründe halen bir test yöntemine ait sonucun diğerine yaklaşık olarak dönüştürülmesi ile çıkan sonuçlarda kullanıcılara yol gösterici olacaktır. Yani bu çalışma yalnızca ülkemizde değil, evrensel olarak hem bilimsel hem de sektörel anlamda çok önemli bir boşluğu doldurmuş olacak, gereksiz yere test yapma, buna bağlı zaman ve para kaybını da önleyecektir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Aşınma ve sürtünme doğada bilinen en eski fiziksel olaylardır. Aşınma mekanizması; katı yüzeyli bir cisme değen başka bir materyalle arasında oluşan sürtünme ilişkisidir. Bu nedenle katı yüzeyli malzeme sürekli sürtünmesinden dolayı hasar görmektedir. Aşınma; aşındırıcı aşınma, kayma aşınması, darbe aşınması, eroziv aşınma ve sürtünme aşınması olmak üzere beş ana kategoriye ayrılabilir. Farklı aşınma türlerini ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir, ancak test yapıldığında esas olarak belirli bir zamanda belirli bir aşınma türüne odaklanılır. Bazı aşınma testleri, belirli bir aşınma türüne karşı malzemenin tepkisini değerlendirmek için yapılır ve bazı testler de belirli bir saha uygulamasında, yüzey işlemlerinde vb. bir malzemenin tepkisini kontrol etmektedir. Aşınma, bileşenlere ve ekipmanlara zarar verebilir. Aşınma, bakım maliyetlerinde artışa ve görsel değer kaybına neden olur (Choudhary, 2015).

Birbirine sürten iki cisimdeki sert çıkıntılar yüzeylerinde aşınmaya neden olurken, temas eden yüzeyler arasında serbestçe hareket edebilen sert parçacıklar üçüncü cisim aşınmasına neden olur (Şekil.1). Pek çok çalışmaya göre, gevşek aşındırıcı parçacıklar nedeniyle iki cisim aşınmasının üçüncü cisim aşınmasına göre daha fazla malzeme aşındırmakta olduğu doğrulanmıştır (Selveraj vd., 2021).



Şekil 2.1. Yüzeyler arası aşınma modeli (Selveraj vd., 2021)

Aşınmanın genel olarak sert parçacıkların daha yumuşak bir katı yüzey üzerinde kayarak daha yumuşak malzeme yüzeyinin kademeli olarak çıkarılmasıyla veya koparılmasıyla sonuçlanmaktadır. Temel olarak çalışma koşullarına, etkileşim halindeki malzemelerin özelliklerine ve kayma etkileşiminin türüne bağlı olduğuna bilinmektedir. Dolayısıyla bu faktörlerin kontrol edilmesiyle aşınma kontrol altına alınabilir. Aşınmaya neden olan esas olarak iki faktör vardır; bunlar yüzeylere etki eden yükler ve sürtünmedir. Herhangi bir malzemenin ömrü ve performansı aşınmaya bağlı olduğundan maliyetler açısından dikkate alması gereken en önemli faktörlerden biri haline gelir (Choudhary, 2015).

Doğaltaşların yapılarda kullanımı sonrasında sürtünme kaynaklı aşınmalarına ait literatür çalışmaları incelendiğinde; kullanılan döşeme ve kaplama malzemelerinin aşınma davranışlarının kayaç oluşum mekanizmasına bağlı değiştiği, yüzey pürüzlülük değerlerine göre farklılık gösterdiğini, iki yüzey birbirine sürterken ve arada fazladan üçüncü bir cisim varken aşınma davranışlarının değişimini, hacimsel ve kütsel kayıpları gibi konuların ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmaların detayları aşağıda sıralanmıştır.

Karaca vd. (2012) ince katı parçacıkların yükünün, taş döşeme malzemesinin yaya trafiğine karşı aşınmasını etkileyen ana faktör olduğunu öne sürmektedirler. Zemin uygulamalarında taş karolar kullanıldığında görülen aşındırıcı aşınma mekanizması, çoğunlukla üçüncü cisim aşınmasıdır. Bu çalışmada on iki farklı taş malzemenin abrasif aşınma davranışı, diğer parametreler sabit tutularak Böhme testi ile 100N'den 500N'ye kadar değişen temas yükleri uygulayarak incelenmiştir. Genel olarak yük arttıkça tüm taşların aşınması da artmaktadır. Taşların bir kısmı, aşınma oranı ile yük arasında doğrusal bir ilişki sergilerken, bir kısmı da (özellikle granitler) göstermemektedir. Mermer ve karbonatlar, kireçtaşları (bej mermerler) ve granitlere göre daha fazla eğim değeri ile doğrusal olarak aşınma davranışı gösterirler. Bu nedenle kireçtaşları ve granitler yük artışına daha az duyarlıdır. Mekanik dayanımı yüksek olan taşların yük artışına daha az duyarlı olduğunu saptamışlardır.

Archard'a (1953) göre herhangi bir doğal taşın aşınma hızı, numune yüzey alanı başına hacim kaybı olarak ifade edilebilir. Malzeme kaybı, kayma mesafesi (tekerlek devir sayısı) ve uygulanan normal yükü doğru orantılı, test edilen taşın sertliği ile ise ters orantılıdır.

Marini vd. (2011) aşınmanın doğal taşların ömrünü kısaltabileceğini ve zamanla etkilerinin de artmaya devam ettiğini ileri sürmektedirler. Onlara göre aşınma, taş yüzeyinden malzemenin silinmesine neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda taşların renk, parlaklık gibi estetik özelliklerinin değişmesine ve çeşitli mekanik özelliklerinin azalmasına da neden olabileceğini ve Avrupa Standardı EN 14157:2004'e göre, standartta belirtildiği gibi, aşındırıcı malzemenin üç defadan fazla kullanılmaması gerektiğini söylemektedirler. Bu çalışmada, aşındırıcı malzemenin performansının birçok testten sonra bile değişmeden kaldığını gözlemlemişlerdir. Diğer taraftan, Choudhary (2015)'e göre bu çalışmadaki testler yalnızca aşındırıcı parçacıklardan daha düşük sertliğe sahip mermerler üzerinde EN 14157 standartlarına göre yapılmış olup, bu sonuçlar granit veya bazalt gibi daha sert malzemeler için farklılık gösterebilir.

Belirli bir uygulama için herhangi bir doğal taşın bazı özel gereksinimleri karşılaması gerekmektedir. Bu teknik özellikler veya ürün gereklilikleri temel olarak aşınma dayanımını üç kategoriye ayırır: (a) Aşınmaya karşı direnç, yani yaya trafiğine maruz kalan taşın direnci, (b) Esas olarak basınç dayanımına, eğilme dayanımına ve kırılma modülüne bağlı olan dış uygulanan yüklere karşı direnç, (c) Taşın farklı atmosferik koşullara (su emme, donma direnci ve tuz saldırısı vb.) direnme yeteneğidir. İnşaat sektöründe özel bir uygulama için herhangi bir doğal taşın seçiminde, bu özelliklere daha fazla odaklanılması gerekmektedir. Ancak, bu özellikler ve standart test yöntemlerinin kabul edilebilir değerleri farklı taş türleri için farklılaşmaktadır. Herhangi bir taşın çeşitli yükler altında uygunluğuna karar vermek için mekanik özelliklerinin belirlenmesi önemli bir husus olmaktadır. Bu çalışmada incelenen taşların petrografik değişkenleri ile mekanik dayanım özellikleri arasında statik olarak anlamlı bir ilişki bulunmuş olup, petrografik veri bilgisinin kayaların davranışlarını anlamada yardımcı olduğu da saptanmıştır (Yılmaz vd., 2011 ; Choudhary, 2015).

Yavuz vd. (2008) herhangi bir doğal kayanın kullanılabilirliğinin sadece estetik özelliklerine değil, aynı zamanda teknolojik özelliklerine de bağlı olduğunu görüşündedirler. Bir taşın boyutlu taş (yapı ve kaplama taşı) olarak kabul edilebilmesi için belirli niteliksel gereksinimleri karşılaması gerekmektedir. Boyutlu taşlar, büyük bloklar halinde çıkarılabilen ve daha sonra belirli bir uygulama için herhangi bir şekil ve

boyuta sahip veya boyut verilebilen doğal kayalardır. Mermerler, kireç taşları, travertenler; boyutlu taş olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde inşaat sektöründe araştırmalar ağırlıklı olarak doğal bir kayanın estetik ve teknolojik özelliklerini ne kadar süre koruyabileceği üzerine yoğunlaşmaktadır. Yüzeyinin, belirli bir atmosferik koşul, tarz veya amaç doğrultusunda önemli ve ayırt edici görünüm ve dayanıklılık özelliklerini ne kadar süre taşıyabileceği ve koruyabileceğidir. Bir taşın aşınma direnci, onun daha büyük kaplama, döşeme veya kaldırım uygulamalarına uygunluğunu belirlemek için önemli bir özelliktir. Genellikle sürtünme, darbe veya her ikisi de aşınmanın ana nedenidir. Yük ve hareket aşınmanın ana itici güçleridir. Mermerlerin yoğun yaya trafiği olan mekanların basamaklarına, döşemelerine, kaldırımlarına, yollara vb. karşı dayanıklılığı genellikle aşınma direnciyle belirlenir. Bu çalışmada yapılan regresyon analizi ile aşınma direnci ile kayaların yoğunluk, gözeneklilik, basınç dayanımı, sertlik, p-dalga hızı ve çekme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özellikleri arasında bir korelasyon kurulmaya çalışılmıştır. Aşınma direnci, yoğunluk ve gözeneklilik ile doğru orantılı olup, herhangi bir taşın yoğunluğu ve gözenekliliği yüksekse aşınma direncinin daha fazla olacaktır. Diğer taraftan ise P-dalga hızı, aşınma direnciyle ters orantılı olup bu da kayaların mineral bileşimine, yoğunluğuna ve gözenekliliğine bağlıdır. Aşınma direnci her zaman sertlikle birlikte artar, ancak artış Archard'ın önerdiği gibi her zaman doğrusal değildir. Basınç dayanımı ve çekme dayanımı aşınma direnci ile de doğru orantılıdır; bu da basınç dayanımı ne kadar yüksek olursa, aşınma oranının da o kadar düşük olacağı anlamına gelir. Buna göre aşınma direnci, sertliğin, basınç dayanımının, çekme dayanımının ve yoğunluğun bilinmesiyle görece hesaplanabilir (Choudhary, 2015).

Elalem ve Li (2001) bir test numunesinin hacim kaybı ile kayma hızı ve uygulanan yük arasındaki ilişkiyi önermişlerdir. Yükün artmasıyla aşınma kaybı artmaktadır. Malzemenin hacim kaybının uygulanan yük ile doğru orantılı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, tüm malzemeler genellikle sabit yükte ve kayma hızında test edilir. Ancak, aşınma karmaşık bir olaydır ve bir malzemedan diğerine farklılık gösterir ve tek bir yük testi metodolojisine güvenmek zordur. Farklı malzemeler, uygulanan yük ile aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkiye mutlaka uymadan, uygulanan yüke farklı tepkiler gösterir. Aşınma yükü ilişkisi aynı zamanda aşındırma diskinin sertliğine, kum akışına

ve kayma hızına da bağlı olabilir. Bu nedenle herhangi bir malzemenin aşınma davranışını belirlemek için dikkatli gözlemler yapmak gerekir. Tüm bu faktörler aşınma oranını aynı anda etkiler ve etkileri deneysel olarak ayıramaz. Elalaem vd'e göre yük arttıkça malzemenin hacim kaybı artar. Ancak bir malzemenin sertliği daha yüksekse, yük arttıkça hacim kaybı önce artar, daha sonra düzenli olarak yük arttıkça hacim kaybı azalır. Malzemenin sertliği arttıkça aşındırıcı parçacıkların hasarı da artar ve test malzemesini aşındırmada daha az etkili hale gelirler. Malzemenin sertliği aşındırıcı parçacıklara yakınsa, aşındırıcı parçacıkların yüzeyindeki pürüzler kırılacak ve daha az köşeli hale gelecek ve bu da aşınmayı daha da azaltacaktır (Choudhary, 2015).

Kuru tekerlek aşınma test cihazı, inşaat mühendisliğinde çeşitli uygulamalara yönelik inşaat malzemelerini sınıflandırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar sonuçları ile saha testleri arasında etkili bir korelasyon bulunmuştur. Test genellikle sabit yükler ve sabit hızlar altında yapılır, böylece her malzeme aynı koşullar altında değerlendirilir. ASTM'ye göre, malzemelerin farklı durumlardaki performansını kontrol etmek için bu tür testlerin sabit yük ve hızlarda yapılması gerekmektedir. Ancak, deneysel parametreler bazı malzemeler için uygun, diğerleri için uygun olmayabilir; bu yanıltıcı bilgilere yol açabilir (Ma vd., 2000 ; Choudhary, 2015).

Malzemenin aşınma davranışı uygulanan yüke, kayma hızına, aşındırıcı kuma ve aşındırıcı tane boyutu sınıflandırmasına göre değişir. Tekerlek aşınma testi sırasında bazı malzemeler, çok yüksek yük altında, uygulanan yük ile doğrusal ilişkiyi takip eden aşınma kaybı gösterir. Başlangıçta uygulanan yükteki küçük bir artış, temas gerilimini artıracığından aşınmayı artıracak ve bu da büyük yüzey hasarına neden olacaktır. Ancak, yükün daha da artmasıyla birlikte malzeme aşınması duruma göre artabilir veya azalabilir. Kayma hızı aşınmayı etkileyebilecek diğer bir parametredir, ancak malzemeye bağlıdır. Bazı malzeme aşınmaları hıza bağlı olarak değiştiğinden bazıları etkisiz kalır. Yüksek yükler veya yüksek kayma hızları, yüzey tabakasında malzemeyi güçlendirebilecek mikro yapı veya yapısal değişikliğe neden olabilir veya aşındırıcı kumun durumunda değişiklik olabilir. Yüksek yük ve yüksek kayma hızı koşullarında, kum yüzeyinde birçok hasar meydana gelebilir. Bu nedenle mekanik özellikleri birbirine yakın olan malzemeler sabit yük ve sabit kayma hızına göre sıralanırsa

yanıltıcı veriler ortaya çıkabilir. Yüksek hızlarda aşındırıcı parçacıklar büyük darbelere dayanamayabilir ve yüzey kırılması malzemeye daha az zarar verir (Trezona vd., 1999 ; Choudhary, 2015).

Karaca vd. (2012) herhangi bir doğal taşın yaya kaldırımı döşeme uygulamaları için uygunluğuna karar vermede ana testin aşınma direnci olduğunu öne sürmektedir. Bu nedenle aşınma direncinin belirlenmesi yapı ve inşaat sektörü için önemlidir. Aşınma direncinin belirlenmesine yönelik EN 14157 standardı, birçok Avrupa ülkesi için de ulusal bir standarttır. Bu çatı standart olup, Böhme aşınma (BA) testi, geniş tekerlek aşınması (WWA) testi ve Amsler aşınma testi (AAT) gibi üç test yöntemini içermekte olup, tüm bu testler yüksek gerilimli aşınma testidir. Bu çalışmada, BA ile WWA testi arasında varyans analizi (ANOVA) kullanılarak korelasyonlar incelenmiştir. Herhangi bir zemin malzemesi sadece estetik görünümü sağlaması yeterli olmayıp, aynı zamanda teknik özellikleri de karşılamalıdır. Bu, yoğun yaya trafiği olan yerler için çok önemli bir kriter olup alışveriş merkezleri, demiryolu platformları, insanların sıraya geçtiği alanlar vb. iki veya daha fazla taş malzemenin renk ve tasarım efektleri için bir arada kullanıldığı durumlarda aşınma direncinin belirlenmesi önemli bir kriter haline gelir. Bu durumda taşların aşınma direncinin aynı olması gerekir. EN 14157 standardında aynı döşeme alanlarında kullanılacak farklı tipteki taşlar için herhangi bir aşınma direnci değeri belirtilmemiştir. Taşların aşınma direnci, mekanik özelliklerinin ve benimsenen test yöntemlerinin bir fonksiyonudur. Taşların düşük gözenekliliği (<%1) aşınma direncinin bir göstergesi değildir, ancak yüksek aşınma direnci gözeneklilik arttıkça azalır. Aşınma direnci, basınç dayanımı (UCS) ile doğru orantılı, Brazilyan çekme dayanımı (BTS) ile ise daha az ilişkilidir. WWA yönteminin, zemin kaplamalarında sadece tek yönlü yaya trafiği akışını simüle etmesi ve 14 kg'lık karşı ağırlığın birim alanda oluşturduğu yük, deney-aşınma süresi boyunca sabit kalamaması gibi dezavantajları vardır. WWA testinin sonucunda kayaç yüzeyinde oluşan oluğun genişliği artar, bunun sonucunda taşın temas alanının artması nedeniyle aşınma direnci artar.

Marradi vd. (2008) aşınma direncinin belirlenmesine yönelik EN 14157 standardına bağlı olarak geniş tekerlek aşınması (WWA) test verilerine göre taşları

sınıflandırılmışlardır. Buna göre, düşük aşınmalı malzemeler: WWA 16 mm'den küçüktür, ortalama aşınma malzemeleri: WWA = 16–21 mm arasındadır ve yüksek aşınma direncine sahip malzemeler: WWA 21 mm'den büyüktür. Ancak, EN 14157 standardında, hammadde kaynaklarının bu tür bir sınıflandırma nedeniyle atıl kalmaması için, buna ilişkin bir sınıflama da özellikle yer almamaktadır. Marradi vd. (2008) İtalyan CNR standart test yöntemiyle Tribometre kullanılarak ölçülen aşınma direnci (Ru) ve gerçek yoğunluk yardımıyla, ASTM C241 Test sonuçlarını (Ha), EN 14157 (WWA) sonuçlarına dönüştürmek için bir eşitlik önermişlerdir. Buna göre; $WWA = 45,072/0,325Ha$ olup, $R^2=0,76$ 'dır. ASTM C241 test sonuçları doğrudan ölçülmemiş olup, bu dolaylı bir yaklaşımdır.

Kılıç ve Teymen (2008) aşınma direncinin mukavemet, mineraloji, kuvars yapısı ve içeriğinden etkilendiğini öne sürmektedirler. Aşınma kaybı; UCS, nokta yükü, P dalga hızı ve Schmidt Sertlik İndeksi ile ters orantılıdır. Onlara göre, sert kaya, gözenekli kayaya göre daha az hacim kaldırma özelliğine sahip olabilmektedir. Aşınma aşınması kaybı ile kayanın gözenekliliği arasında üstel bir ilişki vardır. UCS ve dolaylı çekme dayanımı (ITS) ile Shore sertlik indeksi, P-dalga hızı, nokta yük indeksi, gözeneklilik ve Schmidt sertlik indeksi gibi diğer özellikler arasında korelasyon da kurulabilir (Choudhary, 2015).

Metamorfizma derecesi taşın özellik değerini etkileyen ana faktördür ve metamorfizma seviyesi arttıkça taşların gerilme durumu, tane sıkışması, çimentolaşması ve kırılabilirliğinin da arttığını ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, kaya özelliklerinin değeri artarken hem dinamik hem de statik parçalanma artar. Bu nedenle herhangi bir taşın mühendislik performansını değerlendirmek için madencilik ve inşaat sektöründe kullanıldığında kayaların jeolojisini anlamak gerekmektedir (Abioye, 2015; Choudhary, 2015).

Kayaçlar için aşınma ve aşındırma işlemi göreceli bir kavram olup, bilakis doğaltaşların döşenme yerlerinde yayaların sürtünmesi sonucunda oluşacak aşınma miktarı, doğaltaşlarının ömürlerini tahmin etme de ve kullanılıp kullanılmamasına karar vermede önemli kriterlerdendir. Bu alanda daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle yoğun yaya trafiğine maruz kalan doğaltaşların aşınma miktarlarının

saptanmasına yönelik Avrupa Birliği (EN) ve Amerikan (ASTM) standart test yöntemlerinin yaygınca kullanıldığı göze çarpmaktadır. Ancak, bu iki ayrı test yönteminin birbirlerinden farklı olması da, elde edilen sonuçların karşılaştırılmaz olmasına neden olmaktadır. Her ne kadar Choudhary (2015) bu farklı test yöntemlerinin deneysel ve teorik olarak irdelenmesi üzerine bazı çalışmalar yürütmüş olsa da, halen bilim camiasında ve doğaltaş sektöründe bu iki yöntemi çok sayıda farklı kökene sahip doğaltaşlar üzerinde araştıran ve iki farklı test yöntemi arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bilimsel bir çalışma ve yayının bulunmadığı görülmektedir.

Bu tez çalışması ile hem bu alandaki bilimsel boşluk doldurulacak hem de doğaltaş sektöründe halen bir test yöntemine ait sonucun diğerine yaklaşık olarak dönüştürülmesi ile çıkan sonuçlarda kullanıcılara yol gösterici olacaktır. Yani bu çalışma yalnızca Türkiye’de değil, evrensel olarak hem bilimsel hem de sektörel anlamda çok önemli bir boşluğu doldurmuş olacak, gereksiz yere test yapma, buna bağlı zaman ve para kaybını da önleyecektir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde deneylerde kullanılan magmatik ve karbonat kökenli kayaç numunelerinin türü, kökeni, fiziksel, fiziko-mekanik, sertlik gibi özelliklerinin tanımlanması için, numunelere uygulanan deneyler ve EN ile ASTM aşınma dayanımı deney yöntemleriyle ilgili bilgiler aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmektedir.

3.1 Deneylerde Kullanılan Magmatik Kökenli Kayaç Numuneleri

Bu çalışma kapsamında petrografik tanımlamaları yapılan magmatik kökenli sert kayaç grubuna dâhil toplam 7 adet farklı kayaç örneklenmiş olup bunların isimleri, türleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Magmatik kayaçların türleri

Kod	Kayaç Türü	Köken
I1	Siyenogranit	Magmatik
I2	Siyenit	Plutonik
I3	Granit	Plutonik
I4	Bazalt	Volkanik
I5	Nefelin Siyenit	Magmatik
I6	Bazalt	Volkanik
I7	Bazalt	Volkanik

3.2 Deneylerde Kullanılan Karbonat Kökenli Kayaç Numuneleri

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de çıkarılan farklı fiziko-mekanik ve sertlik özelliklere sahip olan karbonat kökenli 7 farklı doğaltaş kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan karbonat kökenli doğaltaş kayaçların kodları, türleri Çizelge3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Karbonatlı kayaçların türleri

Kod	Kayaç Türü
M1	Mermer
M2	Mermer
L1	Kireçtaşı
L2	Kireçtaşı
L3	Kireçtaşı
T1	Traverten
T2	Traverten

3.3. Deneylerde Kullanılan Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

Bu çalışmada magmatik ve karbonat kökenli bazı kayaçların karakterizasyonu için yapılan testler ve ilgili standartları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Kayaçlara uygulanan testler ve standartları

Test	Standart
Tek Eksenli Basınç Dayanımı tayini	TS-EN 1926
Eğilme Dayanımı tayini	TS-EN 13161
Atmosfer Basıncında Su Emme tayini	TS-EN 13755
Aşınma direnci tayini	EN 14157-ASTM C241
Özgül kütle tayini	ASTM D5550-06- ASTM C97
Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik, birim hacim ağırlık tayini	EN 1936- ASTM C97
Shore sertlik indeksi	ISRM (2007)
CAI	ASTM D7625-22

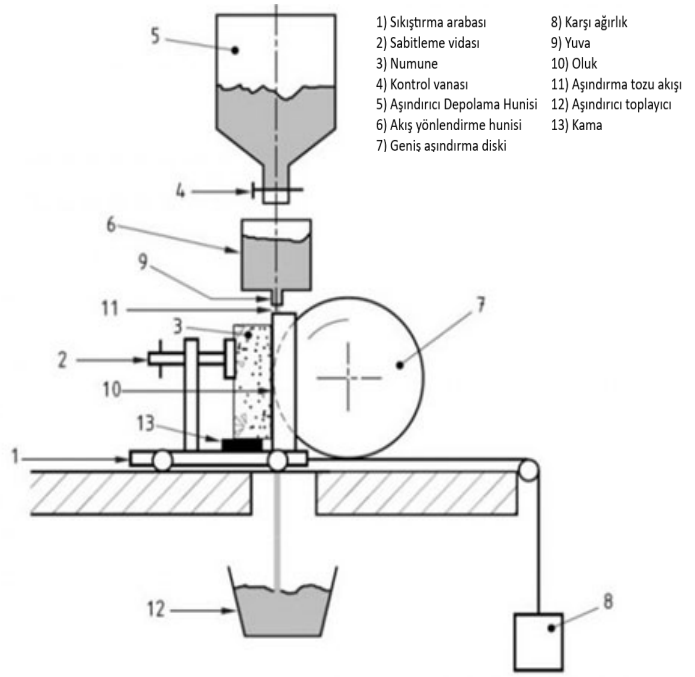
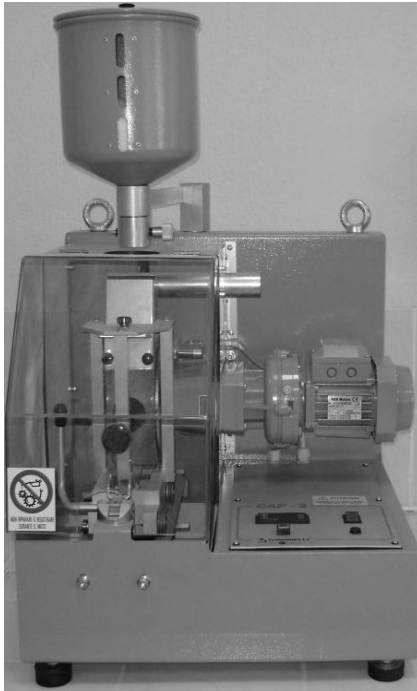
3.4. Örneklenen Kayaçlarda Yapılan Aşındırma Testlerin Tanıtımı

Doğaltaşların kullanım yerlerini saptamada ve uygulamada doğru seçim yapmada büyük öneme sahip olan, EN-14157 ve ASTM C-241 Aşınma Dayanımının Tayini deneylerinin tanıtılarak, dikkat edilecek hususlar, iki deney yöntemi arasında farklar aşağıda verilmiştir.

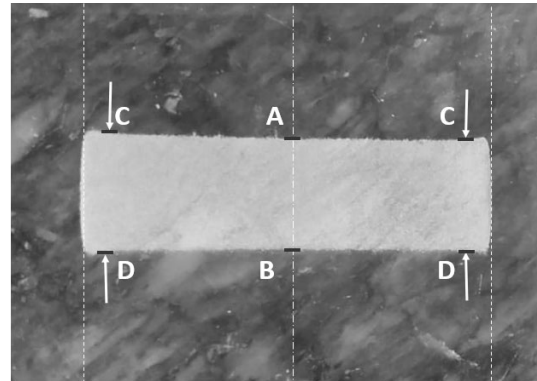
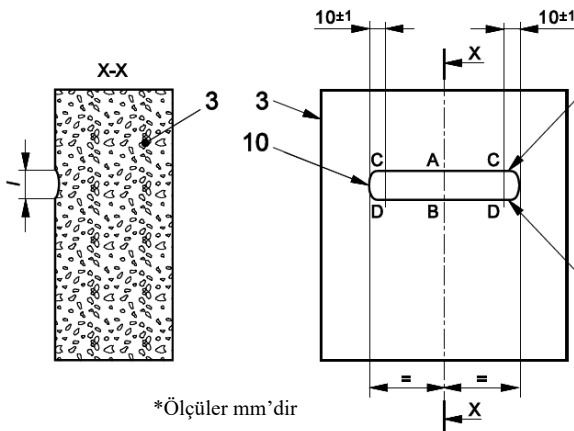
3.4.1 EN-Aşınma Direnci Tayini (EN-14157)

Bu aşındırma deneyi TS EN-14157 Madde 3' e göre yapılmaktadır. Cihazın yapısı ve deneyin uygulaması şöyledir; Düşey konumdaki bir hazneye, FEPA-80 Mesh'lik ergimiş alümina(kuru) aşındırıcı malzeme ile doldurularak, taş numunenin üzerine konulduğu sıkıştırma arabası geniş aşındırma diskinden geri çekilir. Geniş aşındırma diski düşey konumda yerleştirilmiş olup EN-10025'e göre Fe 690 çeliğinden imal edilmiştir. Çeliğin sertliği, 203 HB ile 245 HB arasında ve diskin çapı (200 ± 1) mm, genişliği ise (70 ± 1) mm olmalıdır. Disk, (60 ± 3) saniyede 75devir yapacak şekilde tahrik edilir. Numunenin herhangi bir kenarından en az 15mm mesafede olacak şekilde bir sıkıştırma arabası üzerine konumlandırılır ve alt bölüme aşındırıcı geçişini

sağlayacak şekilde, numune bir takoz üzerine sabitlenir. Aşındırma diskinin altına aşındırıcı tozu toplayıcı bir hazne yerleştirilir. Numune, aşındırma disk ile temas haline getirilir. Aşındırıcı tozun akması için kontrol vanası açılır ve geniş aşındırma disk eş zamanlı olarak çalıştırılır. Deney esnasında aşındırıcı malzemenin akış sürekliliği gözle kontrol edilir. Diskin 75 devrinden sonra, aşındırıcı akışı ve disk tamamen durdurulur. Mümkünse, her bir numune üzerinde iki deney gerçekleştirilmiştir. Aşındırma deneyi için kullanılan cihaz özellikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 3.1-3.2).



Şekil.3.1 Dikey Aşındırma Cihazı (EN-14157:2017).



Şekil 3.2 Aşınma oluşunu gösteren test edilmiş bir numune örneği

3.4.2 ASTM C241 Aşınma Direnci Tayini Deneyi

Bu aşındırma deneyi Amerikan ASTM C241:21 test yöntemine göre yapılmaktadır. Deneyde; 50×50×25 ebadındaki 3 adet numune, yatay düzlemde dönen ve çapı 25,4 mm olan çelik disk üzerine düşen FEPA-60 gridlik beyaz ergimiş alümina aşındırıcı toz yardımıyla aşındırılır. Aşındırma diski yatay düzlemde dakikada 45 devire dönecek şekilde ayarlanmıştır ve her numunenin üzerine 20 N'luk dikey bir yük uygulanmaktadır. Numune 5 dakika boyunca 225 devir döndürülür. Aşınma direncini belirlemek için numunenin testten önceki ve sonraki ağırlıkları ölçülür. Her bir numunenin aşınma direncini belirlemek için öncelikle kütle özgül ağırlıkları ASTM C97:09 standardına göre de belirlenir. ASTM C241:21'de “bu tozu üreten firmanın (NORTON Treatment 138S) yeni ürünlerinin (Norton 3001 60 Grid 38a) daha aşındırıcı olduğu ve eskilerine göre daha düşük sonuçlar elde edileceğinden, karşılaştırılmalarında dikkatli olunması” önerilmektedir. Bu nedenle, güncel standartta yeni sonuçlar normalizasyon katsayısı (1,095) ile eskilere uyumlu hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu tez çalışmasında ise aranan standart özelliklere sahip Macaristan menşeli “HUNGAKOR EKF” marka 60 Grid beyaz ergimiş alümina toz aşındırıcı kullanılmıştır. Bu yöntemde Aşınma Direnci (Ha),

$$Ha = 10,95G (2000 + Ws) / 2000Wa \quad (3.1)$$

formülüne göre hesaplanır.

Ha: her numunenin aşınma direnci (birimsiz);

G: Özgül ağırlık (g/cm³);

Ws: Her numunenin ortalama ağırlığı (orijinal ağırlık + nihai ağırlık / 2) yani $W1+W2/2$ (g)

Wa: Öğütme işlemi sırasında ağırlık kaybı, yani $W1-W2$ (g)'dir.

Aşağıda ASTM C241 test yönteminde kullanılan cihaz görülmektedir (Şekil.3.3).



- A-Taşlama Diski
- B- Numune Tutucu (x3)
- C-Dişliler
- D-Ağırlık Başlığı(x3)
- E-Birleştirici Çerçeve
- F-Mil Tutucu (x8)
- G-Aşındırıcı Toz Besleyici
- H-Toz Toplama Kutusu

Şekil 3.3. ASTM C241 Aşınma test cihazı ve parçaları

ASTM C241:21 Aşınma Dayanımı testi sonucunda; ASTM C503:15 Mermerler İçin Gereklikler standardına göre hakiki mermerler için aşınma dayanımı (H_a) 10 veya daha fazla olanlar iç mekanlarda döşeme amacıyla kullanılabilirken, ticari mekanlar, merdiven basamakları, platformlar, dış alanlar gibi yoğun yaya trafiğinin olduğu mekanlarda ise H_a değerinin 12 veya daha fazla olması gerekir.

3.4.3 EN 14157 ve ASTM C241 Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yukarıda genel hatları ile EN 14157 ve ASTM C241 Aşınma Dayanımı Test yöntemleri verilmiş olup, görüldüğü gibi 2 farklı cihaz ve uygulama yöntemi bulunmaktadır. Söz konusu iki yöntem arasındaki farklılıkların daha iyi anlaşılması için, yöntemlere ait parametreler Çizelge 3.4'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.4 incelendiğinde; EN 14157'de 80 Grit (0,18mm) aşındırıcı toz 1dk süreyle taş ve düşey çelik disk arasına düşerek aşındırma süreci gelişmekte ve aşınma miktarını belirlemek için taş yüzeyinde oluşan düşey oyukun genişliği ölçülmekte (mm), ASTM C241'de ise 60 Grit (0,25mm) aşındırıcı toz 5 dk süre boyunca taş ve yatay çelik disk arasına düşmektedir ve aşınma miktarını belirlemek için taşın kütleli kaybı dikkate alınmaktadır.

Çizelge 3.4 EN 14157 ve ASTM C241 Aşınma Dayanımı Test Yöntemlerinin karşılaştırması

Özellik	EN 14157	ASTM C241
Disk Çapı	200 ± 1 mm	254 mm
Disk Sertliği	203-245HB	N/A (???)
Disk Genişliği	70 ± 1 mm	15 mm
Disk Konumu	Düşey	Yatay
Disk Dönüş Hızı	75' d/dk (±3 s)	45 d/dk
Deney Süresi	60 s	300 s (225 devir)
Numune Baskı Yüğü	14000 ± 10 g	2000 g
Numune Ölçüleri	100 x 70 x 20 mm	50 x 50 x 25 mm
Aşındırıcı Toz	Beyaz Ergimiş Alümina (Korund)	Beyaz Ergimiş Alümina (Korund)
Aşındırıcı Toz Tane Boyutu	FEPA 80 Mesh	FEPA 60 Mesh (Norton Treatment 138 S/ Norton 3001 60 Grit 38a)
Aşındırıcı Akış Hızı	>2,5 lt/dk	N/A (???)
Aşınma Ölçümü	Aşınan yüzeyin oyuk genişliği (mm)	Kütlesel kayıp (g)

Görülmektedir ki ASTM C241'de daha iri boyutlu aşındırma tozu 5 kat fazla süre ile taş ve çelik disk yüzeyi arasına girmekte, taşın temas yüzeyinin yüksekliği boyunca aşındırma süreci eşit düzeyde gerçekleşmektedir. Ancak, standartta aşındırıcı toz akış miktarının ve aşınma diskinin yüzey sertliğinin verilmemiş olması önemli belirsizliktir. Ayrıca, aşınma tozunun (Norton 3001 60 Grit 38a) temin edilmesi oldukça zordur ve eski üretim ile yeni üretim aşındırma tozlarının aşındırma etkisinin değiştiği standartta açıkça verilmektedir. Diğer taraftan, temin edilebilecek farklı marka aşındırma tozları arasında da aynı etkinin olabileceği öngörülmektedir. Bu tez çalışmasında hem EN 14157 hem de ASTM C241 Aşınma Dayanımı testlerinde aynı firma tarafından üretilen standart aşındırıcı toz kullanılmış ve kendi aralarında bir karşılaştırma yapıldığından kendi içinde tutarlıdırlar.

EN 14157'de ise kayacın diske temas yüzeyi en başta teğetsel temastan dolayı dar iken, kayacın sertliğine ve porozitesine de bağlı deney boyunca zamanla artmakta ve diske bastırma-temas yüzeyi birim alanda sürekli değişken olmakta, birim yüzeye baskı kuvveti de zamanla azalmaktadır. Özellikle sert yüzeye sahip kayalarla kayacın içerisine doğru aşınma süreci gelişmemekte (ilerleyememekte) bu da kayaç hacminin çok az bir kısmını temsil etmektedir. Her iki deney yöntemi de yalnızca kendi içlerinde

karşılaştırılmaları mümkün olmaktadır, deney yöntemlerinin ve sonuçlarının birbirlerinden tamamen farklı oluşlarından dolayı karşılaştırılmaları imkansızdır.

3.5. Örneklenen Kayaçların Özellikleri

Örneklenen magmatik kökenli kayaçlara ait bazı fiziksel, fiziko-mekanik, sertlik ve aşındırıcılık özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Ayrıca, karbonat kökenli kayaç grubuna dâhil toplam 7 adet farklı kayaç örneklenmiş olup, bunların fiziksel, fiziko-mekanik, sertlik ve aşındırıcılık test sonuçları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Örneklenen magmatik kayaçlara ait fiziksel ve fiziko-mekanik, aşınma özellikleri

Kod	UCS* (MPa)	BS* (MPa)	Yoğunluk (g/cm ³)	Toplam Porozite (%)	Su Emme (%)	Açık Gözeneklilik (%)	CAI*	HS*	EN AD (mm)	ASTM AD
I1	190	9,26	2,63	1,87	0,1	0,22	2,73	92,08	13,32	56,8
I2	189	17,96	2,64	1,55	0,2	0,3	3,43	87,97	12,01	55,11
I3	186	8,13	2,62	3,25	0,23	0,68	2,69	86,71	12,12	42,75
I4	181	21,92	2,66	13,13	0,82	1,99	2,49	67,81	15,08	29,53
I5	176	10,1	2,46	9,65	1,11	2,37	3,24	86,44	13,92	34,35
I6	173	15,4	2,44	18,22	1,9	4,29	2,76	48,77	14,31	20,7
I7	162	24,3	2,66	12,57	0,8	2,14	2,88	53,96	17,66	22,35

*Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS), Eğilme Dayanımı (BS), Cerchar Aşınma İndeksi (CAI), Shore Sertlik İndeksi (HS), EN Aşınma Dayanımı (AD), ASTM Aşınma Dayanımı (AD)

Çizelge 3.6. Örneklenen karbonat kökenli kayaçlara ait fiziksel ve fiziko-mekanik, aşınma özellikleri

Tür	Kod	UCS (MPa)	BS (MPa)	Yoğunluk (g/cm ³)	Toplam Porozite (%)	Su Emme (%)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	CAI	HS	EN AD (mm)	ASTM AD
Kireçtaşı	L1	173	11,4	2,88	6,21	0,33	2,7	1,27	60,16	14,83	24,02
	L2	167	11,8	2,89	5,24	0,58	2,74	1,22	50,95	16,02	20,48
	L3	156	16,6	2,75	1,62	0,58	2,66	1,1	54,99	17,21	16,74
Mermer	M1	100	13,8	2,73	1,81	0,14	2,68	0,9	45,20	19,25	11,22
	M2	74	7,5	2,75	2,51	0,1	2,67	0,98	43,95	19,11	9,24
Traverten	T1	82	13,2	2,76	13,81	1,89	2,38	0,76	43,79	18,81	7,29
	T2	45	5,1	2,66	7,48	1,35	2,46	0,87	60,15	20,71	6,88

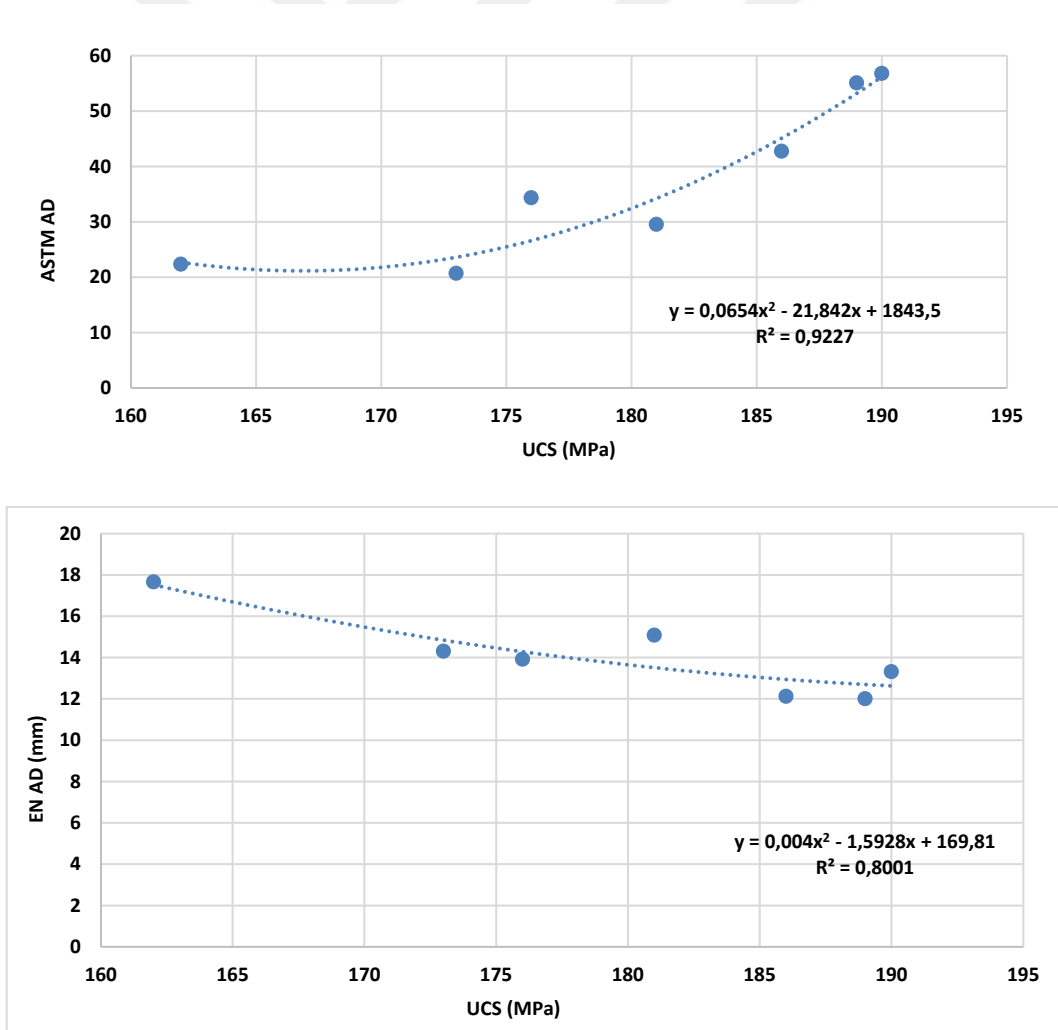
*Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS), Eğilme Dayanımı (BS), Cerchar Aşınma İndeksi (CAI), Shore Sertlik İndeksi (HS), EN Aşınma Dayanımı (AD), ASTM Aşınma Dayanımı (AD),

4. BULGULAR

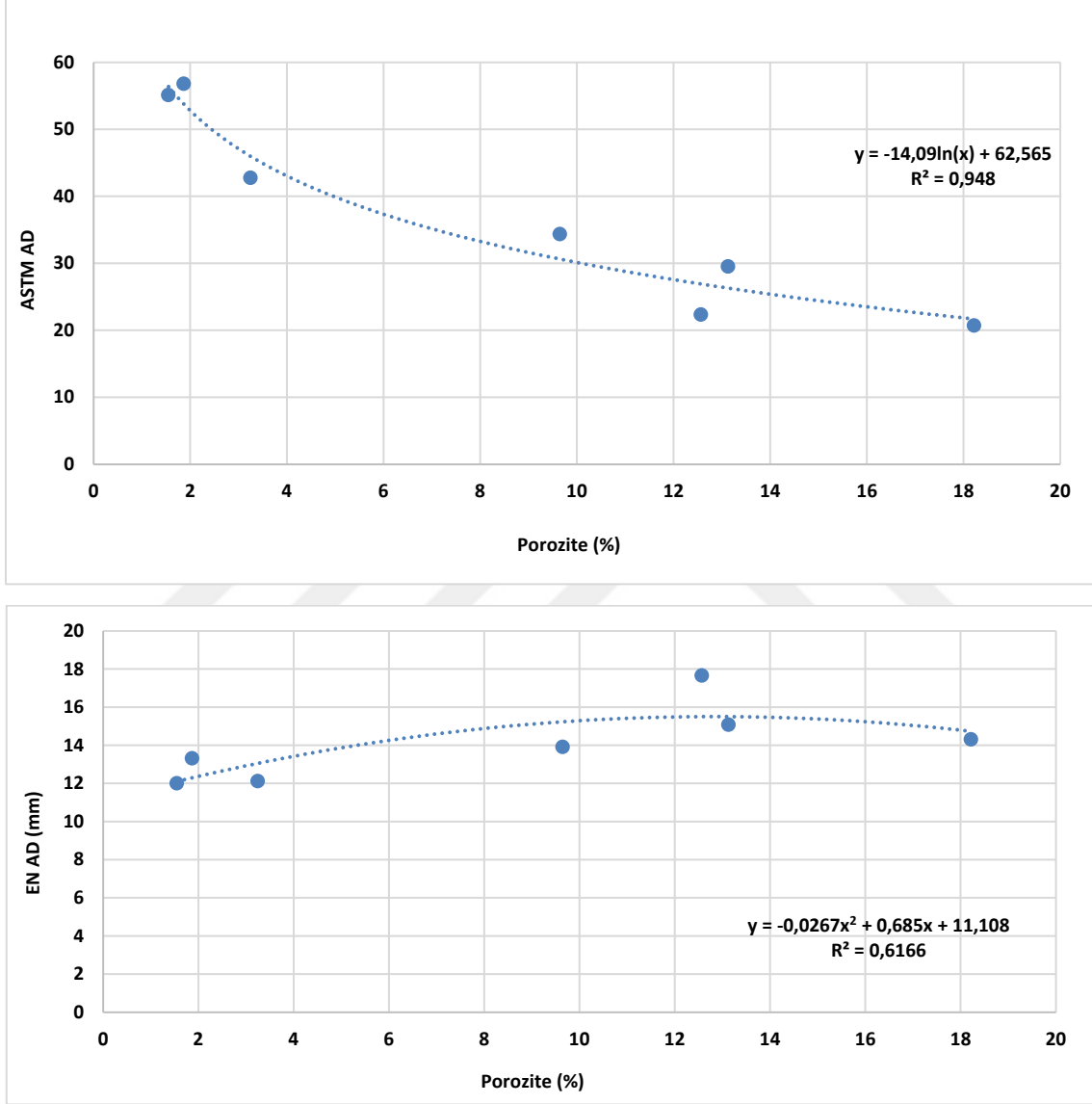
Bu bölümde, örneklenen kayaçlar üzerinde yapılan EN ve ASTM Aşınma Dayanımı test sonuçları ile kayaçların fiziksel, fiziko-mekanik, sertlik özellikleri arasındaki en yüksek korelasyona sahip olan bazıları seçilerek aşağıda sırasıyla verilmiştir.

4.1 EN-ASTM Aşınma Dayanımları (AD) ile Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişkiler

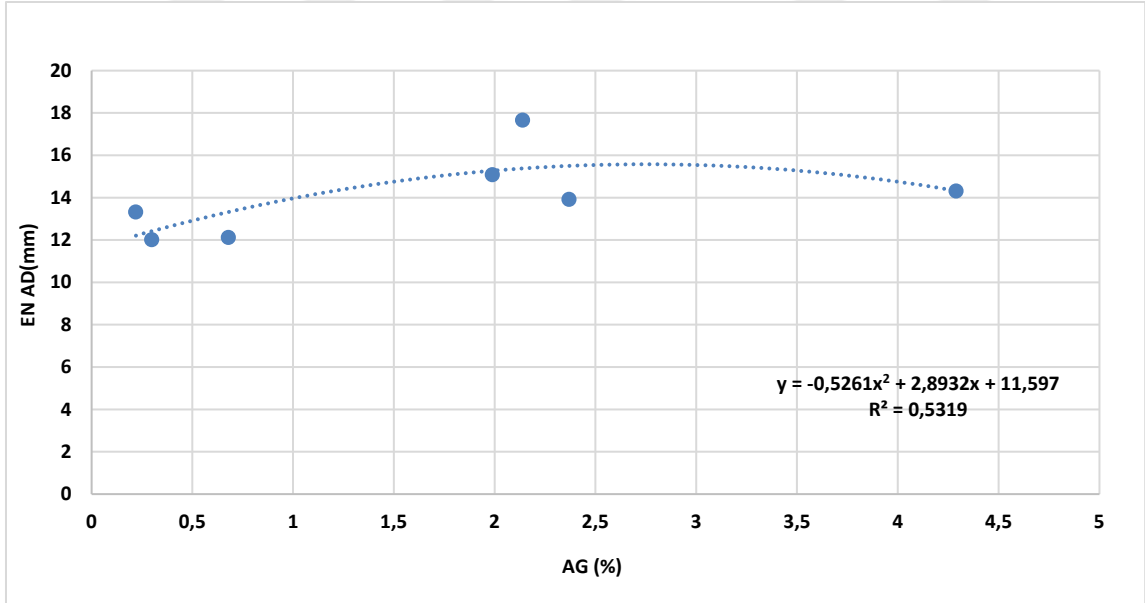
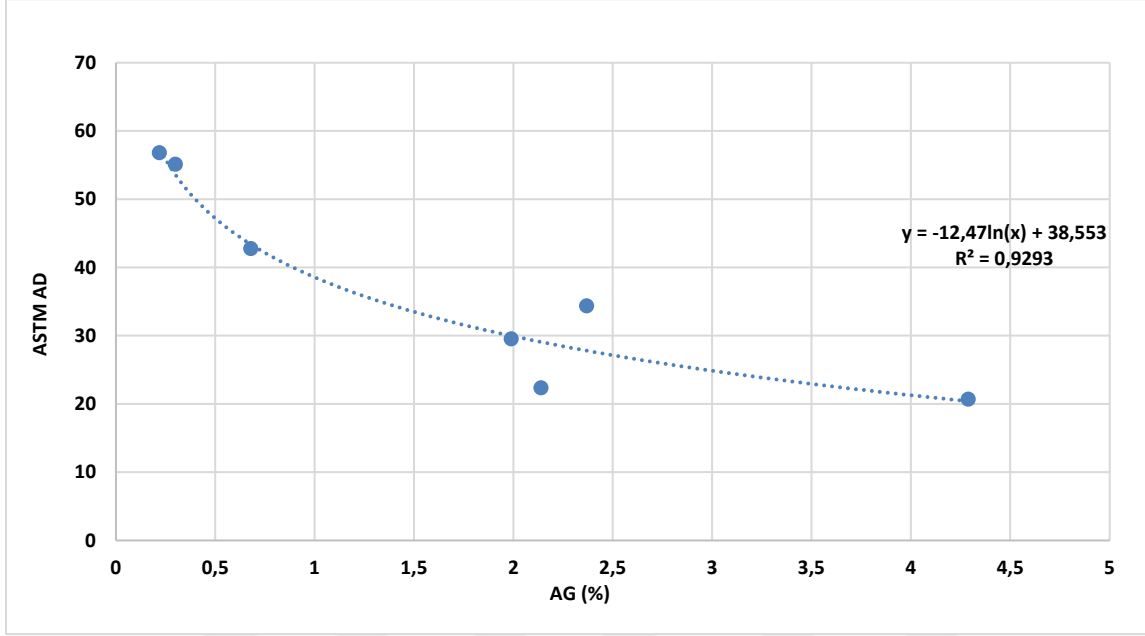
Deneylerde kullanılan kayaçların fiziksel, fiziko-mekanik, sertlik özellikleri ile EN-ASTM Aşınma Dayanımı (AD) değerleri arasındaki ilişkiler incelenerek, magmatik, karbonatlı ve tüm kayaçlar için en iyi korelasyon verenlerden bazıları seçilmiş ve Şekil 4.1-4.13'te verilmiştir.



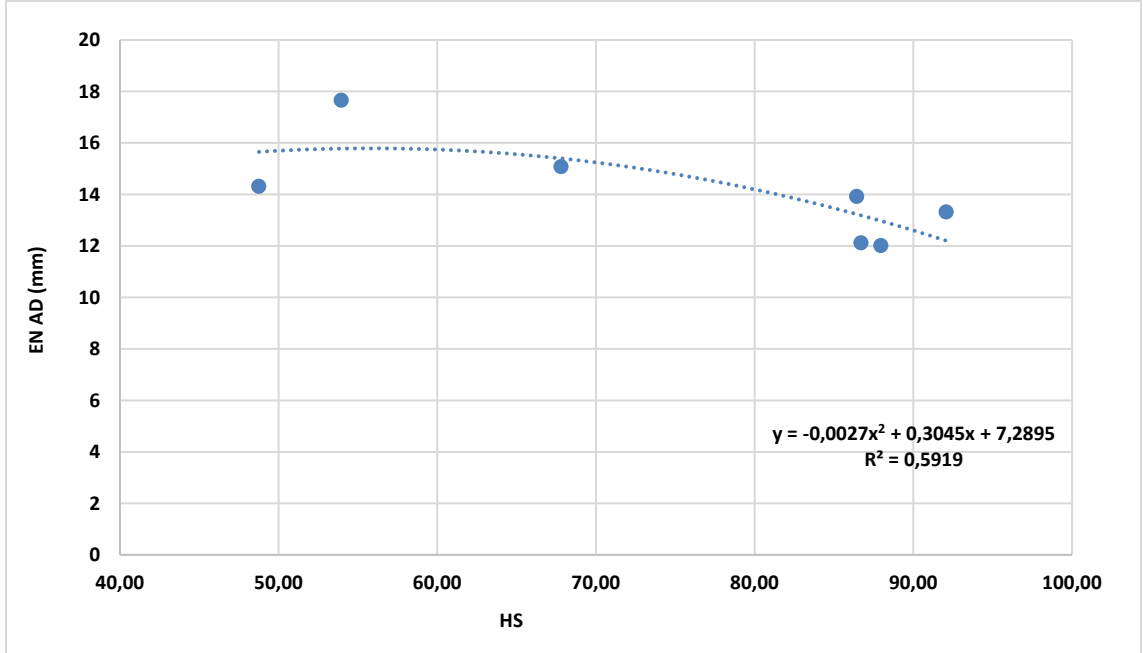
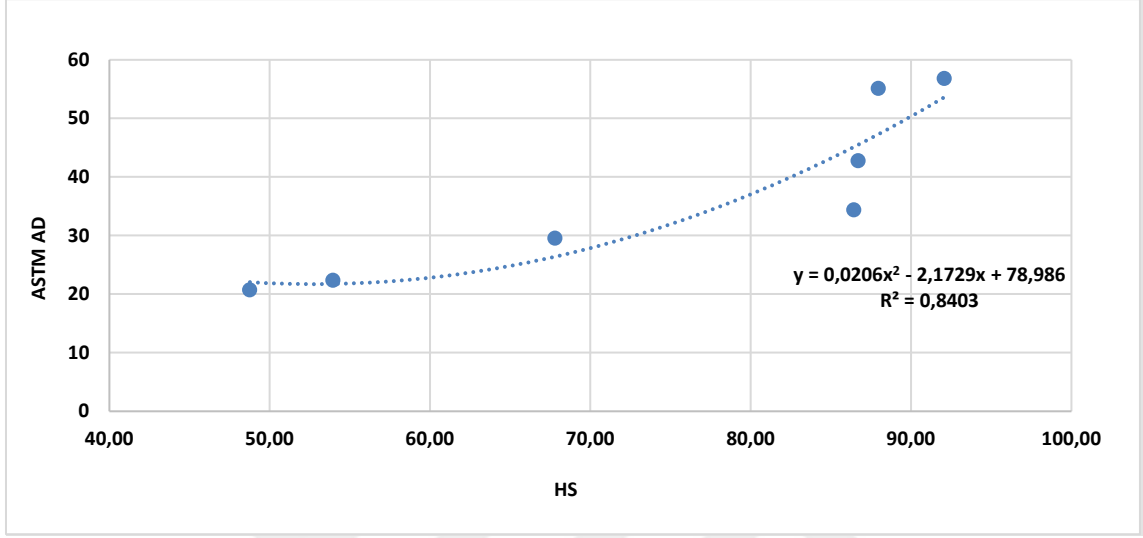
Şekil 4.1 Magmatik kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile UCS arasındaki ilişkiler



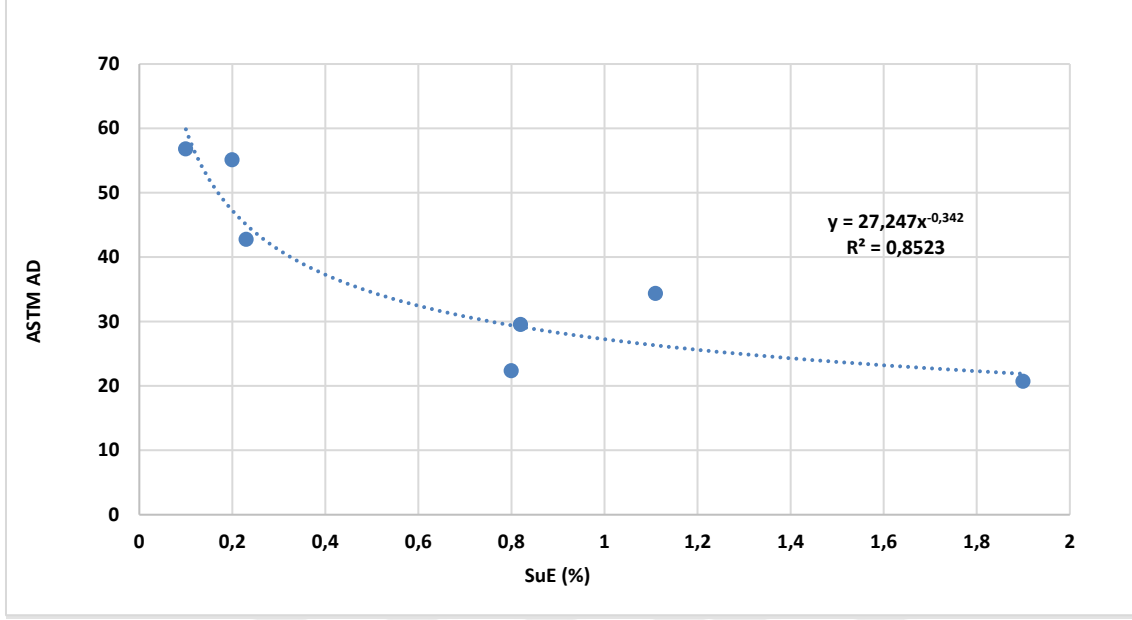
Şekil 4.2 Magmatik kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile Porozite arasındaki ilişkiler



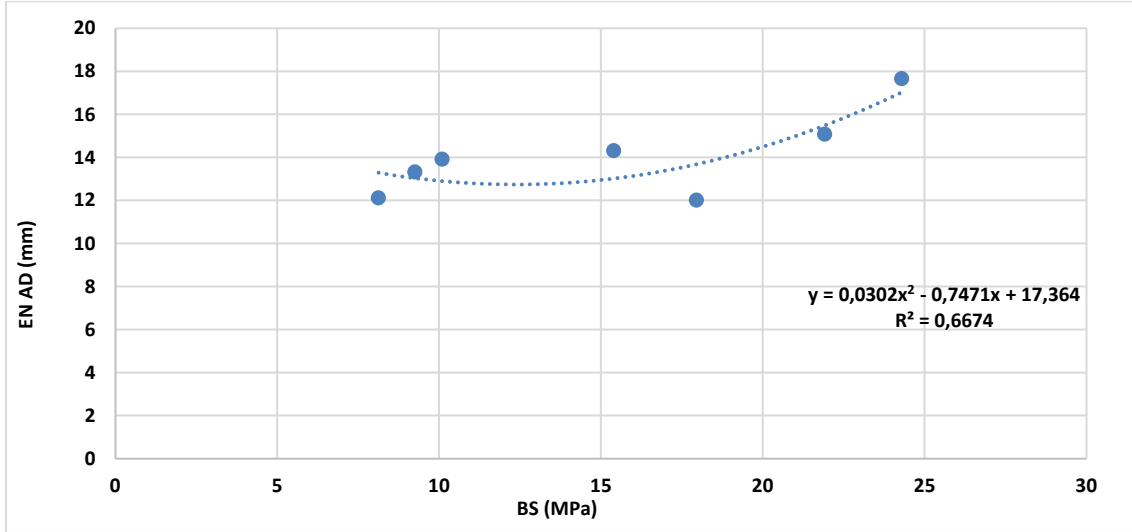
Şekil 4.3 Magmatik kayaların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile Açık Gözeneklilik (AG) arasındaki ilişkiler



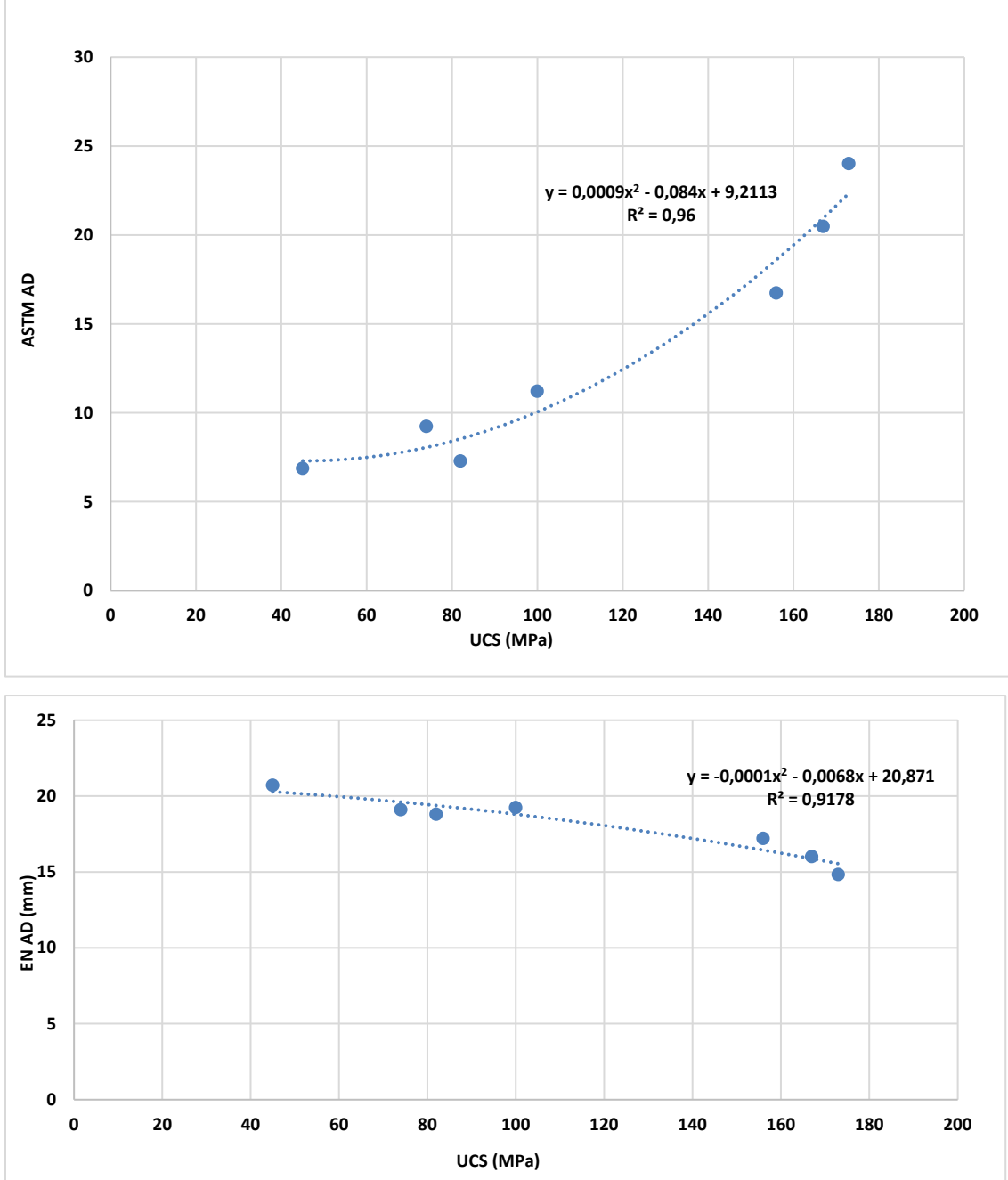
Şekil 4.4 Magmatik kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile Shore Sertlik İndeksi (HS) arasındaki ilişkiler



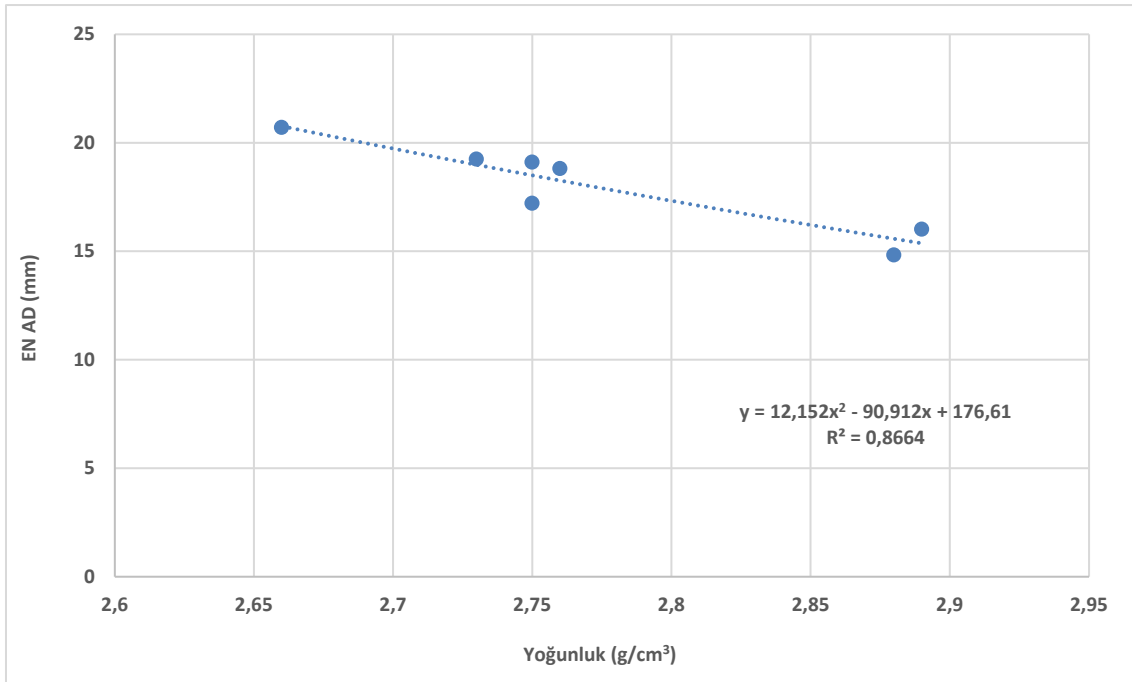
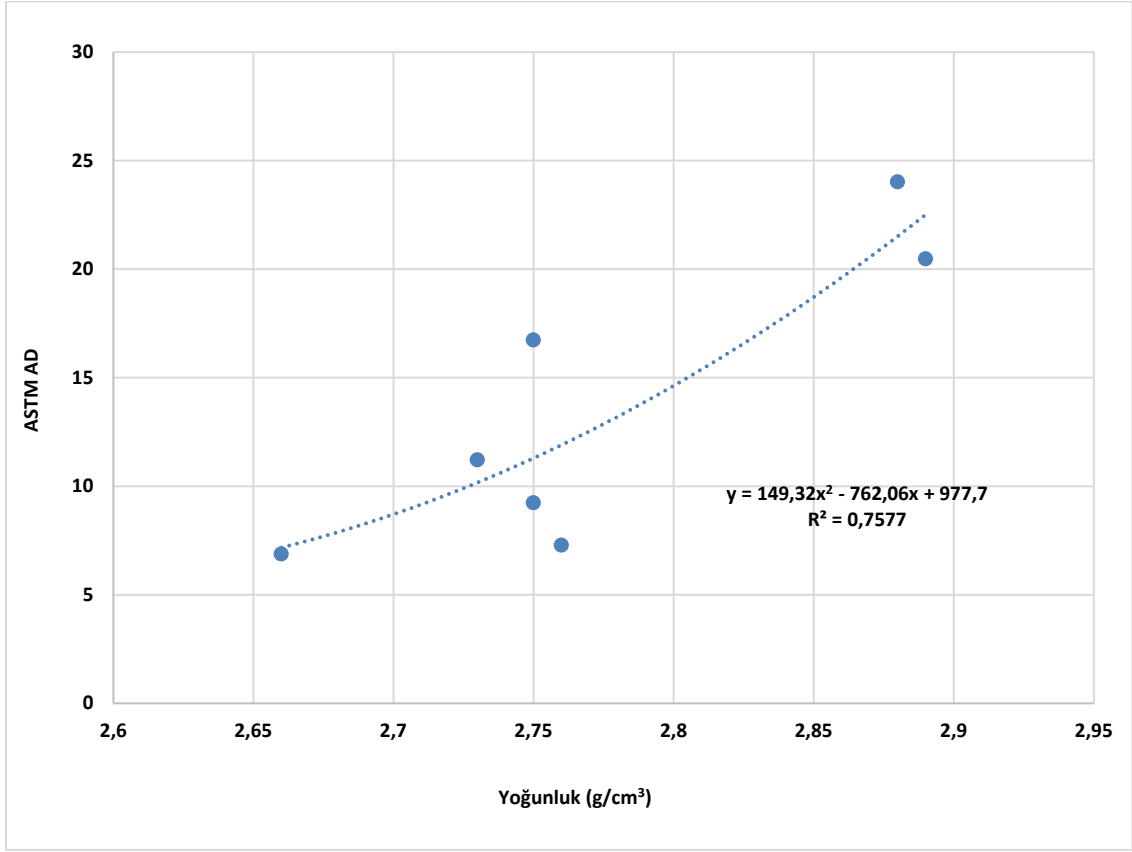
Şekil 4.5 Magmatik kayaçların ASTM Aşınma Dayanımı (AD) ile Su Emme arasındaki ilişkiler



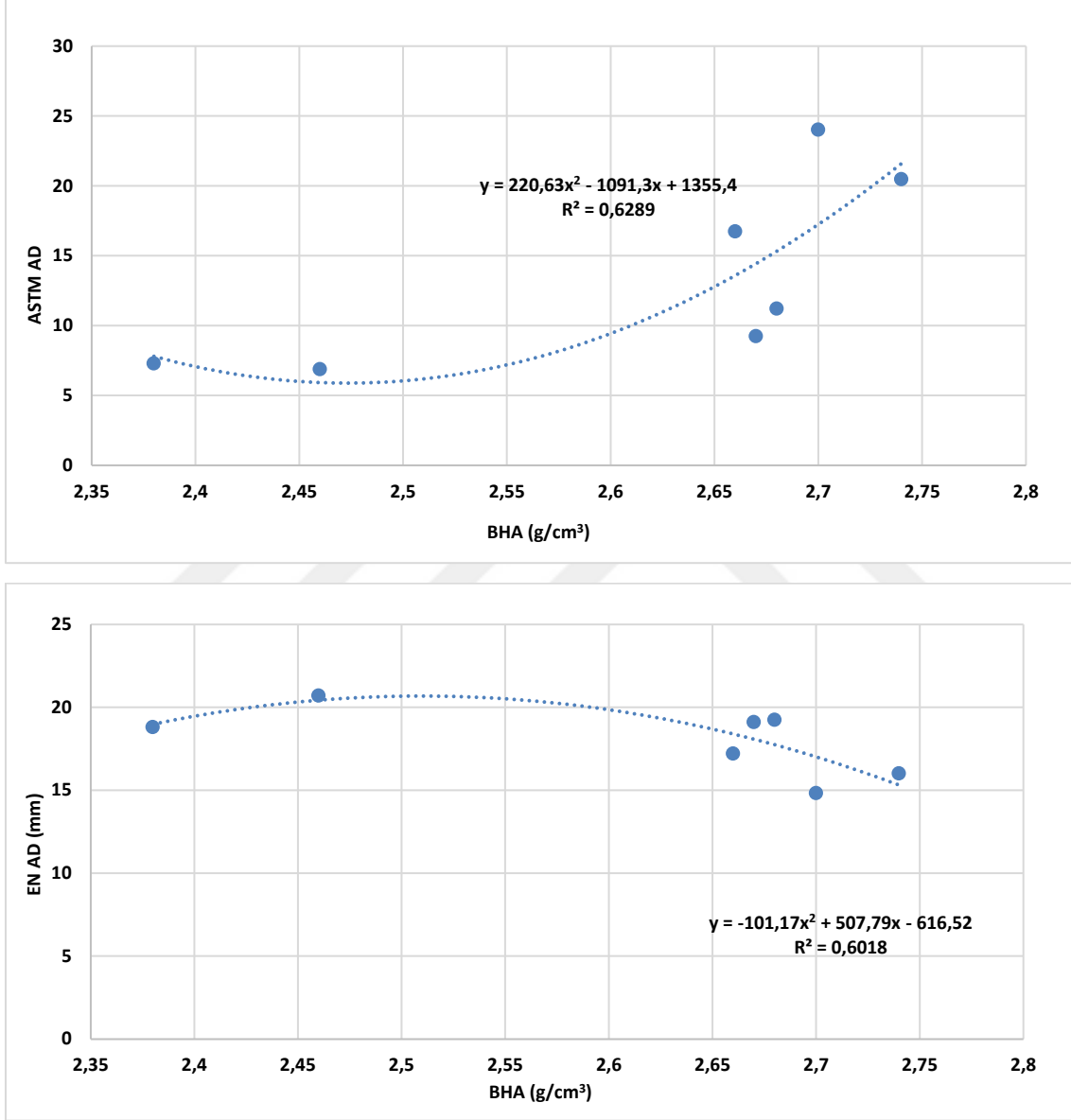
Şekil 4.6 Magmatik kayaçların EN Aşınma Dayanımı (AD) ile Eğilme Dayanımı (BS) arasındaki ilişkiler



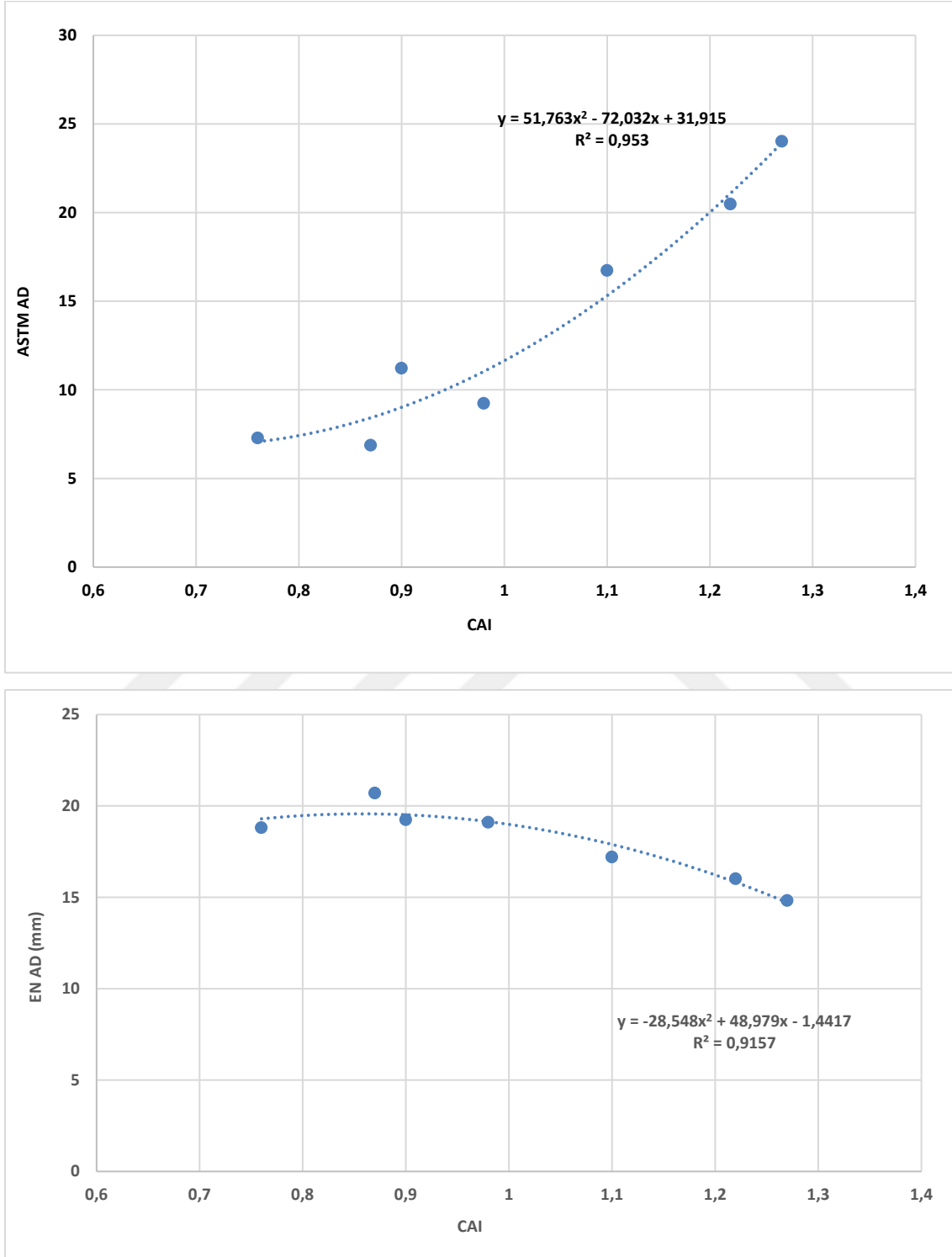
Şekil 4.7 Karbonatlı kayaların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile UCS arasındaki ilişkiler



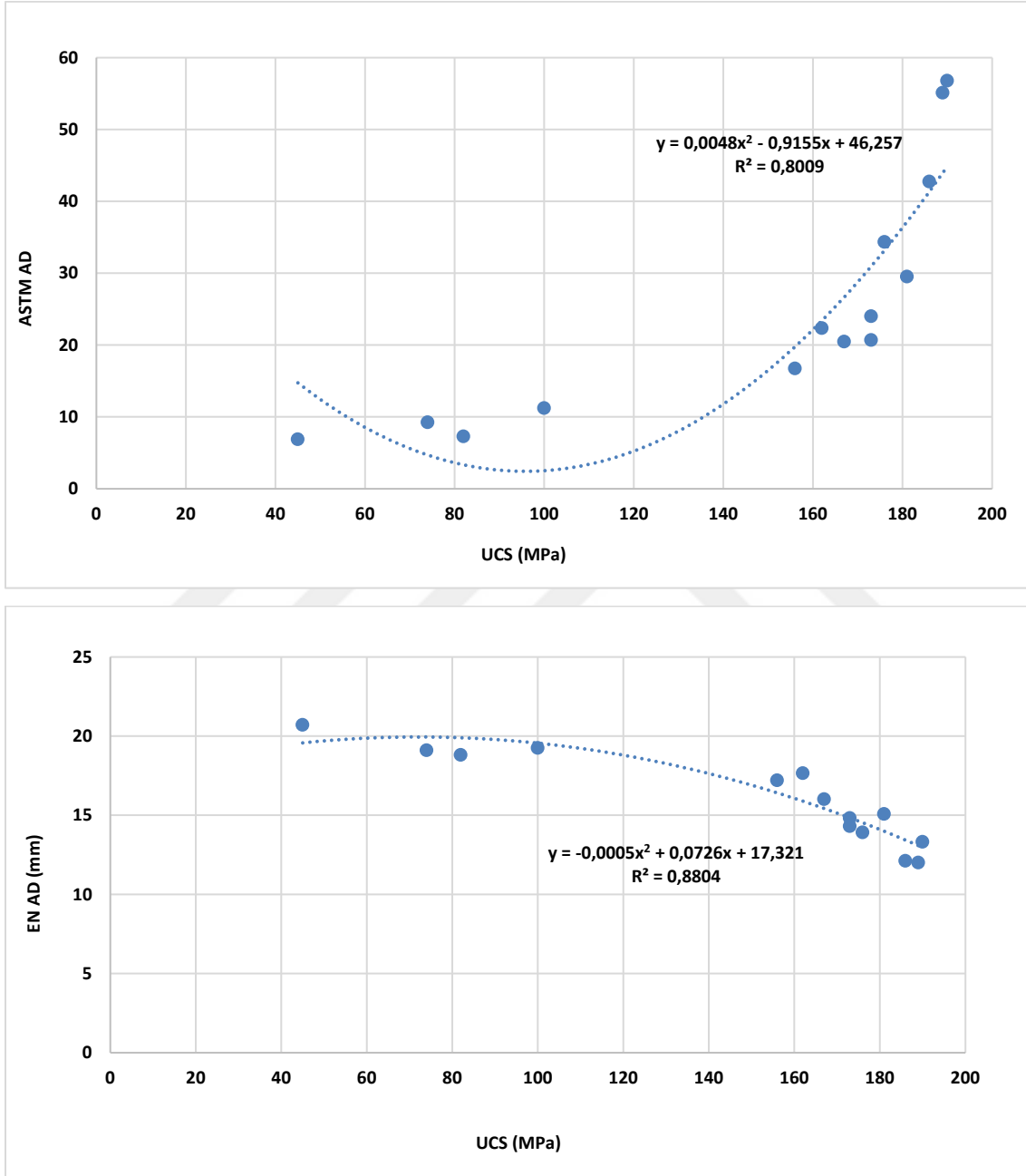
Şekil 4.8 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile Yoğunluk arasındaki ilişkiler



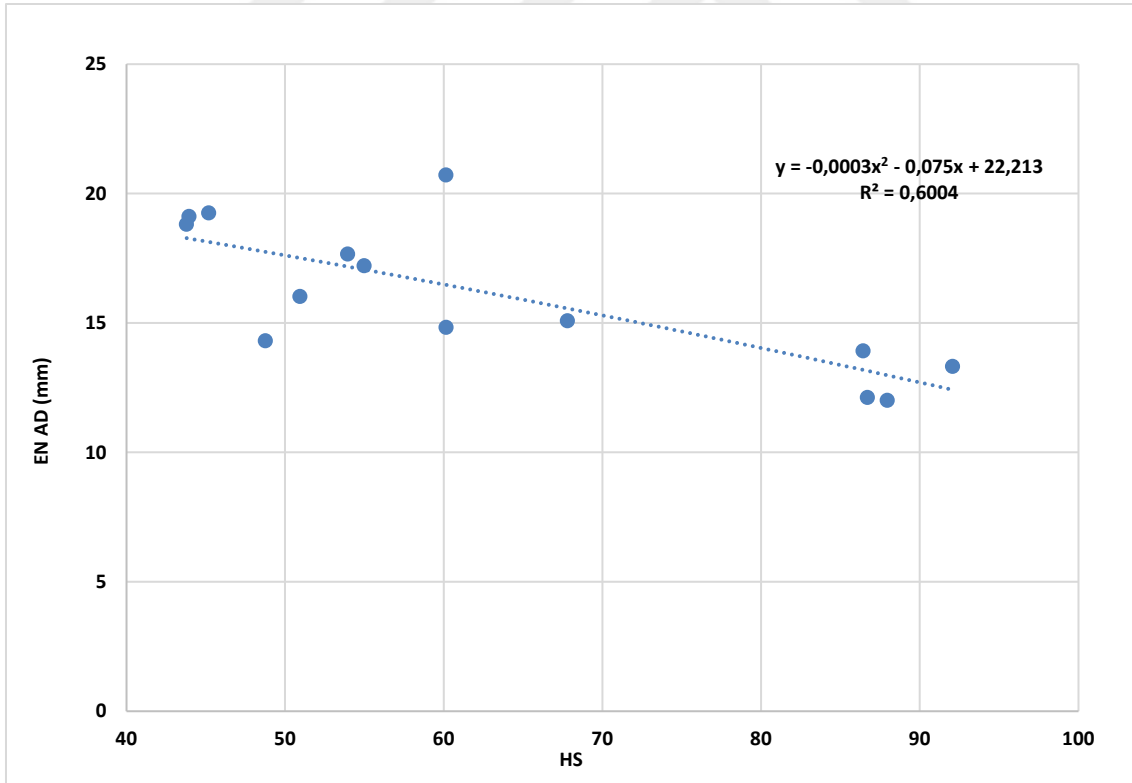
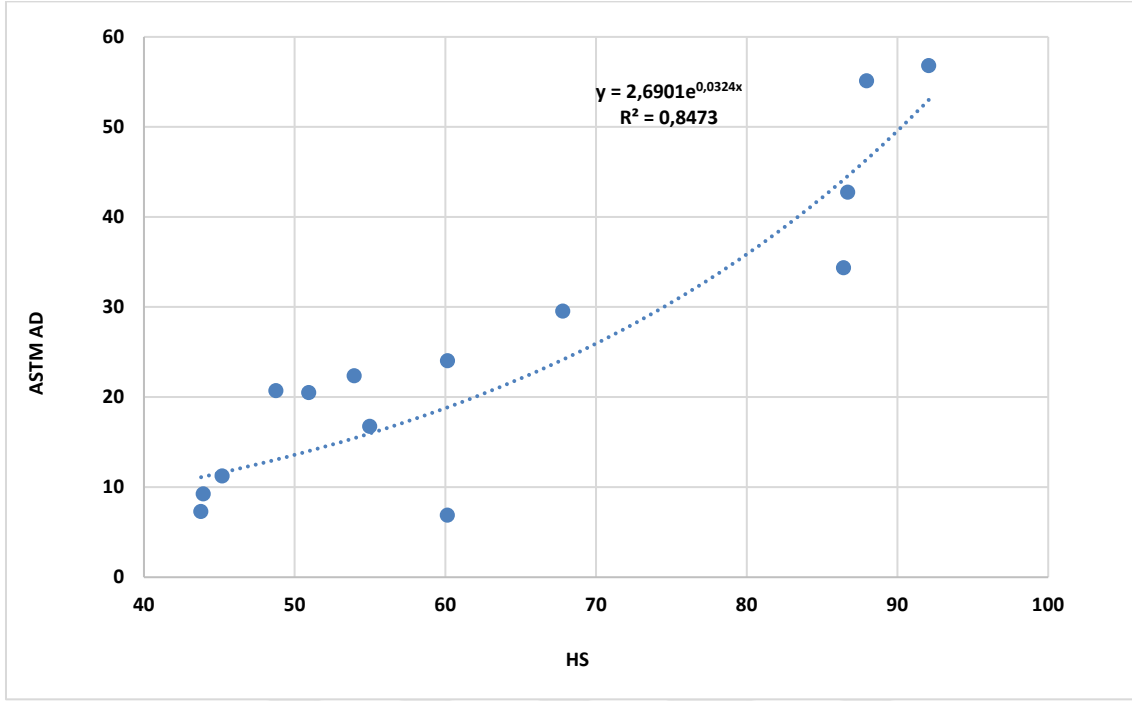
Şekil 4.9 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile Birim Hacim Ağırlık (BHA) arasındaki ilişkiler



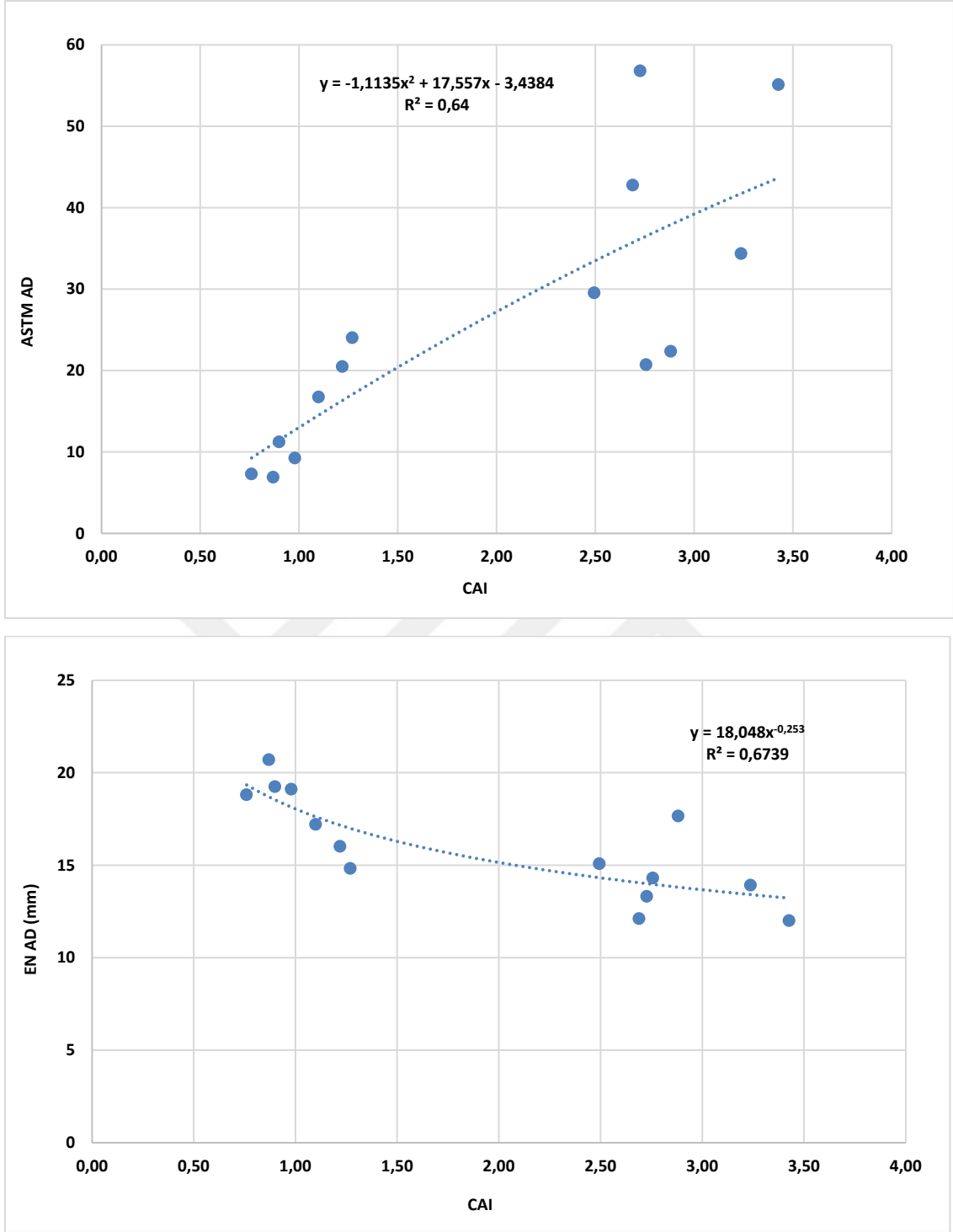
Şekil 4.10 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile Cerchar Aşınma İndeksi (CAI) arasındaki ilişkiler



Şekil 4.11 Tüm kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile UCS arasındaki ilişkiler

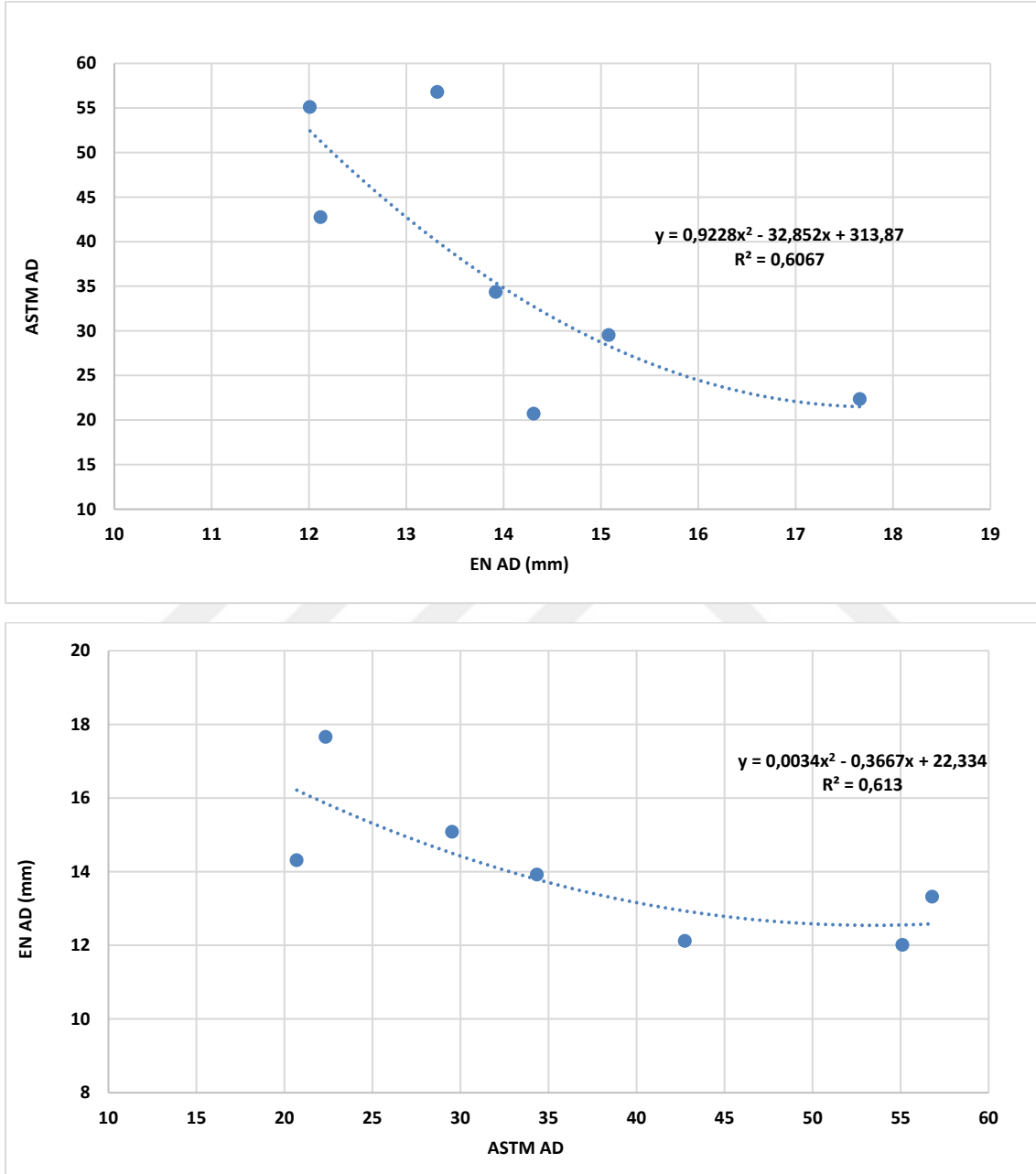


Şekil 4.12 Tüm kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile Shore Sertlik İndeksi (HS) arasındaki ilişkiler

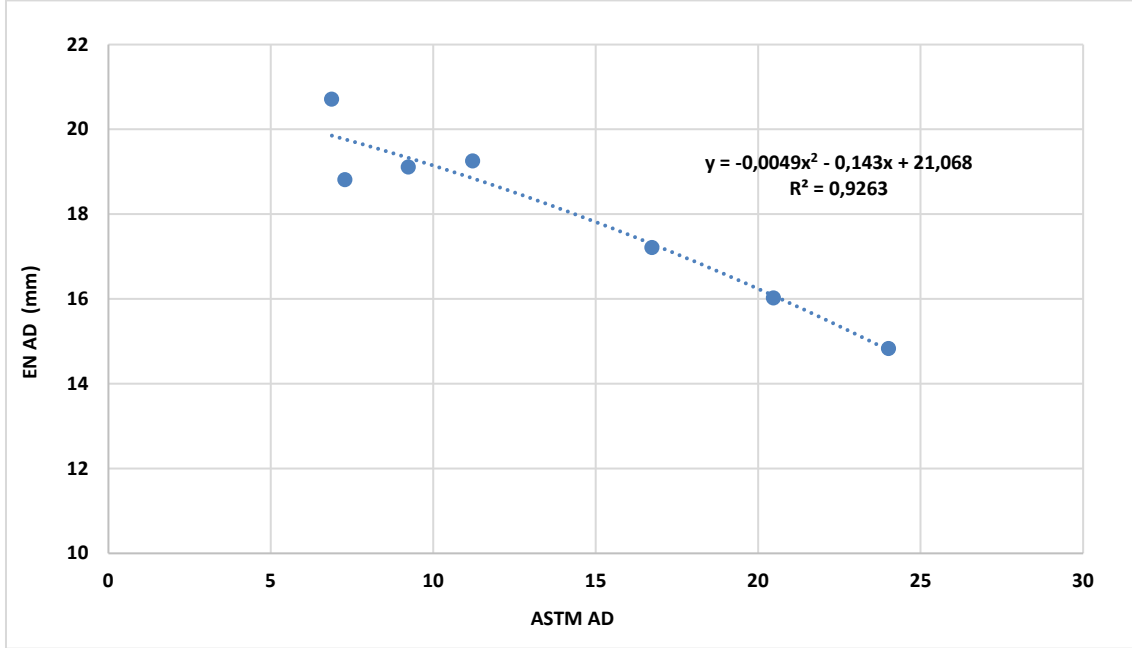
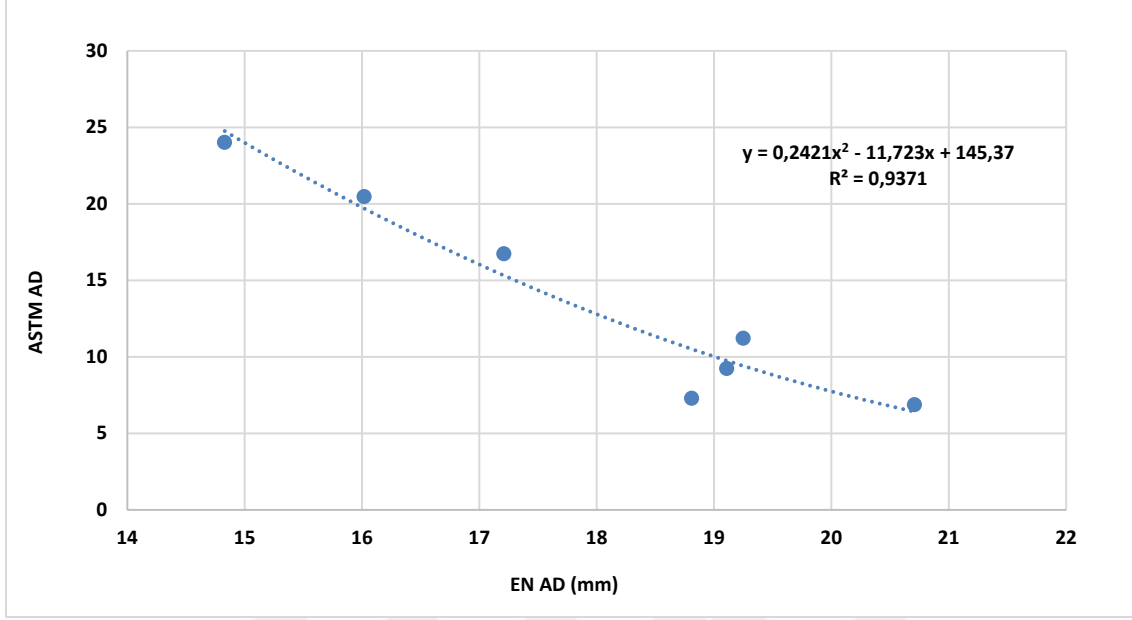


Şekil 4.13 Tüm kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile CAI arasındaki ilişkiler

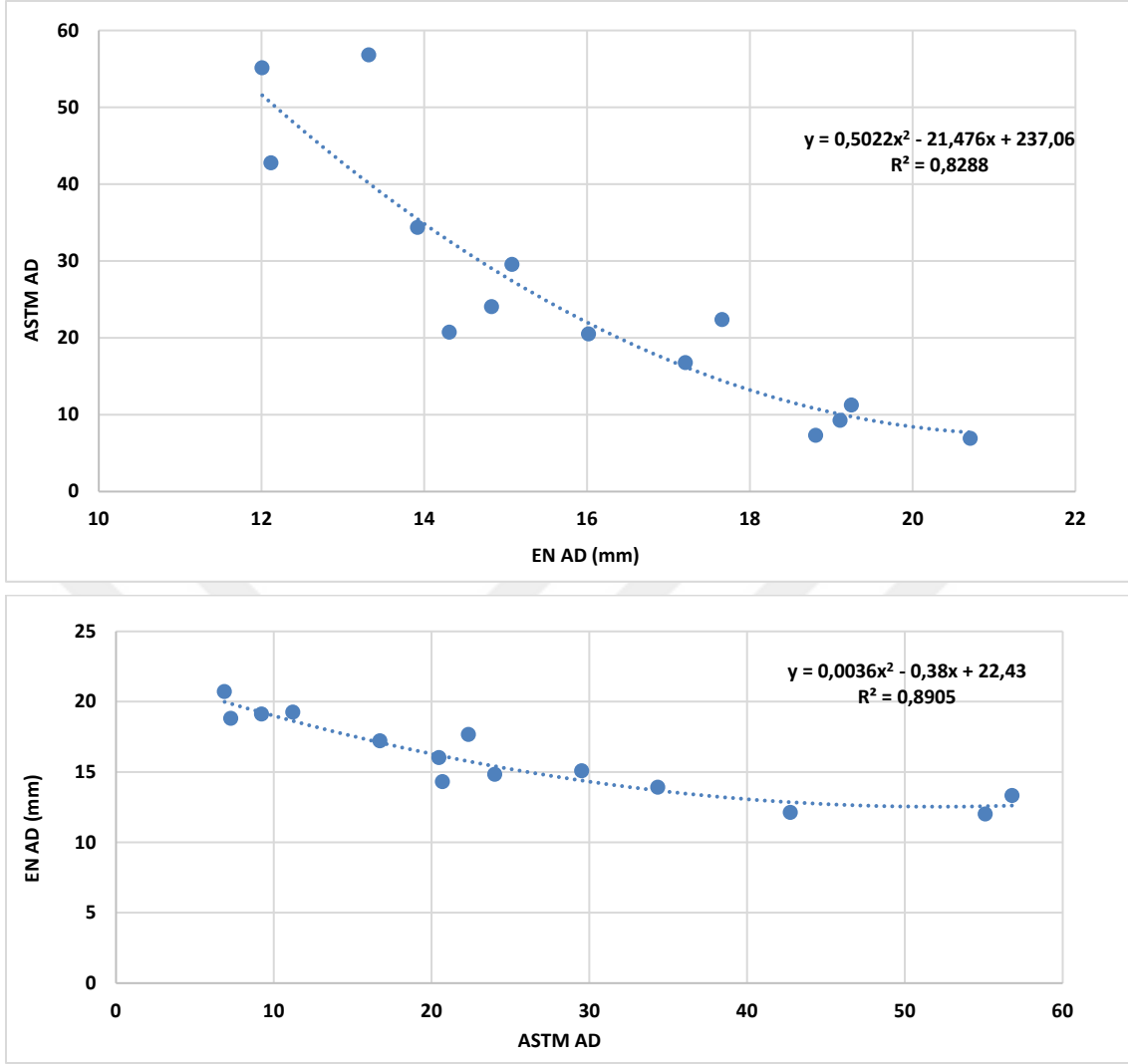
EN ile ASTM Aşınma Dayanımı arasındaki ilişkiler karşılıklı olarak incelenmiş, magmatik-karbonatlı-tüm kayalar için en iyi korelasyona sahip eşitlikler seçilmiş, Şekil 4.14-4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.14 Magmatik kayaların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı test sonuçları arasındaki ilişkiler



Şekil 4.15 Karbonatlı kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı test sonuçları arasındaki ilişkiler



Şekil 4.16 Tüm kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı test sonuçları arasındaki ilişkiler

Doğal taşlar için EN ve ASTM Aşınma Dayanımı testi değerleri arasındaki ilişki literatürde henüz karşılıklı olarak tanımlanmamıştır. Bu çalışmada, bu ilişki sınırlı sayıdaki magmatik ve karbonatlı kayaçlar için ön incelemeye tabi tutulmuştur. Şekil 4.14 incelendiğinde magmatik kayaçlar için EN ve ASTM Aşınma Dayanımı test yöntemleri arasında anlamlı bir ters ilişki ($r: 0,78; 0,78$) görülmektedir. Ancak, korelasyon değerleri karbonat kaynaklı olanlarla karşılaştırıldığında görece daha düşük görünmektedir. Bu çalışmada, farklı kökenli sadece 7 magmatik kayaç kullanıldığı ve bu nedenle oldukça farklı mineralojik özelliklere sahip oldukları için, korelasyonun görece düşük düzeyde olduğu düşünülmektedir.

Öte yandan, karbonat kökenli kayaçların EN ve ASTM Aşınma Direnci değerleri karşılıklı olarak incelendiğinde (Şekil 4.15), oldukça yüksek bir ters ilişkinin olduğu görülmektedir (r : 0,97; 0,96). Karbonat kökenli kayaçlar genellikle kalsit minerallerinden (>%90) oluştuğundan aşınma özelliklerinin her iki test yöntemi için de benzer olduğu anlaşılmaktadır. Sınırlı sayıda karbonat kökenli farklı kayaçlar üzerinde yapılan bu ön çalışmayla, güvenilir korelasyon seviyeleri elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında seçilen magmatik ve karbonat kökenli kayaçların tamamının (14 adet) EN ve ASTM Aşınma Direnci Testi değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, aralarında çok güçlü bir ters ilişkinin (r : 0,91; 0,94) olduğu görülmektedir (Şekil 4.16). Buradaki yüksek korelasyon değerlerinin aslında karbonat kökenli kayaçlar arasında görece daha yüksek bir ilişki olması nedeniyle, tüm kayaların EN ve ASTM Aşınma Direnci arasındaki ilişkiyi güçlendirdiği düşünülmektedir.

Burada önemli olan herhangi bir kayanın EN veya ASTM Aşınma Direnci test değerinin güvenilir düzeyde bir başka kayaya dönüştürülebilmesidir. Çünkü, bu iki farklı test yöntemiyle elde edilen bir aşınma değerinin diğerine dönüştürülmesi hem gereksiz tekrar test yapılmasını önleyecek hem de kullanıcıların kullanım yerine bağlı olarak doğal taş seçiminde daha kolay karar vermelerini sağlayacaktır.

4.2 İstatistiksel Analizler

Örneklenen kayaç grupları için, istatistiksel olarak EN ve ASTM Aşınma Dayanımları ile kayaç özellikleri arasında korelasyon, regresyon ve güvenilirlik analizleri SPSS programı yardımıyla yapılmış ve bunların güvenilirlikleri test edilmiştir.

4.2.1 Korelasyon Analizleri

Kayaçların EN ve ASTM Aşınma Dayanım (AD) değerleri ile fiziksel, fiziko-mekanik, sertlik değerleri arasındaki doğrusal (lineer) korelasyonlar (r) incelenmiş olup magmatik, karbonatlı ve tüm kayaçlara ait korelasyonlar sırasıyla Çizelge 4.1-4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Magmatik kayalara ait korelasyonlar

	UCS	BS	YOG	POR	SuE	AG	CAI	HS	EN _{AD}	ASTM _{AD}
UCS	1									
BS	-0,555	1								
YOG	0,245	0,391	1							
POR	-0,769	0,486	-0,477	1						
SuE	-0,647	0,217	-0,769	0,922	1					
AG	-0,708	0,272	-0,706	0,954	0,993	1				
CAI	0,067	-0,058	-0,213	-0,341	-0,111	-0,187	1			
HS	0,806	-0,658	0,211	-0,899	-0,759	-0,818	0,351	1		
EN _{AD}	-0,876	0,707	0,103	0,674	0,417	0,496	-0,292	-0,737	1	
ASTM _{AD}	0,878	-0,498	0,372	-0,948	-0,829	-0,885	0,336	0,890	-0,742	1

Çizelge 4.2. Karbonatlı kayalara ait korelasyonlar

	UCS	BS	YOG	POR	SuE	BHA	CAI	HS	EN _{AD}	ASTM _{AD}
UCS	1									
BS	0,619	1								
YOG	0,841	0,312	1							
POR	-0,278	-0,149	0,014	1						
SuE	-0,412	-0,104	-0,308	0,885	1					
BHA	0,686	0,244	0,581	-0,799	-0,919	1				
CAI	0,874	0,190	0,797	-0,426	-0,582	0,803	1			
HS	0,300	-0,213	0,097	-0,044	0,033	0,079	0,495	1		
EN _{AD}	-0,952	-0,454	-0,930	0,103	0,348	-0,607	-0,884	-0,314	1	
ASTM _{AD}	0,957	0,388	0,861	-0,289	-0,479	0,726	0,955	0,459	-0,960	1

Çizelge 4.3. Tüm kayalara ait korelasyonlar

	UCS	BS	YOG	POR	SuE	CAI	HS	EN _{AD}	ASTM _{AD}
UCS	1								
BS	0,409	1							
YOG	-0,246	-0,060	1						
POR	0,012	0,377	-0,403	1					
SuE	-0,257	0,091	-0,378	0,853	1				
CAI	0,752	0,362	-0,705	0,190	-0,049	1			
HS	0,608	-0,127	-0,428	-0,296	-0,333	0,729	1		
EN _{AD}	-0,898	-0,117	0,369	0,070	0,245	-0,790	-0,774	1	
ASTM _{AD}	0,780	0,091	-0,342	-0,286	-0,427	0,800	0,909	-0,888	1

4.2.2 Doğrusal Regresyon Analizleri

Bu bölümde, incelemesi yapılan magmatik, karbonatlı ve tüm kayaların EN ve ASTM Aşınma Dayanımı değerleri ile fiziksel, fiziko-mekanik ve sertlik özellikleri arasında

olan, en yüksek ilişki düzeylerine sahip doğrusal regresyon analizleri yardımıyla istatistiksel analizleri yapılmıştır. Burada amaç, EN ve ASTM Aşınma Dayanım değerlerini karşılıklı olarak ve diğer kayaç özellikleri yardımıyla yüksek güvenilirlikle tahmin etmektir. Bu yolla kayaçların daha az sayıda özelliğinden yararlanarak, aşınma dayanımı özelliğini tahmin etmek ve zaman-para kazanmaktır. Aşağıda sırasıyla magmatik, karbonatlı ve tüm kayaç için regresyon bağıntıları elde edilmiş ve bunların %95 güvenilirlik düzeyinde geçerlilikleri istatistiksel yöntemlerle kontrol edilmiştir.

4.2.2.1 Magmatik kayaçların doğrusal regresyon analizleri

Örneklenen magmatik kayaçların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile diğer kayaç özellikleri arasında çok ve tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri yapılmış ve en yüksek korelasyona sahip olanları aşağıda verilmiştir. Burada ASTM ve EN Aşınma Dayanımlarını tahmin için, sırasıyla önce üç sonra iki ve sonra tek değişkenli ve karşılıklı regresyon eşitlikleri ile bunların güvenilirlik testlerine ilişkin analizler verilmiştir.

$ASTM_{AD} = -73,466 - 1,341 (Po) + 0,606 (UCS) + 4,691 (CAI)$	$R^2 = 0,962$ (Eşitlik 1)
$ASTM_{AD} = -45,276 - 1,510 (Po) + 0,533 (UCS)$	$R^2 = 0,953$ (Eşitlik 2)
$ASTM_{AD} = 55,810 - 2,143 (Po)$	$R^2 = 0,948$ (Eşitlik 3)
$ASTM_{AD} = 116,390 - 5,620 (EN_{AD})$	$R^2 = 0,551$ (Eşitlik 4)
$EN_{AD} = 13,053 - 0,156 (UCS) + 10,965 (Yoğ) + 0,931 (SuE)$	$R^2 = 0,891$ (Eşitlik 5)
$EN_{AD} = 29,466 - 0,185 (UCS) + 6,893 (Yoğ)$	$R^2 = 0,874$ (Eşitlik 6)
$EN_{AD} = 44,436 - 0,169 (UCS)$	$R^2 = 0,767$ (Eşitlik 7)
$EN_{AD} = 17,724 - 0,098 (ASTM_{AD})$	$R^2 = 0,551$ (Eşitlik 8)

Elde edilen eşitliklerin %95 güven aralığında güvenilirlikleri incelendiğinde, hepsinin de (Eşitlik 1-8) t ve F Testlerinden geçtiği ve KABUL edilebilir olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Eşitlik 4 ve Eşitlik 8 görece düşük belirleme katsayılarına (R^2 : 0,551) sahip olsalar da İstatistiksel Güvenilirlikleri % 94,4 olup, her iki eşitliğinde kullanılmalarının mümkün olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Magmatik kayalarla ait regresyon analizleri güvenilirlik analizleri

Model	Bağımsız değişkenler	Katsayı	Standart hata	Tahminin standart hatası	Hesaplanan t-değeri	Tablodaki t-değeri	Hesaplanan F-değeri	Tablodaki F-değeri	Belirleme katsayısı (R^2)
Eşitlik.1	Sabit	-73,466	59,548	4,057	-1,234	$\pm 2,13$	25,221	6,94	0,962
	UCS	0,606	0,272		2,224				
	Po	-1,341	0,447		-3,001				
	CAI	4,691	5,628		0,834				
Eşitlik.2	Sabit	-45,276	47,105	3,899	-0,961	$\pm 2,015$	40,581	6,61	0,953
	UCS	0,533	0,248		2,149				
	Po	-1,510	0,383		-3,942				
Eşitlik.3	Sabit	55,810	3,377	5,120	16,527	$\pm 1,943$	44,404	5,99	0,899
	Po	-2,143	0,322		-6,664				
Eşitlik.4	Sabit	116,390	32,157	10,784	3,619	$\pm 1,943$	6,137	5,99	0,551
	EN _{AD}	-5,620	2,269		-2,477				
Eşitlik.5	Sabit	13,053	26,037	0,904	0,501	$\pm 2,13$	8,216	6,94	0,904
	UCS	-0,156	0,056		-2,775				
	SuE	0,931	1,341		0,694				
Eşitlik.6	Yoğ	10,965	7,102	0,843	1,544	$\pm 2,015$	13,879	6,61	0,874
	Sabit	29,466	10,193		2,891				
	UCS	-0,185	0,035		-5,237				
Eşitlik.7	Yoğ	6,893	3,739	1,026	1,844	$\pm 1,943$	16,461	5,99	0,767
	Sabit	44,436	7,497		5,927				
	UCS	-0,169	0,042		-4,057				
Eşitlik.8	Sabit	17,724	1,574	1,424	11,261	$\pm 1,943$	6,371	5,99	0,551
	ASTM _{AD}	-0,098	0,040		-2,477				

4.2.2.2 Karbonatlı kayaların doğrusal regresyon analizleri

Örneklenen karbonatlı kayaların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile diğer kayaç özellikleri arasında çok ve tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri yapılmış ve en yüksek korelasyona sahip olanları aşağıda verilmiştir. Burada ASTM ve EN Aşınma Dayanımlarını tahmin için, sırasıyla önce üç sonra iki ve sonra tek değişkenli ve karşılıklı regresyon eşitlikleri ile bunların güvenilirlik testlerine ilişkin analizler verilmiştir.

ASTM _{AD} = -0,41 +0,148 (UCS) - 0,508 (BS) +0,058 (HS)	$R^2= 0,993$ (Eşitlik 9)
ASTM _{AD} = 2,685 +0,154 (UCS) - 0,578 (BS)	$R^2= 0,983$ (Eşitlik 10)
ASTM _{AD} = -0,758 + 0,127 (UCS)	$R^2= 0,915$ (Eşitlik 11)
ASTM _{AD} = 70,577 – 3,162 (EN _{AD})	$R^2= 0,922$ (Eşitlik 12)
EN _{AD} = 56,708 – 0,020 (UCS) - 12,529 (Yoğ) - 0,033 (HS)	$R^2= 0,975$ (Eşitlik 13)
EN _{AD} = 51,156 - 0,023 (UCS) -10,994 (Yoğ)	$R^2= 0,964$ (Eşitlik 14)
EN _{AD} = 22,361 - 0,038 (UCS)	$R^2= 0,907$ (Eşitlik 15)
EN _{AD} = 21,984 - 0,291 (ASTM _{AD})	$R^2= 0,922$ (Eşitlik 16)

Elde edilen eşitliklerin %95 güven aralığında güvenilirlikleri incelendiğinde, hepsinin de (Eşitlik 9-16) t ve F Testlerinden geçtiği ve KABUL edilebilir olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Eşitlik 12 ve Eşitlik 16 yüksek belirleme katsayılarına (R^2 : 0,922) sahip ve İstatistiksel Güvenilirlikleri %99,9 olup, her iki eşitliğinde yüksek güvenilirlikle kullanılmalarının mümkün olduğu görülmektedir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Karbonatlı kayalar için regresyon analizleri güvenilirlik analizleri

Model	Bağımsız değişkenler	Katsayı	Standart hata	Tahminin standart hatası	Hesaplanan t-değeri	Tablodaki t-değeri	Hesaplanan F-değeri	Tablodaki F-değeri	Belirleme katsayısı (R^2)
Eşitlik 9	Sabit	-0,411	4,534	1,153	-0,091	$\pm 2,132$	68,006	6,94	0,986
	UCS	0,148	0,014		10,453				
	Po	-0,508	0,182		-2,795				
	CAI	0,058	0,080		0,721				
Eşitlik 10	Sabit	2,685	1,371	1,081	1,371	$\pm 2,015$	115,612	6,61	0,983
	UCS	0,154	0,011		0,011				
	Po	-0,578	0,144		0,144				
Eşitlik 11	Sabit	-0,758	2,133	2,163	-0,355	$\pm 1,943$	53,807	5,99	0,915
	Po	0,127	0,017		7,335				
Eşitlik 12	Sabit	70,577	7,461	2,077	9,460	$\pm 1,943$	58,776	5,99	0,922
	EN _{AD}	-3,162	0,412		-7,667				
Eşitlik 13	Sabit	56,708	11,938	0,457	4,750	$\pm 2,13$	39,407	6,94	0,975
	UCS	-0,020	0,007		-2,692				
	SuE	-12,529	4,380		2,861				
Eşitlik 14	Yoğ	-0,033	0,028	0,478	-1,169	$\pm 2,015$	53,509	6,61	0,964
	Sabit	51,156	11,446		4,469				
	UCS	-0,023	0,007		-3,312				
Eşitlik 15	Yoğ	-10,994	4,366	0,687	-2,518	$\pm 1,943$	48,682	5,99	0,907
	Sabit	22,361	0,678		32,980				
	UCS	-0,038	0,005		-6,977				
Eşitlik 16	Sabit	21,984	0,573	0,631	38,383	$\pm 1,943$	58,776	5,99	0,922
	ASTM _{AD}	-0,291	0,038		-7,667				

4.2.2.3 Tüm kayaların doğrusal regresyon analizleri

Örneklenen tüm kayaların ASTM ve EN Aşınma Dayanımı (AD) ile diğer kayaç özellikleri arasında çok ve tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri yapılmış ve en yüksek korelasyona sahip olanları aşağıda verilmiştir. Burada ASTM ve EN Aşınma Dayanımlarını tahmin için, sırasıyla önce üç sonra iki ve sonra tek değişkenli ve karşılıklı regresyon eşitlikleri ile bunların güvenilirlik testlerine ilişkin analizler verilmiştir.

$$ASTM_{AD} = -27,619 + 0,604 (HS) + 0,118 (UCS) - 3,096 (SuE) \quad R^2 = 0,920 (\text{Eşitlik 17})$$

$$ASTM_{AD} = -32,288 + 0,635 (HS) + 0,121 (UCS) \quad R^2 = 0,908 (\text{Eşitlik 18})$$

$$ASTM_{AD} = -0,758 + 0,127 (HS) \quad R^2 = 0,826 (\text{Eşitlik 19})$$

$ASTM_{AD} = 109,212 - 5,222 (EN_{AD})$	$R^2 = 0,788$ (Eşitlik 20)
$EN_{AD} = 24,119 - 0,047 (UCS) - 0,039 (HS) + 0,095 (BS)$	$R^2 = 0,911$ (Eşitlik 21)
$EN_{AD} = 25,281 - 0,039 (UCS) - 0,057 (HS)$	$R^2 = 0,889$ (Eşitlik 22)
$EN_{AD} = 23,544 - 0,051 (UCS)$	$R^2 = 0,806$ (Eşitlik 23)
$EN_{AD} = 19,879 - 0,151 (ASTM_{AD})$	$R^2 = 0,788$ (Eşitlik 24)

Elde edilen eşitliklerin %95 güven aralığında güvenilirlikleri incelendiğinde, hepsinin de (Eşitlik 17-24) t ve F Testlerinden geçtiği ve KABUL edilebilir olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Eşitlik 20 ve Eşitlik 24 görece düşük belirleme katsayılarına ($R^2: 0,778$) sahip olsalar da, İstatistiksel Güvenilirlikleri % 100 olup, her iki eşitliğin de kullanılmalarının mümkün olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Tüm kayaçlara ait regresyon analizleri güvenilirlik analizleri

Model	Bağımsız değişkenler	Katsayı	Standart hata	Tahminin standart hatası	Hesaplanan t-değeri	Tablodaki t-değeri	Hesaplanan F-değeri	Tablodaki F-değeri	Belirleme katsayısı (R^2)
Eşitlik 17	Sabit	-27,619	6,752	5,312	-4,091	$\pm 2,132$	38,382	6,94	0,920
	UCS	0,604	0,107		5,670				
	Po	0,188	0,038		3,111				
	CAI	-3,096	2,494		-1,242				
Eşitlik 18	Sabit	-32,288	5,744	5,441	-5,621	$\pm 2,015$	54,136	6,61	0,908
	UCS	0,635	0,106		5,978				
	Po	0,121	0,039		3,132				
Eşitlik 19	Sabit	-27,253	7,263	2,163	-3,752	$\pm 1,943$	56,770	5,99	0,826
	Po	0,837	0,111		7,535				
Eşitlik 20	Sabit	109,212	12,708	2,077	8,594	$\pm 1,943$	44,587	5,99	0,788
	EN_{AD}	- 5,222	0,782		-6,677				
Eşitlik 21	Sabit	24,119	1,258	0,954	19,172	$\pm 2,13$	34,001	6,94	0,911
	UCS	-0,047	0,009		-5,435				
	SuE	-0,039	0,022		-1,809				
Eşitlik 22	Yoğ	0,095	0,062	1,012	1,542	$\pm 2,015$	44,264	6,61	0,889
	Sabit	25,281	1,069		23,649				
	UCS	-0,039	0,007		-5,369				
Eşitlik 23	Yoğ	-0,057	0,020	1,283	-2,874	$\pm 1,943$	50,013	5,99	0,806
	Sabit	23,544	1,117		-21,078				
	UCS	- 0,051	0,007		-7,072				
Eşitlik 24	Sabit	19,879	0,680	1,343	29,252	$\pm 1,943$	44,577	5,99	0,788

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, özellikle yayaların kullanımı sonucu aşınan doğaltaşların aşınma dayanımlarının belirlenmesi için kullanılan EN ve ASTM test yöntemlerinin birbirleri ile ilişkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Magmatik kökenli 7 adet ve karbonat kökenli (mermer-kireçtaşı-traverten) 7 adet kayaç örneklenmiştir. Seçilen bu kayaçların fiziksel, fiziko-mekanik ve sertlik özellikleri ile EN ve ASTM Aşınma Dayanım değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar örneklenen bu kayaçlar için geçerli olmakla birlikte, yüksek güvenilirlikli eşitlikler elde edilmiştir. Bu sonuçlar aşağıda verilerek detaylıca irdelenmiştir.

Magmatik kayaçlarda; ASTM Aşınma Dayanımının saptanması için elde edilen eşitlikler incelendiğinde, etkin kayaç özellikleri Porozite (Po), Basınç Dayanımı (UCS) ve Cerchar Aşınma İndeksi (CAI) olup, özellikle porozitenin olumsuz yönde aşınma dayanımı üzerine daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. EN Aşınma Dayanımının (miktarının) saptanması için elde edilen eşitlikler incelendiğinde ise, etkin kayaç özellikleri Basınç Dayanımı (UCS), Yoğunluk (Yoğ) ve Su Emme (SuE) olup, özellikle Basınç Dayanımının olumlu yönde aşınma dayanımı (miktarı) üzerine daha-azaltıcı-etkili olduğu anlaşılmaktadır. EN ve ASTM Aşınma Dayanımlarının (AR) karşılıklı olarak tahmin edilmesinde ise elde edilen eşitlik görece daha düşük belirleme katsayısına (R^2 : 0,551) sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin kayaçların farklı orijinli olup mineral bileşimlerinin çeşitliliği ve farklılıkları olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında sınırlı sayıda örnek üzerinde çalışılmış olup, bunun da etkili olduğu varsayılmaktadır. Diğer taraftan, her iki test yönteminde de magmatik kayaçlarda Basınç Dayanımının Aşınma Dayanımını saptamada oldukça önemli bir özellik olduğu, kayaçların oluşumu sırasındaki sıkışmaya bağlı tanelerin çok sıkı kenetlenmesiyle aşınmanın da o oranda azaldığını söylemek mümkündür. Mevcut literatür bilgileriyle de uyumlu görünmektedir.

Karbonatlı kayaçlarda; ASTM Aşınma Dayanımının saptanması için elde edilen denklemler incelendiğinde, etkin kayaç özellikleri Basınç Dayanımı (UCS), Eğilme Dayanımı (BS) ve Shore Sertlik İndeksi (HS) olup özellikle Basınç Dayanımının (UCS)

olumlu yönde aşınma dayanımı üzerine daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. EN Aşınma Dayanımının (miktarının) saptanması için elde edilen eşitlikler incelendiğinde ise, etkin kayaç özellikleri Basınç Dayanımı (UCS), Yoğunluk (Yoğ) ve Shore Sertlik İndeksi (SH) olup, özellikle Basınç Dayanımının aşınma dayanımı üzerine daha-azaltıcı-etkili olduğu anlaşılmaktadır. EN ve ASTM Aşınma Dayanımlarının karşılıklı olarak tahmin edilmesinde ise elde edilen eşitlik oldukça yüksek belirleme katsayısına (R^2 : 0,922) sahip olduğu görülmektedir. Bu da söz konusu eşitliklerin karşılıklı olarak birbirlerini tahmin etmede kullanılabilir olduğunu işaret etmektedir. Diğer taraftan, her iki test yönteminde de karbonatlı kayaçlarda Basınç Dayanımının Aşınma Dayanımını saptamada oldukça önemli bir özellik olduğu, kayaçların oluşumu sırasındaki sıkışmaya bağlı tanelerin çok sıkı kenetlenmesiyle ve yoğunluk artışına bağlı aşınmanın da o oranda azaldığını söylemek mümkündür. Mevcut literatür bilgileriyle de uyumlu görünmektedir.

Örneklenen tüm kayaçlarda geçerli olmak üzere; ASTM Aşınma Dayanımının saptanması için elde edilen eşitlikler incelendiğinde, etkin kayaç özellikleri Shore Sertlik İndeksi (HS), Basınç Dayanımı (UCS) ve Su Emme (SuE) olup özellikle Shore Sertlik İndeksinin (HS) olumlu yönde aşınma dayanımı üzerine daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. EN Aşınma Dayanımının (miktarının) saptanması için elde edilen eşitlikler incelendiğinde ise, etkin kayaç özellikleri Basınç Dayanımı (UCS), Shore Sertlik İndeksi (SH) ve Eğilme Dayanımı (BS) olup, özellikle Basınç Dayanımının (UCS) aşınma dayanımı üzerine daha-azaltıcı-etkili olduğu anlaşılmaktadır. ASTM ve EN Aşınma Dayanımlarının karşılıklı olarak tahmin edilmesinde ise elde edilen eşitlik oldukça yüksek belirleme katsayısına (R^2 : 0,788) sahip olduğu görülmektedir. Bu da söz konusu eşitliklerin karşılıklı olarak birbirlerini tahmin etmede kullanılabilir olduğunu işaret etmektedir. Diğer taraftan, her iki test yönteminde de örneklenen tüm kayaçlarda Basınç Dayanımının Aşınma Dayanımını saptamada oldukça önemli bir özellik olduğu, kayaçların oluşumu sırasındaki sıkışmaya bağlı tanelerin çok sıkı kenetlenmesiyle ve yüzey sertliklerinin artışına bağlı aşınmanın da o oranda azaldığını söylemek mümkündür. Mevcut literatür bilgileriyle de uyumlu olduğu görünmektedir.

Yukarıdaki istatistiksel analizler dikkate alındığında; bu çalışma magmatik ve karbonatlı kayaç gruplarından kısıtlı sayıda (yedişer adet) örnek üzerinde uygulanmış olmakla birlikte, elde edilen sonuçlar bu kayaç gruplarında geçerli olmak üzere, her kayaç grubunda ayrı ayrı veya tüm kayaçlar için EN ve ASTM Aşınma Dayanımı değerlerinin karşılıklı olarak güvenilir şekilde elde edilen eşitlikler yardımıyla dönüştürülmelerinin mümkün olduğu anlaşılmıştır.

Bu çalışma sonucunda, EN Aşınma Dayanımı ve ASTM Aşınma Dayanımı testleri sonuçlarının elde edilen yüksek güvenilirlikli eşitlikler yardımıylakarşılıklı dönüştürülmesi ilk kez sağlanmıştır. Bu sayede hem bilim camiasında hem de doğaltaş sektöründe EN ve ASTM Aşınma Dayanımı için gereksiz zaman ve para kaybı önlenmiş, hem de kullanım yerine uygun taş seçiminde daha çabuk ve doğru karar almalarına yardımcı olunmuştur.

Gelecekte, daha fazla sayıda magmatik ve karbonatlı kayaç grubundan örnekler üzerinde de çalışmalar yürütülmesi planlanmakta olup, daha fazla veri kümesiyle daha yüksek güvenilirlikli eşitliklerin elde edilmesi hedeflenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abioye AV, 2015, Increasing effect of metamorphism on rock properties. *International Journal of Mining Science and Technology* 25, 205–211.
- Archard F, 1953, Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal Applied Science*, 24:981-8
- Choudhary R, 2015, “An Experimental Investigation to Evaluate Abrasion Wear Characteristics and Study the Effect of Micro Cracks on The Mechanical Properties of Various Marbles Types of Rajasthan Region”, Master Thesis, Department of Mechanical Engineering Malaviya National Institute of Technology Jaipur/India, 77 sf.
- Elalem K, Li DY, 2001, Variations in wear loss with respect to load and sliding speed under dry sand/rubber-wheel abrasion condition: a modelling study. *Wear*, 250:59–65.
- Karaca Z, Gunes Y N, Goktan RM, 2012, Considerations on the European Standard EN 14157 test methods: abrasion resistance of natural stones used for flooring in buildings. *Rock Mech Rock Eng*, 45:103–11.
- Kilic A, Teymen A, 2008, Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bull Eng Geol Environment*, 67:237–44.
- Ma X, Liu R, Li DY. 2000, Abrasive wear behaviour of D2 tool steel with respect to load and sliding speed under dry sand/rubber wheel abrasion condition. *Wear*, 241:79–85.
- Marini P, Bellopede R, Perino L, Regibus CD, 2011, Optimisation of an abrasion resistance test method on natural stones. *Bull Eng Geol Environ*, 70:133–8.
- Marradi A, Secchiari L, Lezzerini M, 2008, The qualification of materials for their application in road stone pavements. *Proceedings of the Second International Congress on Dimension Stones, Carrara, Italy*, pp 225–235.
- Selvaraj S. K., RajA., Dharnidharka M., Chadha U., Sachdeva I., Kapruan C., Paramasivam V., 2021, A Cutting-Edge Survey of Tribological Behavior

- Evaluation Using Artificial and Computational Intelligence Models, *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2021, Article ID 9529199, 17 pages, <https://doi.org/10.1155/2021/9529199>
- Trezona RI, Allsopp DN, Hutchings IM, 1999, Transitions between two-body and three body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. *Wear*, 225–229:205–14.
- Yavuz H, Ugur I, Demirdag S, 2008, Abrasion resistance of carbonate rocks used in dimension stone industry and correlations between abrasion and rock properties. *Int J Rock Mech Min Sci*, 45:260–7.
- Yılmaz N. G., Goktan R. M, Kibici Y, 2011, Relations between some quantitative petrographic characteristics and mechanical strength properties of granitic building stones. *Int J Rock Mech Min Science*, 48:506–13.
- ASTM C97, (2009). Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone.
- ASTM C241-90, (2005). Standard test method for abrasion resistance of stone subjected to foot traffic.
- ASTM D7625, (2022). Standard Test Method for Laboratory Determination of Abrasiveness of Rock Using the CERCHAR Abrasiveness Index Method .
- EN 1926, (2007). Natural stone test methods - Determination of uniaxial compressive strength.
- EN 1936, (2010). Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity
- EN 13161, (2008). Natural stone test methods - Determination of flexural strength under constant moment
- EN 13755, (2008). Natural stone test methods - Determination of water absorption at atmospheric pressure
- EN 14157, 2004, Natural stones determination of the abrasion resistance.
- ISRM, 2007, The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay R, Hudson JA, editors. Suggested methods prepared by the commission on testing methods, international society for rock mechanics, compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.