

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAPITAŞLARININ TEMEL İNDEKS ÖZELLİKLERİ VE ELASTİK
PARAMETRELERİ İLE BÖHME AŞINMA KAYBI İNDEKSLERİ
ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ**

Abdualrahman Ali Adam MOHAMMED

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2018**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Abdualrahman Ali Adam MOHAMMED tarafından hazırlanan “**Yapıtaşlarının Temel İndeks Özellikleri ve Elastik Parametreleri ile Böhme Aşınma Kaybı İndeksleri Arasındaki İlişkilerin İncelemesi**” adlı tez çalışması 08.08.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.



Danışman DOÇ. Dr. Mustafa FENER

Ankara Üniversitesi /Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Sair KAHRAMAN



Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Prof. Dr. Kamil KAYABALI



Ankara Üniversitesi/ Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye: DOÇ. Dr. Mustafa FENER

Ankara Üniversitesi /Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN

Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

08.08.2018



Abdualrahman Ali Adam MOHAMMED

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPITAŞLARININ TEMEL İNDEKS ÖZELLİKLERİ VE ELASTİK PARAMETRELERİ İLE BÖHME AŞINMA KAYBI İNDEKSLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Abdualrahman Ali Adam MOHAMMED

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa FENER

Doğal yapıtaşları sertlik, dayanım, dekoratif görünüm, kolay şekil verilebilme gibi özelliklerinden dolayı tarihi dönemlerde önemli yapılarda malzeme olarak kullanılmışlardır. Halen bu özelliklerinden dolayı günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıtaşları binalarda kullanıldıkları yerlere bağlı olarak zaman içerisinde aşınır, hatta, ilerleyen aşamalarda tamamen kullanılmaz hale gelebilir. Kayaçların aşınma dayanımları kullanma amaçlarına göre Böhme aşınma kaybı indeksi deneyi, mikro deval aşınma kaybı indeksi deneyi, Los Angelas aşınma kaybı indeksi deneyi vs gibi yöntemlerle belirlenir. Taban düşmesi olarak kullanılan yapıtaşlarında aşınma kayıplarının belirlenmesi Böhme aşınma kaybı deneyi EN 14157 (2004)'e göre yapılır. Böhme aşınma kaybı deneyinin gerek numune hazırlanma aşaması gerekse deney yapma aşaması zor ve zahmetlidir; ayrıca, deney cihazı birçok laboratuvarında da bulunmayabilir. Bu çalışmada; yaygın olarak kullanılan yapıtaşlarının Böhme aşınma kaybı dayanım indeksi değerlerinin daha kolay ve kısa sürede istatistiksel olarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kayaçların temel indeks özellikleri (kuru birim ağırlığı, tane birim ağırlığı, porozite, boşluk oranı vs.) ve tek eksenli sıkışma dayanım değerleri bağımsız değişken olarak kullanılmış, bu değerler ile Böhme aşınma kaybı indeksi değerleri arasındaki ilişki tekli ve çoklu regrasyon analizleri ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kayaçların temel indeks özellikleri ile Böhme aşınma kayıpları arasında hem tekli hem bağımsız değişkenlere bağlı oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir.

Ağustos 2018, 57 sayfa

Anahtar Kelimeler: Böhme Aşınma Kaybı, Yapıtaşı, Sürtünmeyle Aşınma

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN THE BASIC PROPERTIES AND BOHME ABRASION LOSS INDEX IN CONSTRUCTION BUILDING STONE

Abdualrahman Ali Adam MOHAMMED

Ankara University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Geological Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa FENER

Natural building stones have been used as a material in significant buildings and architectural works in historical periods due to their features such as hardness, strengths, decorative appearance and easy shaping. Today, they have also been used widely in some structures and buildings because of their features. Building stones are eroded in time depending on their place of use. They may also convert to unusable materials in progressing times. Depending on using aims, abrasion resistance of rocks are determined by the following methods such as Böhme abrasion lost indices' experiment, micro deval abrasion lost indices experiment, and Los Angelas abrasion lost indices experiment. Abrasion lost in building stones of bottom floor is determined by Böhme abrasion lost experiment EN 14157 (2004). Both preparation of samples and experimental process of the Böhme abrasion lost experiment are difficult and cumbersome. Besides, its experimental device may not be available in some laboratories. The aim of this study is to estimate the values of the Böhme abrasion lost indices of building stones easily and statistically in a short time. For this aim, basic index features of rocks (dry unit volume weight, grain unit volume weight, porosity, space ratio etc.) and uniaxial compressive strength values were used as independent values. The relation between these values and the Böhme abrasion lost indices values were determined by single and multiple regression analysis. Based on the obtained results, statistical relations having quite high correlation coefficient depending on both single and multiple variables were determined between the Böhme abrasion lost and basic indices of rocks.

August 2018, 57 pages

Key Words: Böhme Abrasion Lost, Building Stone, Erosion By Friction

TEŞEKKÜR

Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlamış olduğum bu çalışmada, başta konu seçimi olmak üzere ders aşamasından tezin bitimine kadar geçen süre boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Mustafa FENER'e (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı) teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnesinde araştırma kısmında analizleri yapmamda büyük desteği olan VE yardımını hiç esirgemeyen Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan değerli hocam Dr. İsmail INCE'e teşekkür ederim.

Ders dönemi sırasında yardımlarını esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden sayın hocam Prof. Dr. Sair KAHRAMAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışması süresinde bilimsel desteklerini gördüğüm Ankara üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı başta olmak üzere değerli Prof. Dr. Kamil KAYABALI'ya ve saygı diğer öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Ömer Halisdemir (Niğde) Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarını kullanmamızı olanak sağlayan değerli Dr. Ramazan ÇOMAKLI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen başta olmak üzere arkadaşım Waleed ALTAYIB'a ve tüm diğer Sudanlı arkadaşlarım teşekkür ederim.

Son olarak çalışmamda desteğini ve bana olan güvenini benden esirgemeyen Sufiyan ağabeyim ve beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler.

Ankara, Ağustos 2018
Abdualrahman Ali adam MOHAMMED

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışma Alanının Yeri ve Ulaşımı	2
1.3 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi.....	3
1.3.1 Ankara Bölgesinin Genel Jeolojisi.....	3
1.3.2 Aksaray Bölgesinin Genel Jeolojisi	4
1.3.3 Kayseri Bölgesinin Genel Jeolojisi.....	4
1.3.4 Kırşehir Bölgesinin Genel Jeolojisi	5
1.4 Yapı Taşı Kavramı.....	6
1.5 Yapı Taşı Olarak Kullanılan Doğal Taşlar.....	7
1.5.1 İşlenmiş doğal yapı taşlar	9
1.5.2 Dekoratif doğal yarılmış, yüzeyi pürüzlü doğal taşlar	10
1.5.3 Çakıl taşları	10
1.6 Dünya ve Türkiye’de Yapı Taşı Sektörü	11
1.6.1 Dünya’da yapı taşı sektörü.....	11
1.6.2 Türkiye’de yapı taşı sektörü	11
1.7 Önceki Çalışmalar.....	12
2. MATERYAL VE METOD.....	14
2.1 Laboratuvar Çalışmaları.....	15
2.1.1 Numune hazırlama.....	15
2.1.2 Laboratuvar deneyleri	17
2.1.2.1 Temel fiziksel özellikler	17
2.1.2.1.1 Yoğunluk ve birim ağırlık deneyleri	17

2.1.2.1.2 Kuru yoğunluk ve kuru birim ağırlık deneyi	18
2.1.2.1.3 Doymun yoğunluk ve doymun birim ağırlık deneyi.....	19
2.1.2.1.4 Görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini	20
2.1.2.1.5 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi.....	21
2.1.2.2 Dayanım Özellikleri	21
2.1.2.2.1 Tek Eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi	22
2.1.2.3 Aşınma Deneyi.....	24
2.1.2.3.1 Böhme aşınma kaybı deneyi.....	24
2.2 Büro Çalışması	25
3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	26
3.1 Kayaçların Böhme Aşınma Kaybı ile İndeks ve Dayanım Özellikleri Arasındaki Basit Regresyon İlişkisi	29
3.1.1 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile porozite (n) değeri arasındaki ilişki	29
3.1.2 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile ağırlıkça su emme (A_w) değeri arasındaki ilişki.....	32
3.1.3 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile birim ağırlık (γ) değeri arasındaki ilişki.....	35
3.1.4 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile kuru birim ağırlık (γ_d) değeri arasındaki ilişki	38
3.1.5 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile doymun birim ağırlık (γ_r) değeri arasındaki ilişki.....	42
3.1.6 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri arasındaki ilişki.....	45
3.2 Kayaçların Böhme Aşınma Kaybı ile İndeks ve Dayanım Özellikleri Arasındaki Çoklu Regresyon İlişkisi.....	48
4. SONUÇLAR	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	57

SİMGELER DİZİNİ

A_w	Ağırlıkça su emme oranı
e	Boşluk oranı
E_d	Dinamik elastisite modülü
$I_{s(50)}$	50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi
γ	Birim hacim ağırlık
A_1	Deney öncesi kap ve kuru numunenin ağırlığı
$D\zeta_k$	Donma çözülme sonrası ağırlık kaybı
γ_d	Doygun Birim hacim ağırlık
D_e	Eşdeğer karot çapı
H_w	Hacimce su emme oranı
W_1	Hücre ve içindeki numunenin kütlesi
E	III. çevrim sonrası kap ve kuru numunenin ağırlığı
D_d	Kullanılan kabın ağırlığı
A	Numune yüzeyin alanı
α	Numunenin agrega darbe dayanımı direnci
m_i	Numunenin başlangıç kütlesi (Böhme)
M_b	Numunenin başlangıçtaki kuru kütlesi
M_{son}	Numunenin deney sonrası 2 mm elek üstünde kalan kütlesi
m_f	Numunenin deney sonrası kütlesi (Böhme)
M_f	Numunenin deney sonundaki kütlesi
M_s	Numunenin doymuş kütlesi
M_k	Numunenin kuru kütlesi
M_i	Numunenin su emmiş kütlesi
n	Porozite
W	Silindir biçimli hücrenin darası
w	Su muhtevası
σ_c	Örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı

Kısaltmalar

D	karot apı
L	karot boyu
M	Numunenin doğal kütlesi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanının bulunduğu yer haritası.....	2
Şekil 1.2 a. Duvar kaplaması olarak kullanılan yapı taşı, b. taşların yol ve kaldırımlarda kullanımı, c. ebatlanmış blok taşı, d. zemin döşemesi olarak kullanılmış parke taşı, e. parke taşı, f. bordür taşı, g. satışa hazır zemin kaplama taşı	9
Şekil 1.3 a. Duvar kaplaması olarak kullanılan yapı taşı, b. taşların yol ve kaldırımlarda kullanımı, c. ebatlanmış blok taşı, d. zemin döşemesi olarak kullanılmış parke taşı, e. parke taşı, f. bordür taşı, g. satışa hazır zemin kaplama taşı	10
Şekil 1.4 2015-2016 yılları arası aylara göre doğal taş ihracat rakamları.....	12
Şekil 2.1 Çalışmanın akış diyagramı.....	14
Şekil 2.2 Deneylere hazır hale getirilen numunelerin genel görüntüsü	16
Şekil 2.3 a. Karot örneğin boyunun (L), ölçümü, b. karot örneğin çapının (D) ölçümü, c. numunenin kütlesinin hassas terazide tartımı	18
Şekil 2.4.a. Hidrolik pres ve yükleme başlıkları	23
Şekil 2.5 a. Böhme aşınma deney aletinin şematik görünümü,	25
Şekil 3.1 İncelenen örneklerin porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi	30
Şekil 3.2 İncelenen örneklerin porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	30
Şekil 3.3 İncelenen örneklerin porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi.....	31
Şekil 3.4 İncelenen örneklerin porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	31
Şekil 3.5 İncelenen örneklerin porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi	32
Şekil 3.6 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi	33
Şekil 3.7 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	33
Şekil 3.8 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	34
Şekil 3.9 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	34
Şekil 3.10 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üst ilişkinin grafiksel gösterimi.....	35

Şekil 3.11	İncelenen örneklerin ağırlıkça birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi.....	36
Şekil 3.12	İncelenen örneklerin ağırlıkça birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi.....	37
Şekil 3.13	İncelenen örneklerin ağırlıkça ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi.....	37
Şekil 3.14	İncelenen örneklerin ağırlıkça ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	38
Şekil 3.15	İncelenen örneklerin ağırlıkça birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üs ilişkinin grafiksel gösterimi.....	38
Şekil 3.16	İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi.....	39
Şekil 3.17	İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	40
Şekil 3.18	İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi.....	40
Şekil 3.19	İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	41
Şekil 3.20	İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	41
Şekil 3.21	İncelenen örneklerin doymuş birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi.....	42
Şekil 3.22	İncelenen örneklerin doymuş ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	43
Şekil 3.23	İncelenen örneklerin doymuş birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi.....	43
Şekil 3.24	İncelenen örneklerin doymuş birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	44
Şekil 3.25	İncelenen örneklerin doymuş birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üs ilişkinin grafiksel gösterimi.....	44
Şekil 3.26	İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi.....	46
Şekil 3.27	İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	46
Şekil 3.28	İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi.....	47
Şekil 3.29	İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi.....	47
Şekil 3.30	İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üs ilişkinin grafiksel gösterimi.....	48

Şekil 3.31 İncelenen örneklerde Böhme aşınma kaybının gerçek ve tahmin edilen değeri arasındaki ilişki	51
Şekil 3.32 İncelenen örneklerde Böhme aşınma kaybının gerçek ve tahmin edilen değeri arasındaki ilişki	52



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Çalışmada kullanılan numunelerin lokasyonları ve adları.....	3
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan numunelerin	28
Çizelge 3.2 İncelenen örneklerin porozite değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri.....	29
Çizelge 3.3 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri	32
Çizelge 3.4 İncelenen örneklerin birim ağırlık değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri.....	36
Çizelge 3.5 İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri	39
Çizelge 3.6 İncelenen örneklerin doymuş birim ağırlık değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri	42
Çizelge 3.7 İncelenen örneklerin doymuş birim ağırlık değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri	45
Çizelge 3.8 Çoklu regresyon analizi için alt kümeler	49
Çizelge 3.9 İki bağımsız değişkenden oluşan çoklu regresyon analizinden elde edilen en iyi alt kümeye ait istatistik sonuçları	50
Çizelge 3.10 Böhme aşınma kaybının varyans analizi.....	50
Çizelge 3.11 Üç bağımsız değişkenden oluşan çoklu regresyon analizinden elde edilen en iyi alt kümeye ait istatistik sonuçları.....	51
Çizelge 3.12 Böhme aşınma kaybının varyans analizi.....	52

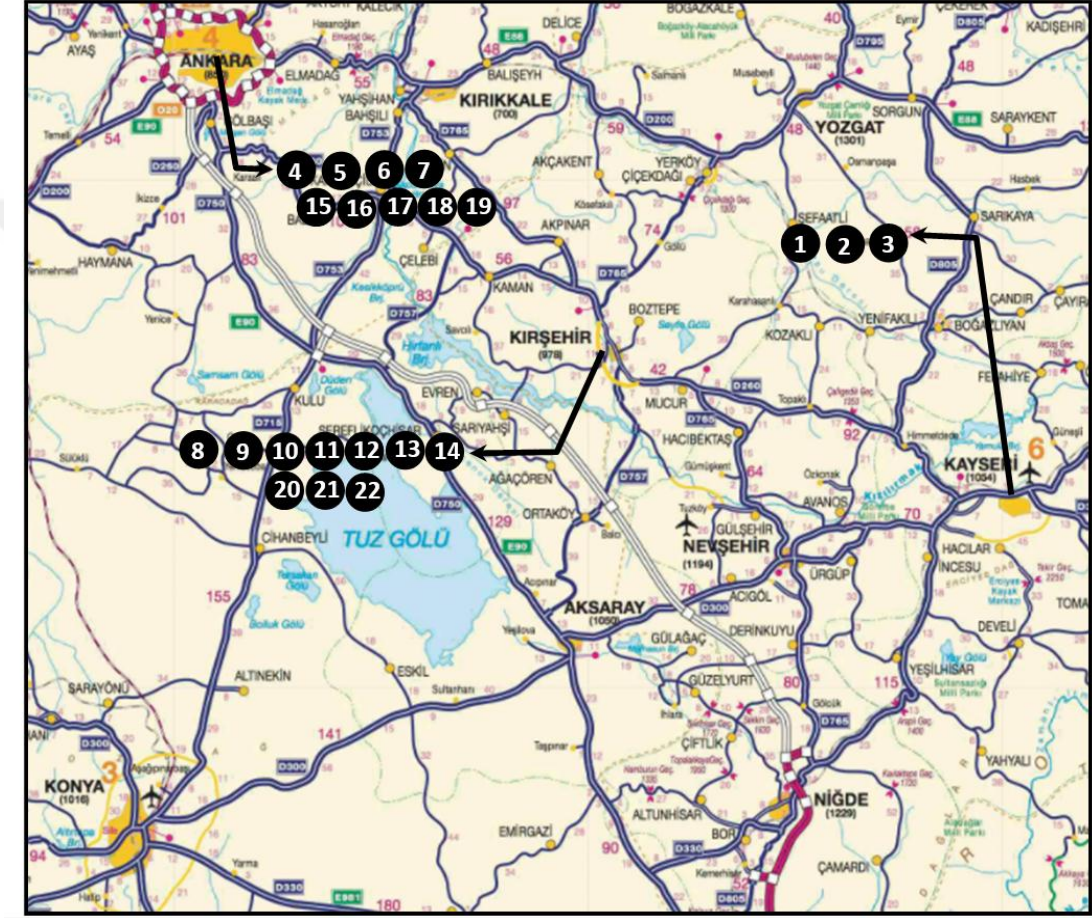
1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Doğal yapıtaşları sertlik, dayanım, dekoratif görünüm, kolay şekil verilebilme gibi özelliklerinden dolayı tarihi dönemlerde önemli yapılarda malzeme olarak kullanılmışlardır. Halen bu özelliklerinden dolayı günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıtaşları binalarda kullanıldıkları yerlere bağlı olarak zaman içerisinde aşınır; hatta, ilerleyen aşamalarda tamamen kullanılmaz hale gelebilir. Taban düşmesi (kaldırım, merdiven vb.) olarak kullanılan yapıtaşları yüzey kaplamasında kullanılan yapıtaşlarına nazaran yaya trafiğine bağlı olarak daha fazla aşınır. Yapıtaşlarının aşınma dirençleri yapı ömrü açısından oldukça önemlidir. Kayaçların aşınma dayanımları kullanma amaçlarına göre Böhme aşınma kaybı indeksi deneyi, Mikro Deval aşınma kaybı indeks deneyi, Los Angeles aşınma kaybı indeks deneyi vb. gibi yöntemlerle belirlenir. Taban döşemesi olarak kullanılan yapıtaşlarında aşınma kayıplarının belirlenmesi Böhme aşınma kaybı deneyi EN 14157 (2004)'e göre yapılır. Deney 7 X 7 X 7 cm boyutlarında küp şeklinde hazırlanan blok numunelerin, üzerine aşındırıcı serpilmiş döner bir disk üzerinde belli bir yük altında aşındırılması ile hacimsel kaybının yüzde olarak belirlenmesi ilkesine dayanır. Böhme aşınma kaybı deneyinin gerek numune hazırlanma aşaması gerekse deney yapma aşaması zor ve zahmetlidir. Ayrıca deney cihazı birçok laboratuvar da bulunmayabilir. Bu çalışmada; yaygın olarak kullanılan yapıtaşlarının Böhme aşınma kaybı dayanım indeks değerlerinin daha kolay ve kısa sürede istatistiksel olarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kayaçların temel indeks özellikleri (kuru birim ağırlık, tane birim ağırlığı, porozite, boşluk oranı vb.) bağımsız değişken olarak kullanılarak, bu değerler ile Böhme aşınma kaybı indeksi değerleri arasındaki ilişki tekli ve çoklu regresyon analizleri ile belirlenmiştir.

1.2 Çalışma Alanının Yeri ve Ulaşımı

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesinde, Ankara, Aksaray ve Kırşehir il sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Alınan numuneler kayaç türleri ve nereden alındıkları çizelge 1.1’de sunulmuştur.



Şekil 1.1 Çalışma alanının bulunduğu yer haritası (Rakamlar örneklemelerin yapıldığı lokasyonları göstermektedir) (<https://www.google.com.tr> 2017a)

Çizelge 1.1 Çalışmada kullanılan numunelerin lokasyonları ve adları

Sıra No	Kayacın Adı	Lokasyonu
1	İgnimbirit	Kayseri
2	Gabro	Kayseri
3	Diyabaz	Kayseri
4	Metakireçtaşı	Elmadağ, Ankara
5	Trakit	Gölbaşı, Ankara
6	Mermer	Mamak, Ankara
7	Alkalin Bazalt	Bağlıca, Ankara
8	Andezit	Kırşehir
9	Ojit Andezit	Kırşehir
10	Alkalen Bazalt	Kırşehir
11	Andezitik Bazalt	Kırşehir
12	Silisleşmiş Andezit	Kırşehir
13	Ojit Andezit	Kırşehir
14	Andezitik Bazalt	Kırşehir
15	Metakireçtaşı	Temelli, Ankara
16	Kumtaşı	Temelli, Ankara
17	Metakireçtaşı	Temelli, Ankara
18	Kireçtaşı	Temelli, Ankara
19	tüf	Temelli, Ankara
20	tüf	Aksaray
21	tüf	Kırşehir
22	tüf	Kırşehir

1.3 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

1.3.1 Ankara Bölgesinin Genel Jeolojisi

Ankara il sınırları içinde kalan alanlar Torid Anatolit Platformu ve Kırşehir Bloku üzerinde olup farklı jeolojik özelliklere sahip kayalardan oluşmaktadır. En yaşlı birimler, derinleşen bir denize ait çökellerin bugüne gelen izleri olan Triyas yaşlı metamorfiklerdir. Kıta şevinden kopan daha yaşlı (Karbonifer-Permiyen) kayaç blokları çökelime eşlik etmiştir. Okyanusun, Paleotetisin, kapanması sonucu su üstüne çıkan bu kayalar Liyasta açılmaya başlayan yeni bir okyanusun (Neotetis) çökelleri ile örtülmeye başlamıştır. Aynı dönemdeki volkanik aktivite ürünü kayaçlar (aglomera, tüf, bazalt) gelişmeye başlamıştır. Kretase'den itibaren bölgede etkin olan sıkışma sonucu Neotetisin malzemesi kıta kabuğu üzerinde çıkarak Eldivan Ofiyolit topluluğu ve Dereköy Ofiyolitli Melanjı olarak adlandırılan kayaç karmaşıkları meydana gelmiştir. Tektonik aktiviteler sonucu Üst Kretase'den itibaren başlayan derinleşme ile derin deniz

kayaçları türbiditler çökmeye başlamıştır. Paleosen'de önemli bir granitik magma sokulumu yaşanmıştır. Esosen döneminde karasallaşma başlamış ve hem denizel hemde karasal ortamlarda kayaçlar oluşmuştur. Oligosen'de ise evaporitik göllerde jipsler çökelmiştir. Miyosen döneminde tektonik etkiler önemli volkanik aktiviteleri tetiklemiş ve andezit, tuf, aglomera oluşumları geniş alanları kaplamıştır. En genç volkanik aktivite Pliyosen yaşlı Bozdağ bazaltıdır. Pliyosen sonlarında volkanik aktivite durmuştur. Ankara ilindeki en genç jeolojik oluşumlar ise eski ve güncel alüvyonlardır (Anonim 2002).

1.3.2 Aksaray Bölgesinin Genel Jeolojisi

Aksaray Bölgesindeki birimlerin temelini Paleozoyik yaşlı Bozçaldağ Formasyonuna ait mermerler oluşturur. Bu mermerin üzerinde ise uyumsuz olarak Tersiyer yaşlı Selime Tufu yer alır. Selime tufunun üzerine uyumlu olarak Tersiyer yaşlı Gelveri ignimbiriti gelir. Gelveri ignimbiritinin üzerinde uyumlu olarak Tersiyer yaşlı Kızılkaya ignimbiriti bulunur. Kızılkaya ignimbiritinin üzerinde Kuvaterner yaşlı Hasandağ volkanitleri bulunmaktadır. Hasandağ volkanitlerinin üzerinde volkanik bir sokulum yaparak yerleşmiş Kuvaterner yaşlı Kuyulutatlar volkaniti yer almaktadır. Kuyulutatlar volkanitinin üzerinde uyumsuz olarak yerleşmiş Kuvaterner yaşlı Traverten bulunmaktadır (Toprak 1998). Seviyenin en üstünü alüvyon oluşturmaktadır.

1.3.3 Kayseri Bölgesinin Genel Jeolojisi

İnceleme alanındaki ayırtılan birimler, kaya stratigrafi birimlerinin ayrımı esasına dayandırılmıştır. İnceleme alanında yüzeyleyen ve 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritasına işlenen birimlerin adlandırılması yapılırken önceki çalışmalarda verilen adların kullanılmasına özen gösterilmiştir.

İnceleme alanında mostra veren kaya stratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru şu şekilde şöyle sıralanır: Orta Miyosen yaşlı Yemliha Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Güvercinlik andeziti, Üst Miyosen - Pliyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonu, Üst

Pliyosen yaşı Göbü tüfü, Üst Pliyosen yaşı Çatakdere tüfü, Üst Pliyosen yaşı Valibaba ignimbiriti, Alt Pleyistosen yaşı Koçdağ volkanitleri, Alt Pleyistosen yaşı Başakpınar tüfü, Alt Pleyistosen yaşı Alakuşak ignimbiriti, Alt Pleyistosen yaşı eski alüvyon, Holosen yaşı akarsu çökelleri ve alüvyon yelpazeleri bulunmaktadır (Toprak 1998).

1.3.4 Kırşehir Bölgesinin Genel Jeolojisi

Kırşehir Masifi olarak adlandırılan yapı Orta Anadolu Masifi'nin bir parçasıdır. Türkiye'nin 9 masifinden en büyüğü olan Kırşehir Masif'i Tuz Gölü'nün altında da devam etmektedir. Masif kütle, tektonik hareketler sonucu bir veya bir kaç kez kıvrılmış, daha sonra kıvrılma özelliğini kaybederek sertleşmiş, çoğunluğu başkalaşım geçirmiş, temel küttedir. Kırşehir Masifi, I., II., III. ve IV. zamanlarda oluşmuş, yaklaşık 2000-2500 m. kalınlıkta bir yapıdır. Bu yapıda yukarıdan aşağıya doğru: Kireçli şistler, fillatlar, yeşil şistler, mermer kuşakları; küçük taneli billurlu kuvarsitler, mikaşistler ve mermer katmanlarına rastlanır.

Bölge incelendiğinde dört ayrı oluşum ve değişik dönem yer yapısı görülür. Kırşehir ili ve yakın dolayında temelde yer alan en yaşlı kaya birimlerini metamorfik kayalar oluşturmuştur. Söz konusu metamorfik kayalar Paleozoyik-Mezozoyik yaşı Kırşehir Masifi olarak adlanmıştır. Kırşehir masifi litostratigrafik olarak Kalkanlıdağ, Kervansaraydağ, Bozçaldağ ve Haciselimli formasyonlarına ayrılmıştır. Paleozoyik yaşı bu kayaç grubu düşük-orta sıkışma, yüksek sıcaklık koşullarında, yeşilşist, almandin-amfibolit ve yer yer de granülit fasiyeslerinde bölgesel metamorfizmaya uğramıştır. Kırşehir masifini oluşturan metamorfik kayaları, Santoniyen - Kampaniyen yaşı intrüzif dokanaklıgrani toydler (Baranadağı granitoyidi, Buzlukdağı siyenitoyidi) tarafından kesilmiştir. Kestiği birimlerde kontakt metamorfizma geliştirmişlerdir. Tüm bu birimler üzerine açısız uyumsuzlukla Tersiyer yaşı birimler gelir. Alt-Orta Eosen yaşı Baraklı formasyonu çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı kaya birimlerinden oluşur. Bu formasyon üste doğru düşey ve yanal yönde tedrici olarak Orta-Üst Eosen yaşı Çevirme formasyonuna geçer. Çevirme formasyonu, masif kireçtaşı ara tabakalı kumtaşı, siltaşı ve çamurtaşı kaya birimlerinden oluşmuştur. Çalışma alanının en genç oluşumları vadi ve akarsu yataklarında bulunan alüvyonlardır (Toprak 1998).

1.4 Yapı Taşı Kavramı

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte doğal taşları kesen ve işleyen makinelerin üretilmesi ile her türlü doğal taş yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Doğal taşlar binaların iç, dış yüzeyleri ve çevre düzenlemelerinde kesilerek ya da şekilsiz olarak kullanımının artmasıyla mermer ve yapı taşı kavramı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Mermerin jeolojik ve ticari olmak üzere iki farklı tanımı mevcuttur. Jeolojik olarak mermer, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının ısı ve sıkışma altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayaç olarak tanımlanmaktadır.

Ticari veya endüstriyel anlamda ise, uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan ya da yüzeyi işlenebilen kaya özellikleri kaplama taşı normlarına uygun olan her türden yapı malzemesine (sedimanter, magmatik ve metamorfik) "mermer" denir (Anonim 2001). Bu tanım gereği kireçtaşı, traverten, kumtaşı gibi sedimanter; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da ticari olarak mermer olarak adlandırılırlar.

Ticari anlamda yaygın olarak kullanılan "mermer" terimi daha dar bir kapsamda yapıların düşey yüzeylerinde (iç ve dış), zemin döşemesinde, merdiven basamaklarında ve dekoratif amaçlı gerçekleştirilen her türlü kaplamalarda kullanılan taşlar ticari alanda "mermer" adıyla anılmaktadır (Anonim 2001).

Genel olarak değerlendirildiğinde yapı taşı; yerkabuğundan çıkarılıp, doğrudan veya işlenerek çeşitli amaçlarla kullanılan doğal malzemelere denir. Daha kapsamlı bir tanım yaparsak; yol ve kaldırım döşemesi, bordur taşı, duvar ve dayanma yapısı malzemesi, çatı örtüsü, kıyı tahkimatı, dalgakıran ve baraj inşaatı, agrega üretimi gibi geniş bir alanda kullanılan doğal taşlar için de "yapı taşı" terimi kullanılmaktadır. Doğal taş sektörü kapsamı içinde ise yalnızca peyzaj amaçlı kullanılanlar "yapı taşı" olarak kabul edilmektedir. Bunlar granit, siyenit gibi plutonitler, bazalt, andezit gibi volkanitler, tüfit gibi volkanosedimanterler olabileceği gibi traverten, kumtaşları gibi sedimanter

kayaçlar da olabilir. Bazı durumlarda ise doğal süreksizlikleri boyunca plaka şeklinde ayrılan gnayslar, fillit ve arduvazlar gibi metamorfikler de peyzaj amacıyla yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Ürün ebat ve özellikleri kullanım alanlarına göre farklılıklar göstermektedir (Anonim 2001, Erdoğan ve Yüzer 1999).

Doğal taşların veya mermerlerin değerlendirilmesinde jeolojik, mineralojik, petrografik, yapısal, jeoteknik unsurlar ve teknolojik unsurlara göre değişik sınıflamalar mevcuttur (Kulaksız, 2005). Dekorasyon amacıyla, mermer ve yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar kullanım yerlerine, ebatlarına ve yüzey şekillerine göre 4 ana grupta incelenebilir (Çelik 2003).

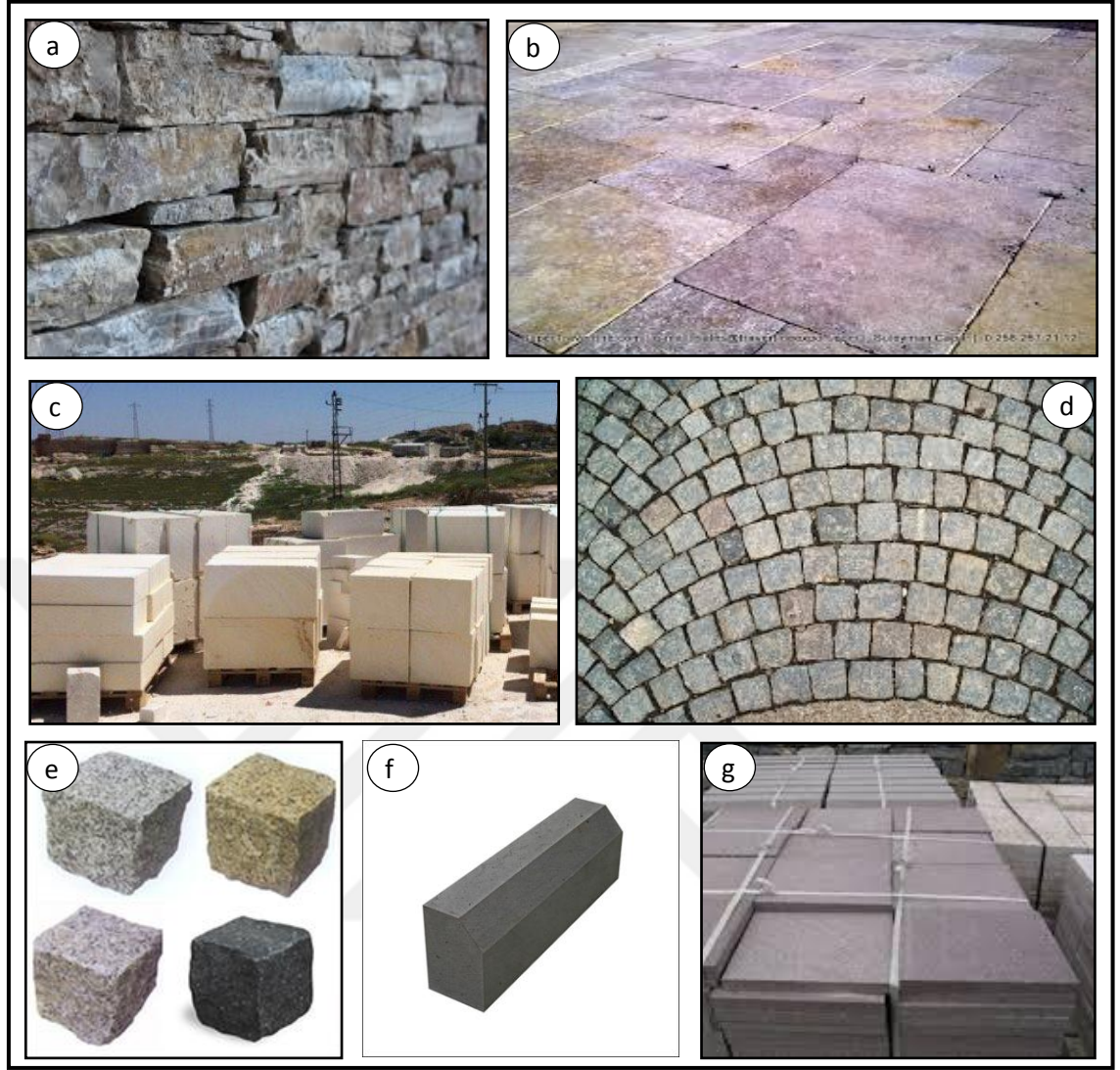
1. Yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar (blok ve moloz taşlar, ocak taşı)
 - a. Geometrik şekilsiz bloklar
 - b. Geometrik şekilli bloklar
2. Kesilmiş ve işlenmiş doğal taşlar (mermer)
 - a. Yüzeyi düzgün doğal taşlar (cilalı)
 - b. Yüzeyi pürüzlü doğal taşlar (cilasız)
3. Doğal yarılmış, yüzeyi pürüzlü doğal taşlar.
4. Çakıl taşları (toplama taş)

1.5 Yapı Taşı Olarak Kullanılan Doğal Taşlar

Doğal yapı taşları, insanlığın kullandığı en eski yapı malzemelerinden biridir. Yaygın olarak binalarda kesme taş ve moloz taşlar kullanılmaktadır. Moloz taşın bütün yüzeyleri doğal şekillerinde olabilirken yüzeylerin testere ya da katrak ile düzeltilmesi sonucunda kesme taş elde edilmektedir. Moloz taş ve kesme taşlar yapıların temel ve yüzey kaplamalarında kullanılabilmesi gibi parke ve bordur taşı olarak yol ve kaldırımlarda kullanılmaktadır (Şekil.1.2.a,b). Şekil faktörü göz önünde bulundurulduğunda dekoratif yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar, geometrik şekilsiz bloklar ve geometrik şekilli bloklar olarak sınıflandırılabilir (İnce 2013)

Ocaklardan sökülen değişik ebatlı ve belli bir geometrisi olmayan taşlar "moloz taş" olarak isimlendirilir. Moloz taşlar genellikle taş ocaklarından elde edildiği gibi belli bir işlem sonrasında kullanılabilen ve düzgün yüzeyleri olmayan yapı malzemeleridir (Şekil 1.2.c).

Geometrik şekilli bloklar, düzlemsel yüzeye ve prizmatik bir şekle sahip olan yapı taşlarıdır. Bu tip yapı taşları kullanım yerleri ve amaçlarına göre mekanik olarak ya da çeşitli el aletleri yardımıyla işlenerek dekoratif amaçlı olarak da kullanılabilir. Burada kullanılacak olan taşın en önemli özelliği renk ve boyutun yanı sıra el aletleri ile düzgün şekil alabilmesidir (Çelik 2003). Gerek makine gerekse el ile şekillendirilen taşlar, kullanım yerine, boyutlarına ve şekillerine göre de parke taşı (elle kırma kp taş), kaldırım taşı, bordür taşı, döşeme taşı, kesme kp taş gibi değişik isim alırlar (Şekil 1.2.d-g).



Şekil 1.2 a. Duvar kaplaması olarak kullanılan yapı taşı, b. taşların yol ve kaldırımlarda kullanımı, c. ebatlanmış blok taşı, d. zemin döşemesi olarak kullanılmış parke taşı, e. parke taşı, f. bordür taşı, g. satışa hazır zemin kaplama taşı (İnce 2013)

1.5.1 İşlenmiş doğal yapı taşlar

Taş endüstrisinde en çok bilinen ve kullanılan yapı taşları bu gruptandır. Bu tanım gereğince kireçtaşı, traverten, kumtaşı gibi tortul, gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da ticari anlamda "mermer" olarak adlandırılırlar. Bu gruptaki taşlar yüzeyleri cilalı olan ya da belli bir işlem yardımıyla değişik dekoratif özellikler kazandırılan cilasız (honlu) taşlar iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 1.3.a,b,c).

1.5.2 Dekoratif doğal yarılmış, yüzeyi pürüzlü doğal taşlar

Bu gruba giren doğal taşlar, kayrak taşı, sleyt ya da arduvaz olarak bilinirler ve metamorfizma sırasında kazanılan klivaj düzlemi boyunca düzgün yüzeyler halinde ayrılma özelliklerinden faydalanılarak kullanılan taşlardır (Şekil 1.3.d).

1.5.3 Çakıl taşları

Yeryüzünde yüzlek veren kayaçların zaman içerisinde ayrışma, parçalanma ve taşınma süreci sonucunda dış yüzeyleri yuvarlak ve yuvarlağa yakın biçimli, genellikle dere yataklarında bulunan çakıl taneleri bu gruba (Şekil 1.3.e). Çakıl taşların dekoratif amaçla kullanılabilmesi için aynı cins, renk, özellik bakımından benzerlik göstermeli ve yeteri kadar temin edilebilmeleri gereklidir.



Şekil 1.3 a. Duvar kaplaması olarak kullanılan yapı taşı, b. taşların yol ve kaldırımlarda kullanımı, c. ebatlanmış blok taşı, d. zemin döşemesi olarak kullanılmış parke taşı, e. parke taşı, f. bordür taşı, g. satışa hazır zemin kaplama taşı (İnce 2013)

1.6 Dünya ve Türkiye’de Yapı Taşı Sektörü

1.6.1 Dünya’da yapı taşı sektörü

Dünya doğal taş ihracatları incelendiğinde, Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan ve Türkiye gibi ülkelerde kalsiyum karbonat oranı yüksek olan karbonat kökenli kayaçların, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Çin, Brezilya, İran ve Kanada gibi ülkelerde ise cila alma özellikleri yüksek, koyu renge sahip magmatik kökenli yapı taşlarının bulunduğu görülmektedir.

Dünya doğal taş sektöründe Çin, İtalya, İspanya, Türkiye, Hindistan, Brezilya ve Portekiz dünya doğal taş üretiminin yaklaşık % 70’ni gerçekleştirmekte, son yıllarda üretimini arttıran ülkeler sıralamasında Çin, Türkiye ve Brezilya ilk üç sırayı paylaşmaktadır (İnce 2013).

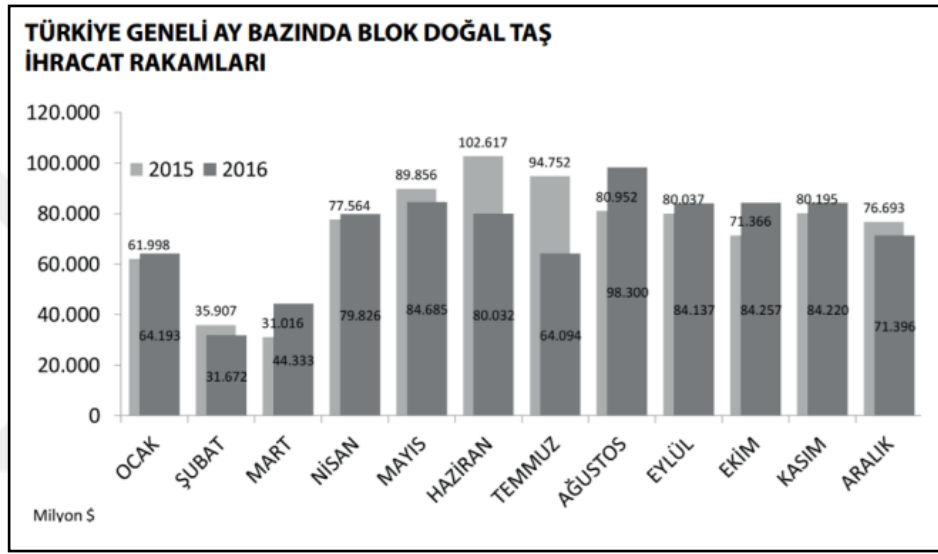
1.6.2 Türkiye’de yapı taşı sektörü

Türkiye’nin jeolojik yapısından dolayı hemen hemen her bölgesinde çok çeşitli ve zengin doğal taş rezervleri bulunmaktadır. Bu doğal taşlar Anadolu’yu tarihin ilk çağlarından itibaren yurt edinen bütün uygarlıklar tarafından işletilmiştir. Anadolu’da yaşamış uygarlıkların doğal taşları kullandıklarının en önemli göstergesi etrafımızdaki tarihi yapılardır. Türkiye doğal taş rezervine ilişkin ilk değerlendirme 1966 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılmış ve yaklaşık 5.000.000.000 m³ (Görünür + Muhtemel + Mümkün) ile dünya mermer potansiyelinin % 40’ına sahiptir. 1990-1994 yılları arasında Devlet Planlama Teşkilatı’nın (DPT) Türkiye Mermer Envanteri” çalışması sonucunda ise bu miktar 7.600.000.000 m³ olarak hesaplanmıştır (Taşlıgil ve Şahin 2016).

Ülkemiz jeolojik yapısı itibariyle çeşitli renk ve desende zengin doğal taş rezervlerine sahiptir. Yapı taşı olarak kullanılan kayaçların en çok bilinen ve tercih edilenleri bazalt, granit, andezit, kumtaşı, kireçtaşı, tüf, mermer, arduvaz ve diyabazdır. Uluslararası

piyasalarda en tanınmış mermer çeşitleri, Elazığ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Ege Bordo, Milas Leylak, Gemlik Diyabaz ve Afyon Şeker'dir (Çetin 2003).

Türkiye'nin maden ihracatı içindeki doğal taş ihracatının son 3 yıl içerisindeki payı incelendiğinde her geçen yıl artışı gözlenmektedir. Bu artış 2015-2016 yılları arası verilerde açıkça görülmektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 2015-2016 yılları arası aylara göre doğal taş ihracat rakamları (<http://www.tim.org.tr> 2017b)

1.7 Önceki Çalışmalar

Koçu ve Dereli (2003), donma-çözülme süreci sonrası kayacın dokusal özelliklerinde meydana gelen değişimlerin yapı taşının fiziksel, dayanım ve aşınma parametrelerinde önemli değişimlerin oluşmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla bu etkinin yapı taşının kullanım süresini azalttığını belirtmişlerdir.

Karaca vd. (2010), doğal yapıtaşları üzerinde yaptıkları çalışmada zemin kaplaması olarak kullanılan bazı yapıtaşlarının farklı temas yükleri altındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Yapıtaşlarının aşınma özelliklerini sektörde yaygın olarak kullanılan

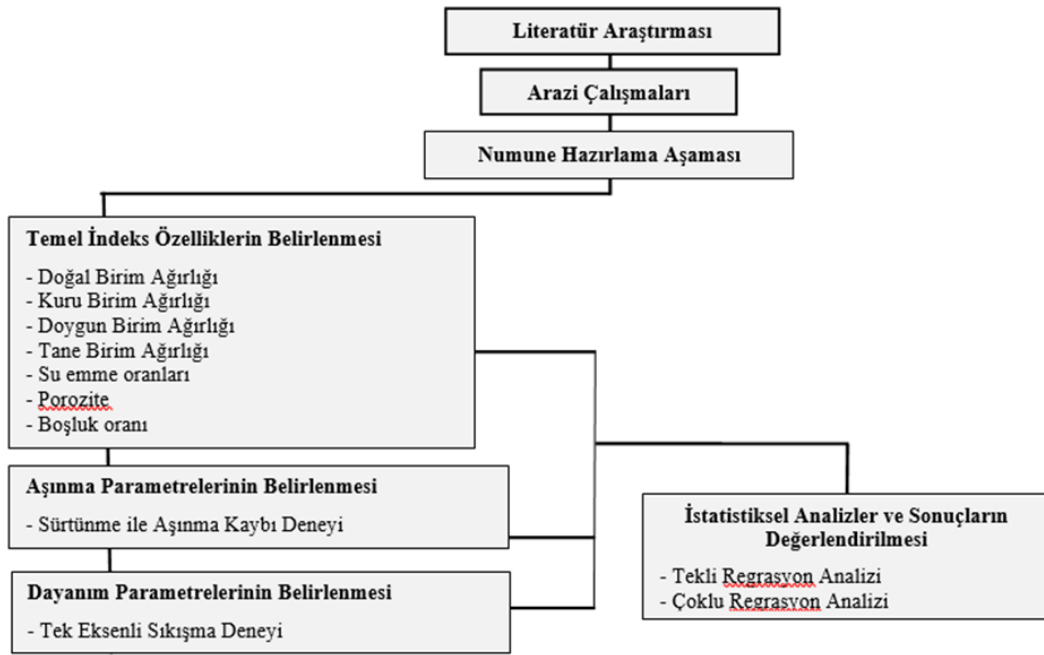
Böhme aşınma test cihazı ile tespit etmişlerdir. Numuneleri 100 ile 500 N arasında değişen temas yükleri uygulayarak test etmişlerdir. Bu esnada diğer parametreler sabit tutulmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre karbonatlı yapı taşlarında yük artışına bağlı olarak aşınmanın doğrusal olduğunu, granitlerde ise aşınmanın yük artışına bağlı doğrusal olarak değişmediğini gözlemlemişlerdir. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre zemin döşeme taşı olarak kullanılacak yapıtaşlarının seçiminde temas yüküne bağlı aşınma kaybının önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir.

Çobanoğlu vd. (2010)'da yaptıkları çalışmada, Denizli/Türkiye bölgesinde çoğunluğu karbonatlı kayalardan oluşan 21 farklı yapıtaşının aşınma kayıplarını hem geniş tekerlekli aşınma deneyi ile hem de Böhme aşınma deneyi ile belirlemişlerdir. Elde ettiği sonuçlara göre kayaların Geniş Tekerlekli Aşınma kayıpları ile Böhme aşınma kayıpları arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip bir ilişkinin olduğunu belirlemişlerdir. Dolayısıyla deney yöntemlerinin birbiri yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Sefer (2018), Karbonat kayalarının aşınma dirençlerinin geniş disk aşınma deney cihazı ile belirlemiştir. Bu çalışma kapsamında, Batı Anadolu'dan çeşitli bölgelerinden derlenmiş olan 11 tür traverten, kireçtaşı, mermer ve dolomit kaya gruplarının geniş disk aşınma değerlerini incelemiştir. Yaptığı çoklu regresyon analizleri sonucunda geniş disk aşınma değerlerinin ekonomik ve pratik yöntemlerden tahmini için denklemler önermiştir. Çalışmasında ülkemizde kullanımı yaygınlaşmaya başlayan geniş disk aşınma deneyini tanıtmış ve 11 karbonat kayası için geniş disk aşınma değerlerini belirlemiştir. Daha fazla karbonat kaya türü ve farklı türdeki kayalar üzerinde geniş disk deneyleri yapılarak daha yaygın ilişkilerin geliştirilmesi önerilmiştir. Aşınma ve dayanım gibi mekanik özellikler üzerinde kaya anizotropisinin önemini vurgulamış; çalışmasında incelenen örneklerin anizotropik özelliklerini dikkate almamıştır. Çalışmasında kaya anizotropisinin aşınma değerleri üzerindeki etkisinin incelenmesi gerektiğini önermiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışma alanı; İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Kırşehir illerinin çevresinde yüzeyleyen ve yapı taşı olarak kullanılan veya kullanılması muhtemel kaya birimlerinin mostra verdiği yerler olarak belirlenmiştir. 2015-2016 yılları arasında sürdürülen bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışması olarak 3 aşamada yürütülmüştür. Çalışmanın aşamaları aşağıdaki akış diyagramında sunulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Çalışmanın akış diyagramı

Literatür araştırması: Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar kronolojik olarak okunmuş ve değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Ankara Üniversitesinin Kütüphanesi ve Üniversitemizin üye olduğu süreli yayınlar internetten taranmıştır.

Arazi çalışması: Arazi çalışmaları; indeks, dayanım ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi için blok örnek derlenmesi şeklinde yürütülmüştür. Yüzeyle araştırması işleminden sonra yapılacak çalışmanın amacına uygun olabileceği düşünülen kaya

birimlerinin fiziksel ve jeomekanik özelliklerini ortaya koyabilmek için 22 lokasyondan alınan 22 numuneden 100'e yakın blok örnek derlemesi yapılmıştır.

2.1 Laboratuvar Çalışmaları

Belirlenen kaya birimlerinden yapı taşı olarak kullanılan veya kullanılabilir kaya birimlerinin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla iki farklı laboratuvar çalışılmıştır. Temel indeks özelliklerinin ve bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesinde Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı kullanılmış, Böhme aşınma kaybı deneyleri ise Ömer Halisdemir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.1.1 Numune hazırlama

Bu çalışmada her bir örnek üzerinde yapılacak olan deneyler için ilgili standartlara uygun numune hazırlanmıştır.

Jeomekanik deneyler için numune hazırlama; Değişik kaya mekaniği deneylerinden sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla standartlara uygun boyutta ve nitelikte örnek hazırlaması, deneylerin öncelikle ilk ve en önemli aşamasıdır (Ulusay vd. 2001). Laboratuvarda silindirik karot örneklerinin alınması, bunların kesilmesi ve belirli standartlara göre yüzeylerinin düzeltilmesi amacıyla, delici, kesici, düzleyici ve parlatici gereçler kullanılarak yapılan işlemlerin tümü, örnek hazırlama işlemi olarak tanımlanır (Ulusay vd. 2001). Örneklerin deneye hazır hale getirilmesi işleminde belirtilen hususlar dikkate alınmıştır, (Anonymous 1994 Anonymous 1981).

Karot alma işlemi; araziden getirilen çeşitli büyüklüklerde blok ve moloz numunelerinin karot alma makinesi sabitleyicileri tarafından sıkıştırıldıktan sonra sert veya yumuşak kaya türüne uygun uçlu 54,7 mm ve 380 mm'lik karotiyerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böhme aşınma kaybı deneylerinde 7 X 7 X 7 boyutlarında numune

elde etmek zor olduğu ve bazı örneklerde yeterli miktarda numune bulunmadığı için Böhme aşınma kaybı deneylerinde küp numune yerine silindir numuneler kullanılmıştır.

Alınan karotlar üzerinde yapılan deneylerin doğru sonuç verebilmesi için karotlar kontrol edilmiş, üzerinde herhangi bir süreksizlik bulunduranlar ayıklanmıştır. Daha sonra uygun nitelikteki karotların iki ucu taş kesme makinesi ile kesilerek düzeltilmiş, karot düzeltme makinesi yardımıyla alt ve üst yüzelerindeki pürüzlüğü alınmıştır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra karotlar numaralandırılarak, deneylere hazır hale getirilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Deneylere hazır hale getirilen numunelerin genel görüntüsü

2.1.2 Laboratuvar deneyleri

Laboratuvar deneyleri, kullanılan malzemelerin temel fiziksel, dayanım ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi 3 ana başlık altında incelemiştir.

2.1.2.1 Temel fiziksel özellikler

Numunelerin temel fiziksel özellikleri ISRM (2007), TS 699/T1 (2016)'de belirtilen standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde; numunelerin yoğunluğu, kuru yoğunluğu, doymun yoğunluğu, birim ağırlığı, kuru birim ağırlığı, doymun birim ağırlığı, görünür porozitesi, boşluk oranı, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı belirlenmiştir.

2.1.2.1.1 Yoğunluk ve birim ağırlık deneyleri

Düzgün bir geometriye sahip biçimde hazırlanan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülür ve bunların ortalaması alınır (Şekil 2.3). Silindirik örneğin boy ve çap değerlerinden faydalanılarak örneklerin hacmi hesaplanır. Numunenin kütlesi 0,01 gr hassaslıktaki terazide tartılır (Şekil 2.3). Bu deney için ISRM (2007)'de önerilen yöntemler dikkate alınmıştır. Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin yoğunluğu (ρ) ve birim hacim ağırlığı (γ) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.1)$$

$$\gamma = 9,81 \rho \quad (2.2)$$

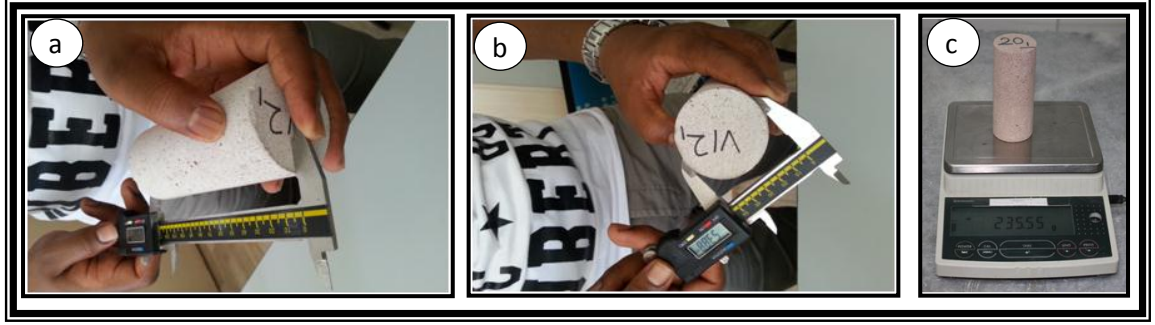
$$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi L \quad (2.3)$$

ρ : Yoğunluk (gr/cm^3)

γ : Birim hacim ağırlık (kN/m^3)

V : Numunenin Hacmi (cm^3)

D : Karot çapı (mm)
 L : Karot boyu (mm)
 M : Kütle (gr)



Şekil 2.3 a. Karot örneğin boyunun (L), ölçümü, b. karot örneğin çapının (D) ölçümü, c. numunenin kütlesinin hassas terazide tartımı

2.1.2.1.2 Kuru yoğunluk ve kuru birim ağırlık deneyi

Bu deney düzenli bir geometriye sahip örneklerin kuru yoğunluğu ve kuru birim ağırlığını belirlemek amacıyla yapılır. Bu deney için ISRM (1981)'de önerilen yöntemler dikkate alınmıştır. Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv ve desikatör kullanılmıştır. Düzgün bir geometriye sahip biçimde hazırlanan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülür ve bunların ortalaması alınır. Silindirik örneğin boy ve çap değerlerinden faydalanılarak örneklerin hacmi hesaplanır. Örnekler $105^{\circ}C$ 'ye ayarlanmış fırında en az 24 saat kurutulduktan sonra soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletilir. Daha sonra numunenin kuru kütlesi (M_k), 0,01 gr hassaslıktaki terazide tartılır. Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin kuru yoğunluğu (ρ_k) ve kuru birim ağırlığı (γ_k) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\rho_k = \frac{M_k}{V} \quad (2.4)$$

$$\gamma_k = 9,81 \rho \quad (2.5)$$

V : Numunenin hacmi (cm^3)

- M_k : Numunenin kuru kütlesi (gr)
 ρ_k : Kuru yoğunluk (gr/cm³)
 γ_k : Kuru birim hacim ağırlık (kN/m³)

2.1.2.1.3 Doygun yoğunluk ve doymun birim ağırlık deneyi

Bu deney düzenli bir geometriye sahip örneklerin doymun yoğunluğu ve doymun birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla yapılır. Bu deney için ISRM (2007)'de önerilen yöntemler dikkate alınmıştır.

Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv ve desikatör kullanılmıştır.

Düzgün bir geometriye sahip biçimde hazırlanan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülür ve bunların ortalaması alınır. Silindirik örneğin boy ve çap değerlerinden faydalanılarak örneklerin hacmi hesaplanır. Örnekler, su dolu bir kaptan 48 saat bekletilerek suya doymun hale getirildikten sonra yüzeyleri kâğıt havlu ile yüzeyi kurulanıp hassas terazide tartılarak doymun kütlesi (M_s) 0,01 gr hassaslıktaki terazide tartılır. Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin kuru yoğunluğu (ρ_r) ve kuru birim ağırlığı (γ_r) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\rho_r = \frac{M_s}{V} \quad (2.6)$$

$$\gamma_r = 9,81 \rho \quad (2.7)$$

- V : Numunenin hacmi (cm³)
 M_s : Numunenin doymun kütlesi (gr)
 ρ_r : Doygun yoğunluk (gr/cm³)
 γ_r : Doygun birim hacim ağırlık (kN/m³)

2.1.2.1.4 Görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini

Bu deney, düzgün bir geometriye sahip örneklerin gözenekliliğinin belirlenmesi amacıyla ISRM (1981)'nin önerdiği hususlara dikkat edilerek yapılmıştır. Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv, desikatör, beher ve kağıt havlu kullanılmıştır. İncelenen kayaç örneğini temsil edebilecek en az üç karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden ölçülerek hacimleri (V), belirlenir. Örnekler, 105 °C ayarlanmış etüvde en az 12 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra 0,01 gr hassaslığa sahip terazi ile tartılarak kuru kütlesi belirlenir (M_k).

Örnekler, su dolu bir kaptan 48 saat bekletilerek suya doymun hale getirildikten sonra yüzeyleri kağıt havlu ile yüzeyi kurulanıp hassas terazide tartılarak doymun kütlesi (M_s) kaydedilir. Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin görünür porozitesi ve boşluk oranı aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$V_v = \frac{M_s - M_k}{\rho_w} \quad (2.8)$$

$$n = \frac{V_v}{V} 100 \quad (2.9)$$

$$e = \frac{n}{1-n} 100 \quad (2.10)$$

V_v : Boşlukların hacmi (cm^3)

n : Porozite (%)

e : Boşluk oranı (%)

M_k : Numunenin kuru kütlesi, (gr)

M_s : Numunenin doymun kütlesi, (gr)

ρ_w : Suyun yoğunluğu (gr/cm^3)

V : Numunenin hacmi (cm^3)

2.1.2.1.5 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi

Düzgün bir geometriye sahip örneklerin ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının belirlenmesi amacıyla Anonim (2017)'de önerilen hususlar dikkate alınarak yapılmıştır. Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv, desikatör, beher ve kağıt havlu kullanılmıştır. İncelenen kayaç örneklerinden alınan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden ölçülerek hacimleri (V) belirlenir. Örnekler saf su doldurulmuş beherde en az 12 saat bekletildikten sonra çıkartılarak yüzeyleri kağıt havlu ile kurulanıp hassas terazide tartılarak kütlesi kaydedilir (M_s). Örnekler, 105 °C' ye ayarlanmış etüvde an az 24 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra hassas terazide tartılarak kuru kütlesi belirlenir (M_k). Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$A_w = \frac{M_s - M_k}{M_k} 100 \quad (2.11)$$

$$H_w = \frac{M_s - M_k}{V} 100 \quad (2.12)$$

A_w : Ağırlıkça su emme oranı (%)

H_w : Hacimce su emme oranı (%)

V : Numunenin hacmi (cm^3)

M_k : Numunenin kuru kütlesi (gr)

M_s : Numunenin doygun kütlesi (gr)

2.1.2.2 Dayanım özellikleri

Kullanılan örneklerin dayanım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla numuneler üzerinde sadece tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri belirlenmiştir.

2.1.2.2.1 Tek Eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi

Silindirik bir şekle sahip kayaç numunesinin tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu deneyde Anonymous (1981) tarafından önerilen esaslar dikkat edilerek yapılmıştır. Bu deney için; deney sırasında örneğe kontrol panelinden seçilen sabit bir hızla eksenel yükleme yapabilen pres ve kumpas kullanılmıştır (Şekil 2.4).

Her bir örnek için daha önce hazırlanan alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri düz ve kırık içermeyen 5 adet numune kullanılmıştır. Örneklerin çapı (D) ve boyu (L) bir birinedik iki ayrı yönden ölçülerek değerlerin ortalaması belirlenir. Tek eksenli sıkışma dayanımı boy/çap oranı 2-2,5 kat olan numunelerde yapılmıştır.

Karot numunesi presin sabit alt plakası ile küresel başlık arasına yerleştirildikten sonra kontrol panelinden yükleme hızı belirlenmiştir (Şekil 2.4.b,c). Yüklemenin başlatılmasından belli bir süre sonra numune yükü taşıyamaz ve kırılır (Şekil 2.4.d). Numunenin kırıldığı andaki yük değeri kontrol panelinden maksimum yük olarak okunur (P). Örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır. Hoek ve Brown (1980) tarafından önerilen standart 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) değeri de belirlenmiştir.



Şekil 2.4.a. Hidrolik pres ve yükleme başlıkları (1: küresel başlık, 2: sabit alt plaka), b. yükleme hızının ayarlanabildiği ve okumaların yapıldığı kontrol paneli, c. tek eksenli sıkışma dayanım deneyinin yapılışı, d. deney sonrası örneklerde oluşan yenilme yüzeyinin görünümü

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (2.13)$$

$$\sigma_{c(50)} = \frac{\sigma_c}{(50/D)^{0,18}} \quad (2.14)$$

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (2.15)$$

σ_c : Örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

$\sigma_{c(50)}$: 50 mm çapındaki karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

A : Numunenin yüzeyin alanı (m^2)

P : Yenilme anındaki yük, (kN)

D : Karot çapı, (mm)

2.1.2.3 Aşınma Deneyi

Kullanılan örneklerin aşınma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla numuneler üzerinde, Böhme aşınma deneyi yapılmıştır.

2.1.2.3.1 Böhme aşınma kaybı deneyi

Böhme aşınma deneyi, standart aşındırıcı toz saçılan aşındırma diski üzerindeki numunenin $0,06 \text{ N/mm}^2$ basınca maruz kaldığı durumda, döner tambur üzerindeki örneğin 352 devir (22 devirden oluşan 16 döngü sonrasında) dönmesi sonucu aşınma değeri olarak tanımlanır.

Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç, gereç; döner disk ile disk üzerinde yer alan aşındırma (sürtünme) şeridi, deney numunesinin yerleştirildiği hücre, ağırlık, bu donanımın dönmesini sağlayacak motor, motorun 22 devir döndükten sonra durmasını sağlayacak düzenekten oluşan Böhme aşınma kaybı deney cihazı ve büyük kısmı korund (kristalize Al_2O_3)'dan oluşan aşındırıcı toz kullanılmıştır (Şekil 2.5). Bu deney EN 14157 (2004)'de önerilen hususlara dikkat edilerek yapılmıştır. Örneğin ağırlığı 0,1 gr hassasiyetle tartılır. Sürtünme şeridi üzerine 20 gr aşındırıcı toz serpilir. Numune örnek yuvasına yerleştirilir ve örnek temas yüzeyine $(294 \pm 3) \text{ N}$ ile yüklenilir. Cihaz çalıştırılarak aşınma diskinin dönme hareketi başlatılır. Diskin dönme hareketi, sırasında sürtünme şeridi dışına çıkan aşındırıcı tozları, uygun bir şekilde sürtünme şeridi üzerinde toplanılır. Disk otomatik olarak 22 devir sonunda durur. Disk ve kontakt yüzeyi uygun bir şekilde temizlenir. Daha sonra sürtünme şeridi üzerine 20 gr aşındırıcı toz tekrar serpilir. Numune 90° çevrilerek örnek yuvasına konulur ve cihaz tekrar çalıştırılır. Bu işlem 16 döngü oluncaya kadar tekrarlanır. Bu şekilde 22'şer devirlik, 16 döngüde bitiş ile toplamda 352 devir uygulanır.

Aşınma 16 döngü sonra numunenin hacim kaybı olarak aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

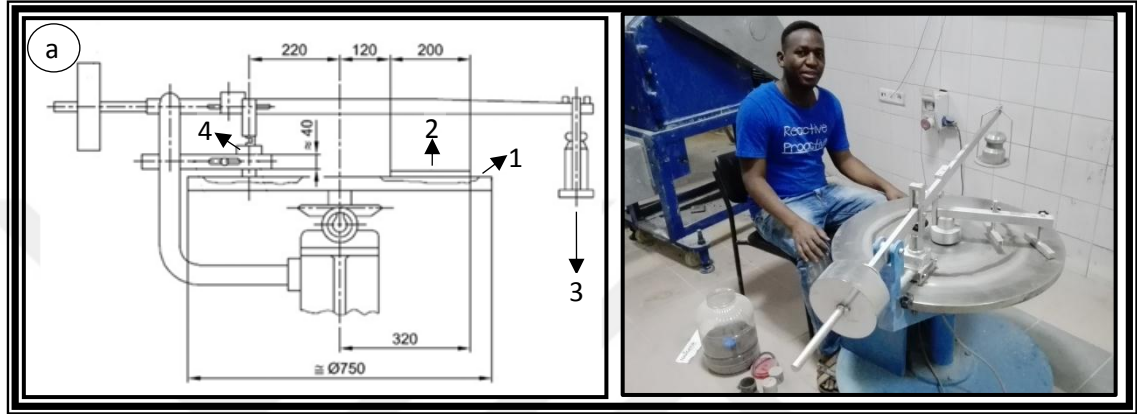
$$\Delta V = \frac{m_i - m_f}{\rho} \quad (2.16)$$

m_f : Numunenin deney sonrası kütlesi (*gr*)

m_i : Numunenin başlangıç kütlesi (*gr*)

ΔV : Numunenin 16 döngü sonrası hacim kaybı ($cm^3/50cm^2$)

ρ : Yoğunluk (gr/cm^3)



Şekil 2.5 a. Böhme aşınma deney aletinin şematik görünümü, 1: döner disk, 2: döner disk üzerinde yer alan sürtünme şeridi, 3: ağırlık, 4: deney numunesinin yerleştirildiği hücre, b. Böhme deney aletinin genel görünümü

2.2 Büro Çalışması

Büro çalışmaları, arazi ve laboratuvar çalışmalarından önce başlatılmış ve tüm tez çalışmalarının sonuna kadar devam etmiştir. İnceleme alanları ve Böhme aşınma kaybı ile ilgili rapor, derleme, yayın, makale ve diğer bilimsel çalışmalar taranmıştır. Böhme aşınma kaybı ile kayaçların indeks ve dayanım değerleri arasındaki ilişkiler basit ve çoklu regresyon analizi ile araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonrasında, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Kırşehir illerinin çevresinde yüzeylenen ve yapı taşı olarak kullanılan veya kullanılabilmesi muhtemel numunelerin indeks, dayanım ve aşınma deneyi sonuçları verilmiştir. İkinci olarak çalışmada kullanılan örneklerin aşınma değerleri ile indeks-dayanım özellikleri arasında basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan kaya birimlerine ait bazı indeks özellikler (birim ağırlık, kuru birim ağırlık, doymun birim ağırlık, ağırlıkça-hacimce su emme, boşluk oranı, porozite), dayanım özelliklerinden tek eksenli sıkışma dayanımı ve aşınma özelliklerinden Böhme aşınma kaybı deney sonuçlarının ortalamaları çizelge 3.1’de verilmiştir.

İncelenen örneklerin kuru birim ağırlığı değerleri $12,95 \text{ kN/m}^3$ ile $28,55 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmekte olup, en düşük değer 19 numaralı örnekte, en yüksek değer ise 16 numaralı örnekte belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Seçilen 22 örnek içinde doymun birim ağırlık değeri en düşük $16,60 \text{ kN/m}^3$ ile 19 nolu örnek, en büyük değer ise $28,58 \text{ kN/m}^3$ ile 16 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 3.1).

Kayaçların porozite değerleri % 0,32 ile % 37,20 arasında bulunmuş olup en küçük değer 16 nolu örnekte, en yüksek değer ise 19 nolu piroklastik örnekte belirlenmiştir (Çizelge 3.1). İncelenen kayaç örneklerin ağırlıkça su emme değerleri en düşük değer % 0,11 ile 16 nolu örnekte, en büyük değer ise % 28,80 ile 19 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 3.1).

Numunelerin tek eksenli sıkışma dayanım değerleri (Anonymous, 1981)’de önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Elde edilen verilerden Hoek ve Brown (1980)’de önerdikleri standart 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanım ($\sigma_{c(50)}$) değerine getirilmiştir. Bu çalışma için seçilen 22 örneğin 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanım ($\sigma_{c(50)}$) değeri en düşük 7,70 MPa ile 19 nolu örnekte, en yüksek değer ise 134,43 MPa ile 3 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 3.1).

Numunelerin Böhme aşınma kaybı (ΔV) değerleri EN 14157 (2004)'de önerilen yöntem ile belirlenmiştir. Bu çalışma için seçilen örneklerin Böhme aşınma kaybı (ΔV) değeri en düşük $0,20 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ile 12 nolu örnekte en yüksek ise $26,10 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ile 19 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Deneylelerden elde edilen sonuçlar toplu olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur (Çizelge 3.1).



Çizelge 3.1 Çalışma alanından alınan örneklerin fiziksel özellikleri

Sıra No	N.No	Kayaç adı	ρ gr/cm ³	γ kN/m ³	ρ_d gr/cm ³	γ_d kN/m ³	γ_r kN/m ³	n- %	Aw- %	Hw- %	UCS- MPa	ΔV cm ³ /50cm ²
1	1	İgnimbirit	1.56	15.34	1.56	15.32	17.88	26.09	16.71	26.09	17.63	14.23
2	2	Gabro	2.56	25.15	2.56	25.12	25.45	3.42	1.33	3.42	83.95	0.94
3	3	Diyabaz	2.70	26.50	2.70	26.50	26.73	2.43	0.90	2.43	134.43	0.36
4	4	Metakireçtaşı	2.67	26.17	2.66	26.06	26.10	0.47	0.18	0.47	57.92	0.31
5	5	Trakit	2.46	24.14	2.43	23.87	24.12	2.53	1.04	2.53	122.37	1.13
6	7	Mermer	2.71	26.57	2.69	26.44	26.56	1.29	0.21	1.29	77.03	0.59
7	8	Alkali Bazalt	2.27	22.22	2.24	21.97	22.68	7.20	3.21	7.20	32.08	5.59
8	12	Andezit	2.33	22.82	2.31	22.69	23.04	3.61	1.57	3.61	41.40	1.24
9	13	Ojit Andezit	2.31	22.71	2.31	22.71	23.34	6.47	2.85	6.47	37.40	3.82
10	16	Alkali Bazalt	2.70	26.45	2.89	28.38	28.43	0.48	0.17	0.48	40.05	3.98
11	18	Alkali Bazalt	2.61	25.56	2.59	25.44	25.89	4.62	1.79	4.62	46.43	1.61
12	20	Silisleşmiş Andezit	2.66	26.05	2.57	25.18	25.25	0.65	0.25	0.65	36.63	0.20
13	23	Ojit Andezit	2.50	24.51	2.49	24.39	24.68	2.98	1.20	2.98	55.02	0.52
14	24	Andezitik Bazalt	2.46	24.16	2.21	21.69	22.08	3.97	1.79	3.97	27.75	1.24
15	25	Andezitik Bazalt	2.65	26.00	2.65	25.97	26.05	0.79	0.30	0.79	73.61	0.71
16	26	Kumtaşı	2.91	28.55	2.91	28.55	28.58	0.32	0.11	0.32	81.80	0.63
17	29	Metakireçtaşı	2.57	25.25	2.57	25.23	25.29	0.61	0.24	0.61	41.63	0.92
18	30	Kireçtaşı	2.82	27.68	2.81	27.53	27.66	1.29	0.46	1.29	57.11	0.67
19	i12	Tüf	1.41	13.83	1.32	12.95	16.60	37.20	28.80	37.20	7.70	26.10
20	i20	Tüf	1.66	16.28	1.65	16.19	19.13	30.05	17.85	30.05	16.10	24.40
21	v4	Tüf	1.77	17.36	1.76	17.27	19.60	23.78	13.54	23.78	24.20	18.7
22	S8	Tüf	1.51	14.81	1.50	14.72	17.50	28.38	18.86	28.38	16.33	22.30

Bundan sonraki aşamada numunelerin Böhme aşınma kaybı değerleri ile temel fiziksel özellikler ve dayanım özellikleri arasındaki ilişki basit ve çoklu regresyon analizleri yapılarak 2 ana başlık altında incelenmiştir.

3.1 Kayaçların Böhme Aşınma Kaybı ile İndeks ve Dayanım Özellikleri Arasındaki Basit Regresyon İlişkisi

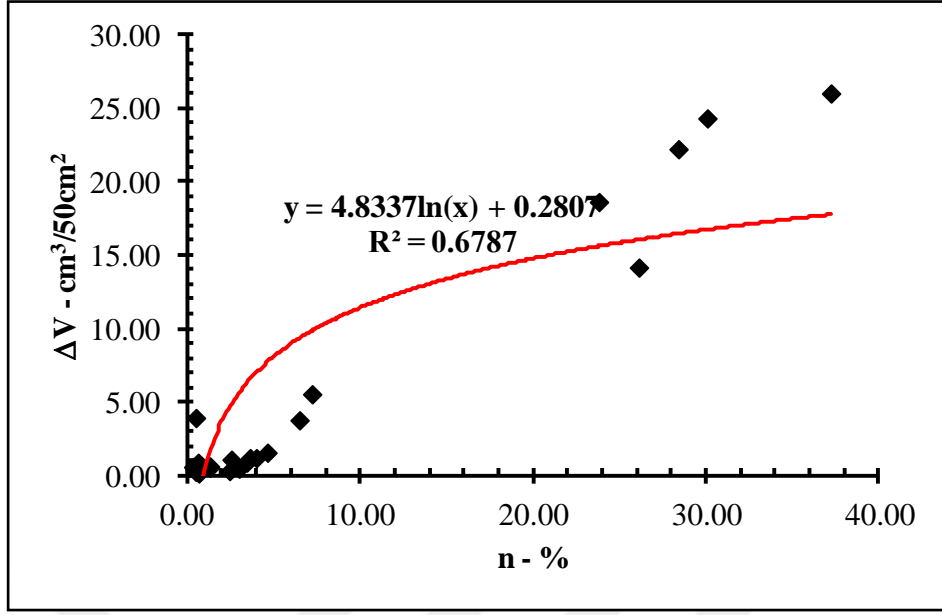
Çalışma kapsamında belirlenen kaya birimlerinin Böhme aşınma kaybı ile temel fiziksel özellikler; porozite (n), ağırlıkça su emme oranı (A_w), birim ağırlık (γ), kuru birim ağırlık (γ_d), doygun birim ağırlık (γ_r) değerleri arasındaki istatistiksel ilişki ve dayanım değerlerinden tek eksenli sıkışma dayanım değerleri arasındaki ilişki basit regresyon analizleri ile değerlendirilmiştir. Belirtilen özellikler Kayaçların Böhme aşınma kaybı ile indeks ve dayanım özellikleri arasındaki ilişki bölümü altında alt başlıklar halinde aşağıda sunulmuştur.

3.1.1 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile porozite (n) değeri arasındaki ilişki

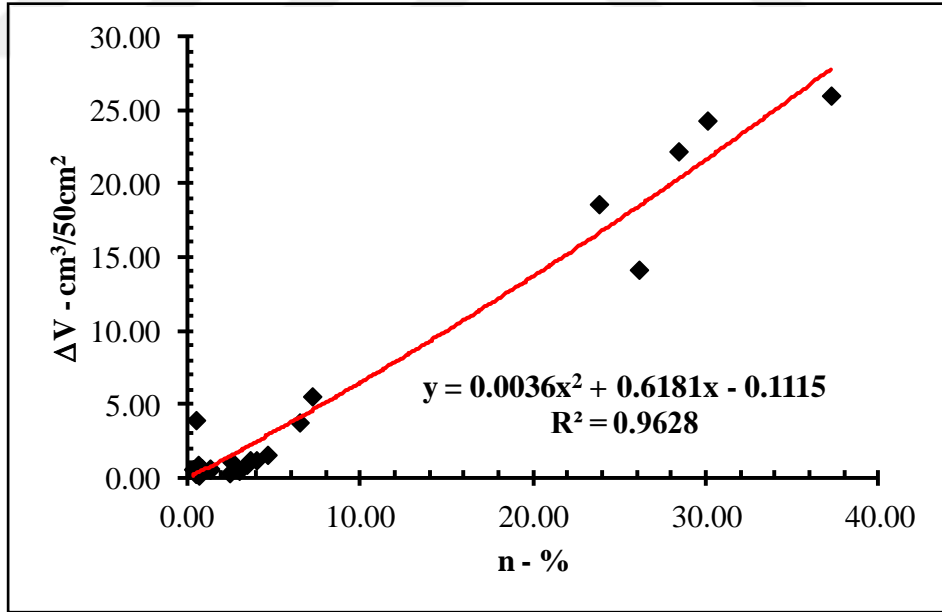
Kayaçların sahip oldukları porozite değerinin Böhme aşınma kaybına bağlı olarak değişimini gösteren grafikler Şekil 3.1-3.5'te, hesaplanan belirlilik katsayıları (R^2) ve denklemler Çizelge 3.2'de sunulmuştur. Grafikler içinde en küçük R^2 değeri 0,67 ile logaritmik ilişkide, en yüksek R^2 değeri ise 0,96 ile polinomsal ilişkiye aittir. Dolayısıyla Böhme aşınma kaybı ile porozite arasında polinomsal ilişkinin kullanılması daha anlamlıdır.

Çizelge 3.2 İncelenen örneklerin porozite değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (R^2 : belirlilik katsayısı)

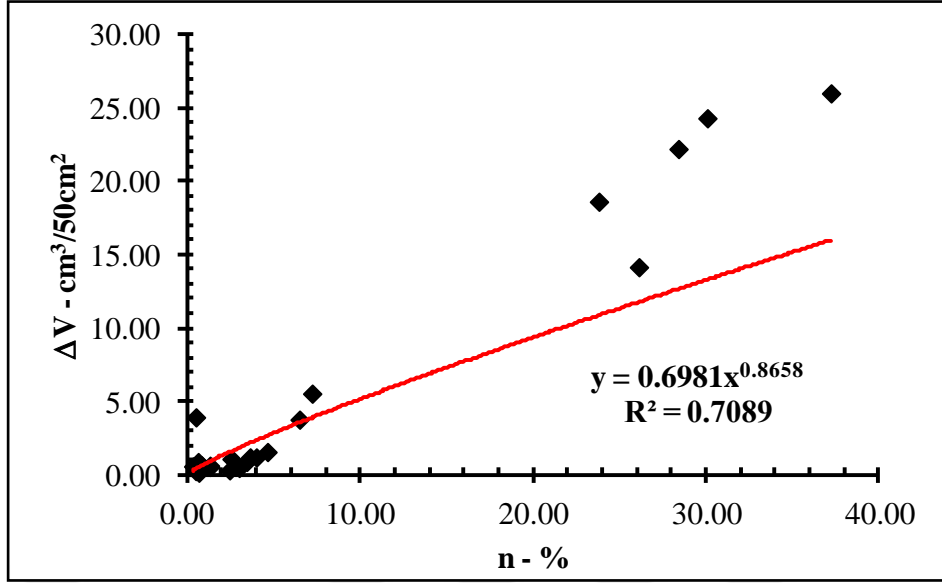
Fonksiyon	Grafğin denklemi	R^2 değeri
Üstel	$y = 0.7028e^{0.117x}$	$R^2 = 0.7950$
Doğrusal	$y = 0.7343x - 0.3771$	$R^2 = 0.9617$
Logaritmik	$y = 4.8337\ln(x) + 0.2807$	$R^2 = 0.6787$
Polinom	$y = 0.0036x^2 + 0.6181x - 0.1115$	$R^2 = 0.9628$
Üstel	$y = 0.6981x^{0.8658}$	$R^2 = 0.7089$



Şekil 3.3 İncelenen örneklerin porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.4 İncelenen örneklerin porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi



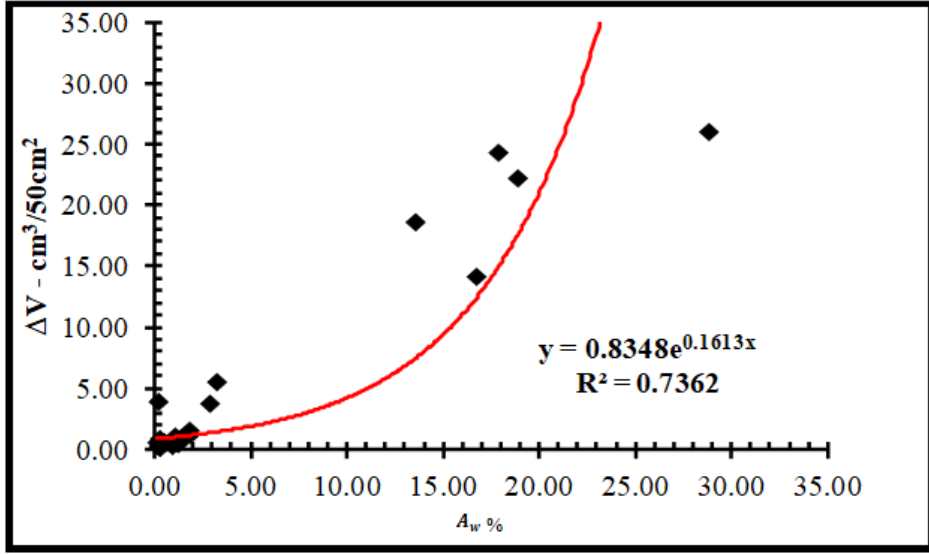
Şekil 3.5 İncelenen örneklerin porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi

3.1.2 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile ağırlıkça su emme (A_w) değeri arasındaki ilişki

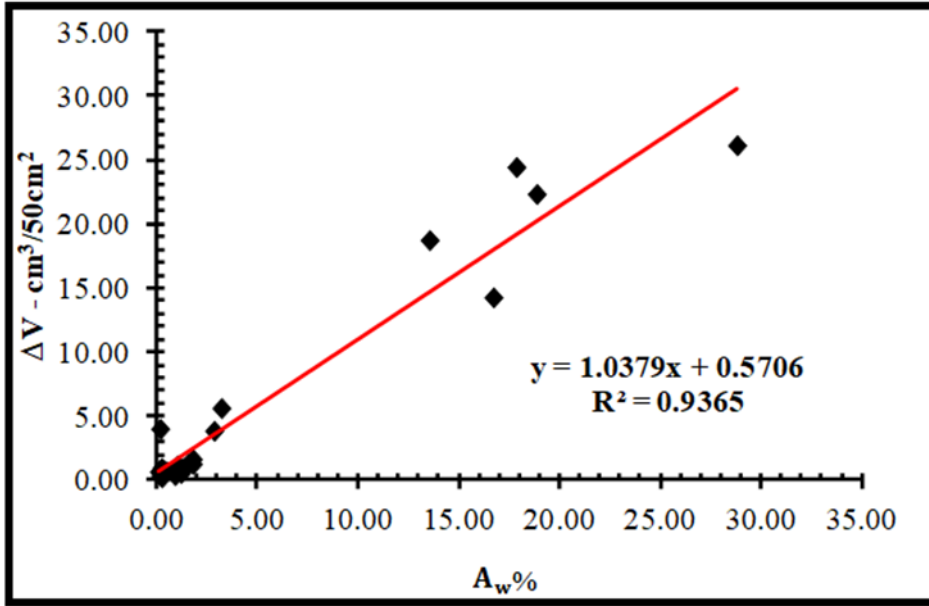
Kayaçların sahip oldukları ağırlıkça su emme değerinin Böhme aşınma kaybına bağlı olarak değişimini gösteren grafikler şekil 3.6 - 3.10'te, hesaplanan belirlilik katsayıları (R^2) ve denklemler çizelge 3.3'de sunulmuştur. Grafikler içinde en küçük R^2 değeri 0,71 ile logaritmik ilişkide, en yüksek R^2 değeri ise 0,95 ile polinomsal ilişkiye aittir. Dolayısıyla Böhme aşınma kaybı ile ağırlıkça su emme arasında polinomsal ilişkinin kullanılması daha anlamlıdır.

Çizelge 3.3 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (R^2 :belirlilik katsayısı)

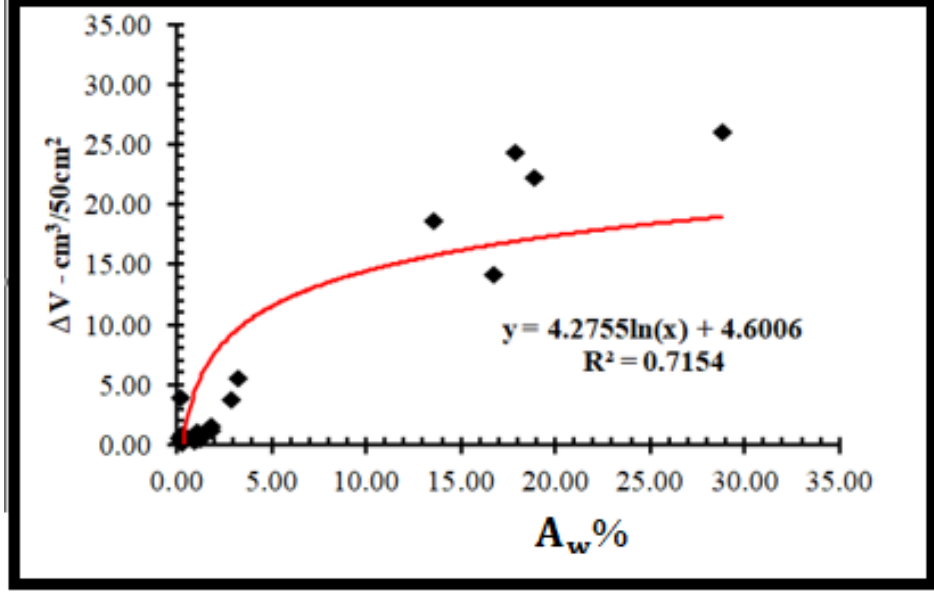
Fonksiyon	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
Üstel	$y = 0.8348e^{0.1613x}$	$R^2 = 0.7362$
Doğrusal	$y = 1.0379x + 0.5706$	$R^2 = 0.9365$
Logaritmik	$y = 4.2755\ln(x) + 4.6006$	$R^2 = 0.7154$
Polinom	$y = -0.0215x^2 + 1.5431x - 0.076$	$R^2 = 0.9555$
Üstel	$y = 1.5167x^{0.7586}$	$R^2 = 0.7332$



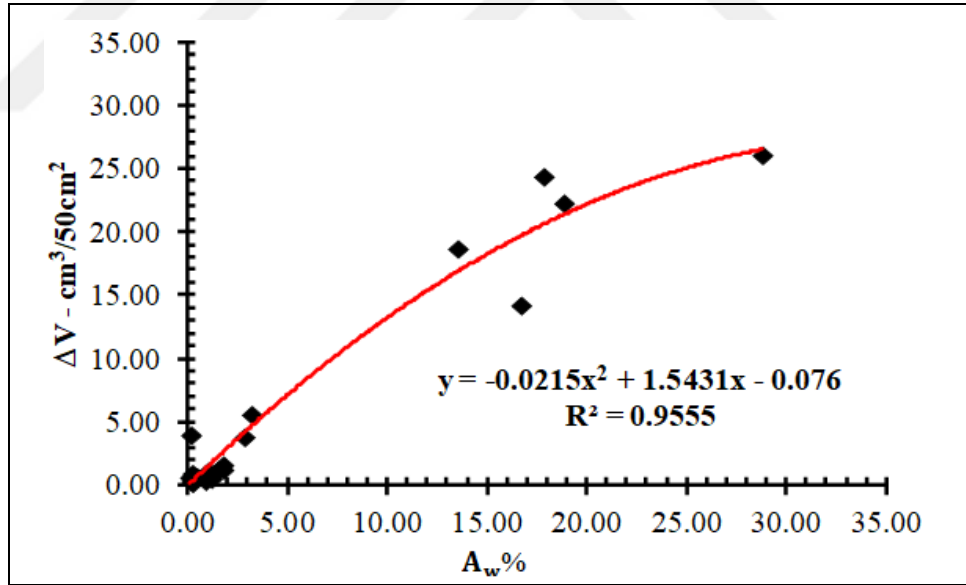
Şekil 3.6 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi



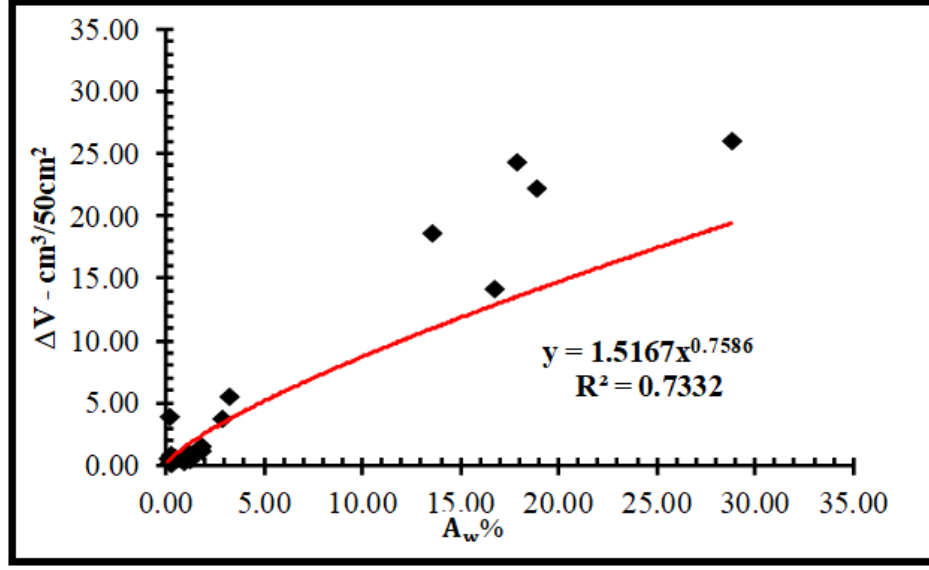
Şekil 3.7 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.8 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.9 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi



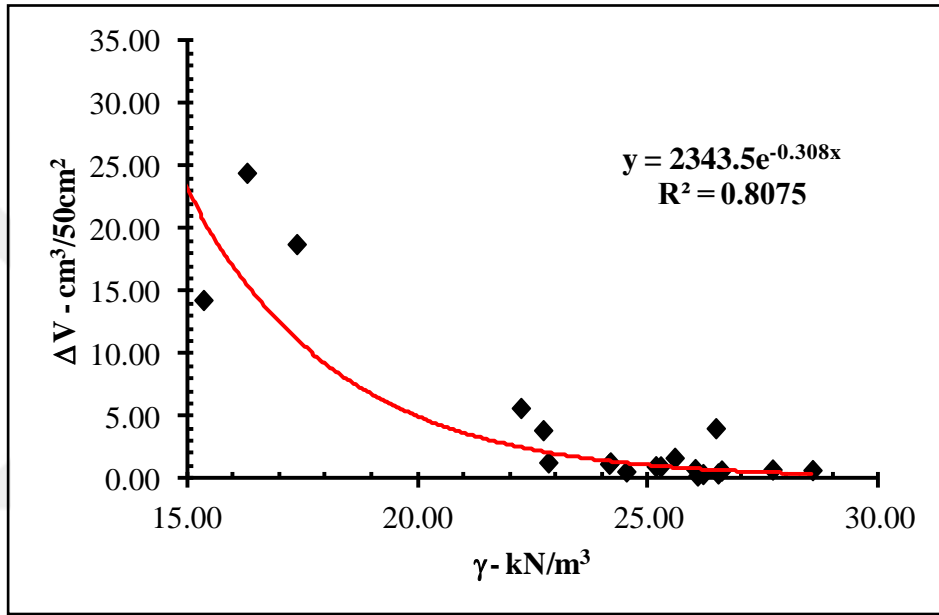
Şekil 3.10 İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üst ilişkinin grafiksel gösterimi

3.1.3 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile birim ağırlık (γ)değeri arasındaki ilişki

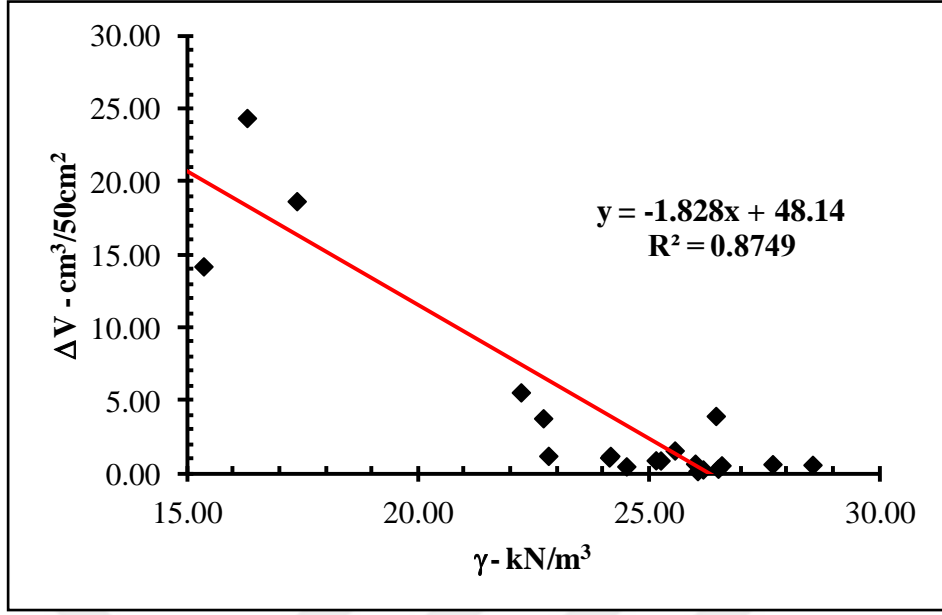
Kayaçların sahip oldukları birim ağırlık değerlerinin Böhme aşınma kaybına bağlı olarak değişimini gösteren grafikler şekil 3.11-3.15'te, hesaplanan belirlilik katsayıları (R^2) ve denklemler çizelge 3.4'te sunulmuştur. Grafikler içinde en küçük R^2 değeri 0,80 ile Üstsel ilişkide, en yüksek R^2 değeri ise 0,92 ile polinomsal ilişkiye aittir. Ancak İncelenen örneklerin, x ekseninde birim hacim ağırlığı ($\gamma - \text{kN/m}^3$) değerleri ile y ekseninde Böhme aşınma kaybı değerlerinin 0 ile 26.0 MPa arasında Üstel ilişki gösterdiği, oysa 26.0 MPa üzerinde hiç bir ilişkinin bulunmadığı görülmektedir. Dolayısıyla Böhme aşınma kaybı ile birim ağırlık arasında polinomsal ilişkinin kullanılması diğer karşılaştırmalara göre daha anlamlıdır.

Çizelge 3.4 İncelenen örneklerin birim ağırlık değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (R^2 :belirlilik katsayısı)

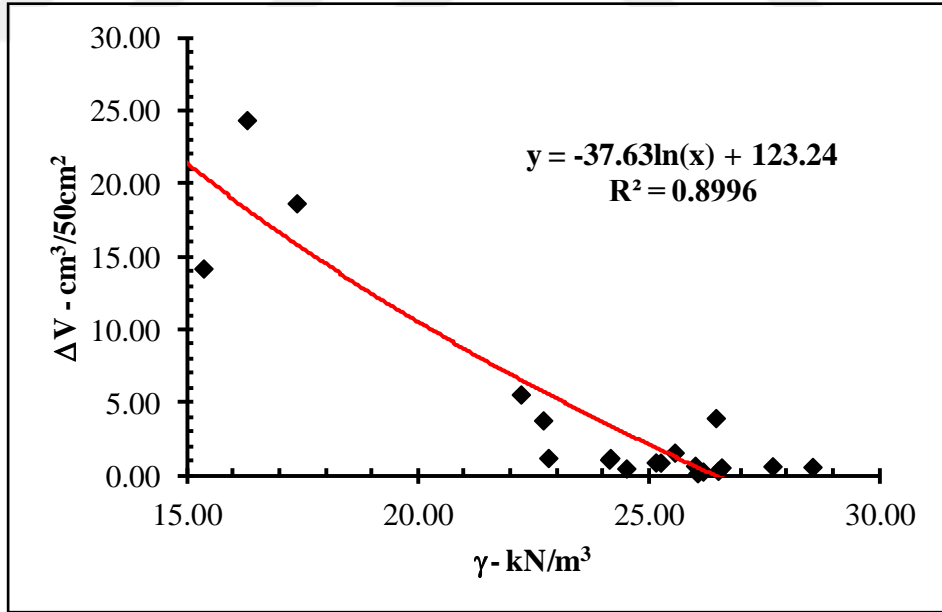
Fonksiyon	Grafiğin denklemleri	R^2 değeri
Üstel	$y = 2343.5e^{-0.308x}$	$R^2 = 0.8075$
Doğrusal	$y = -1.828x + 48.14$	$R^2 = 0.8749$
Logaritmik	$y = -37.63\ln(x) + 123.24$	$R^2 = 0.8996$
Polinom	$y = 0.1284x^2 - 7.2043x + 101.34$	$R^2 = 0.9232$
Üstel	$y = 5E+08x^{-6.222}$	$R^2 = 0.8010$



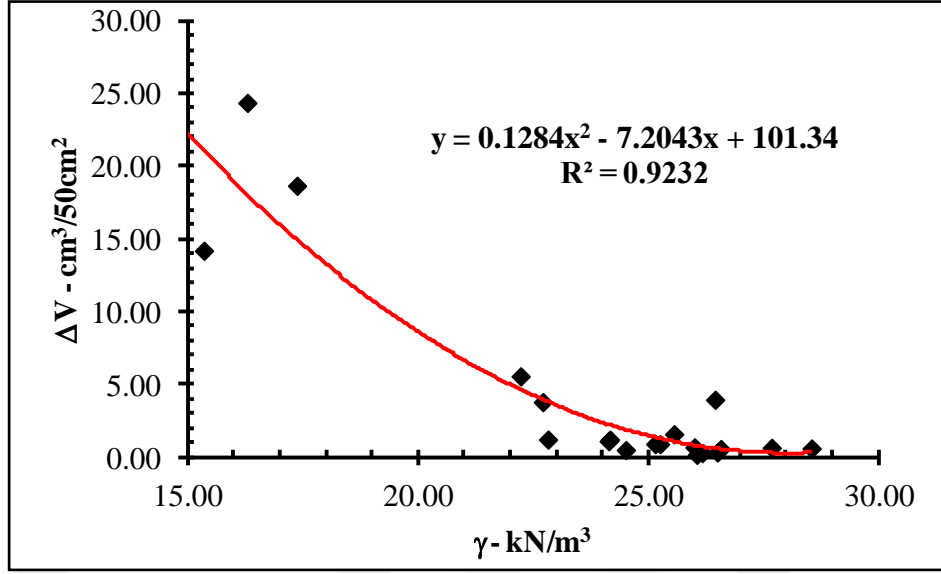
Şekil 3.11 İncelenen örneklerin birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi



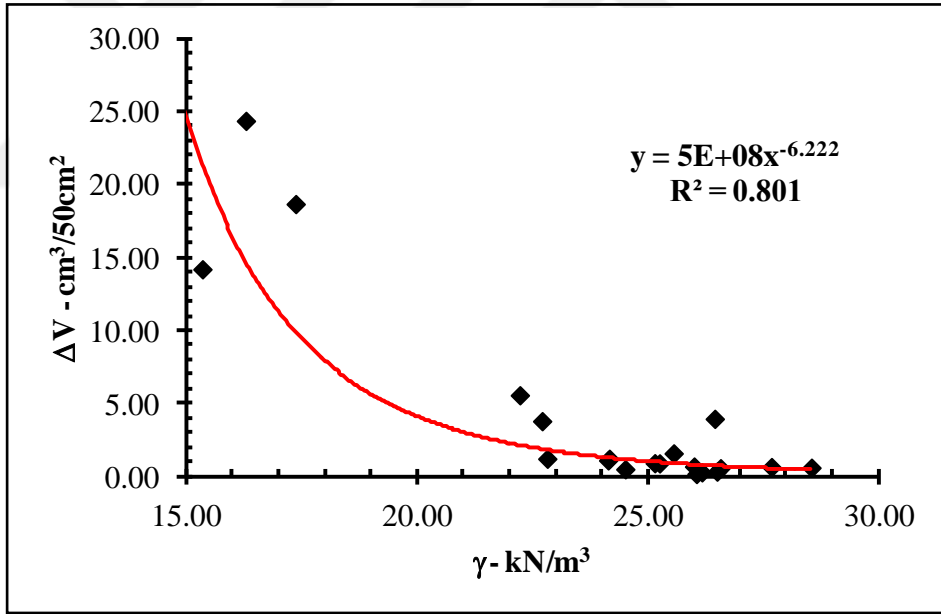
Şekil 3.12 İncelenen örneklerin birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.13 İncelenen örneklerin birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.14 İncelenen örneklerin birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.15 İncelenen örneklerin birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üs ilişkinin grafiksel gösterimi

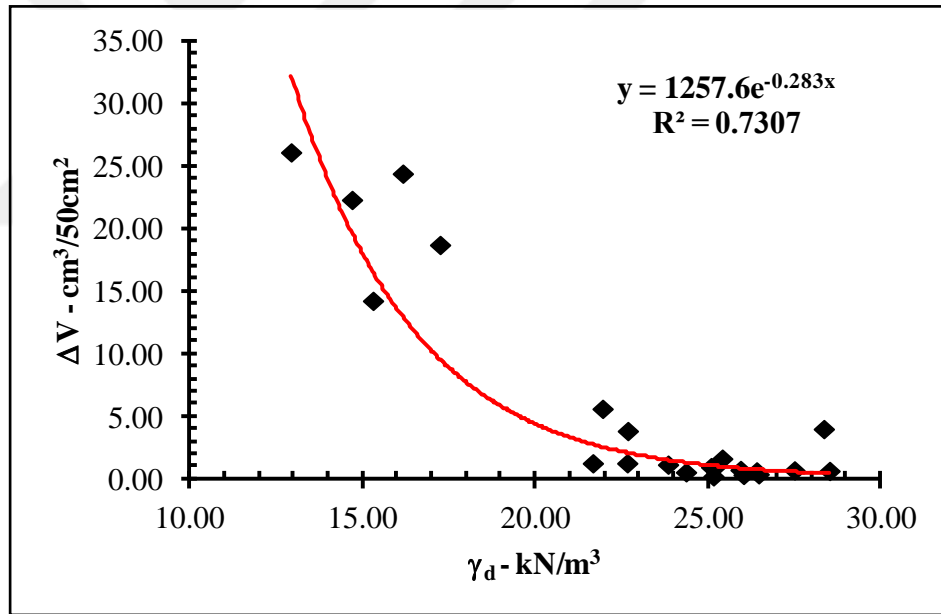
3.1.4 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile kuru birim ağırlık (γ_d) değeri arasındaki ilişki

Kayaçların sahip oldukları kuru birim ağırlık değerlerinin Böhme aşınma kaybına bağlı olarak değişimini gösteren grafikler şekil 3.16-3.20'de, hesaplanan belirlilik katsayıları

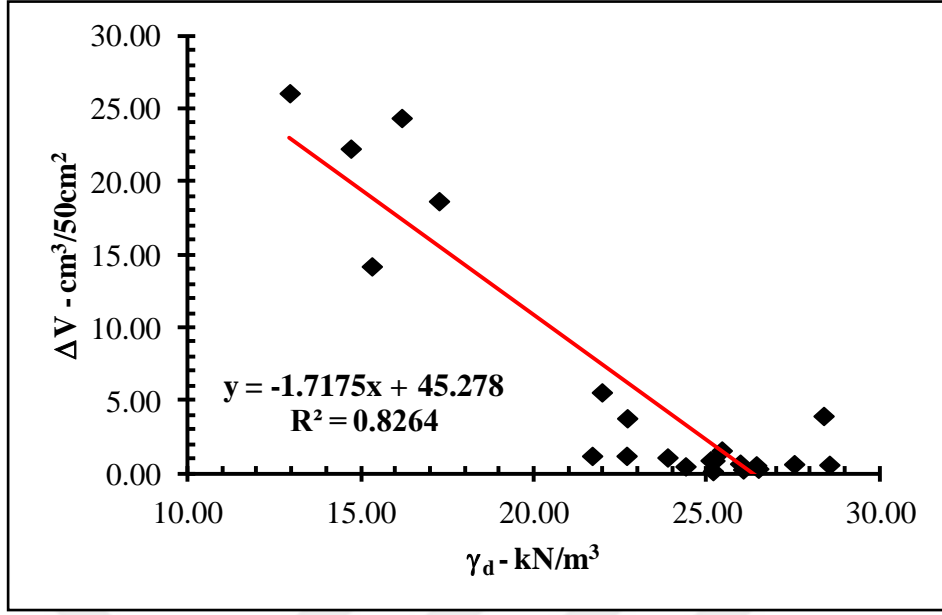
(R^2) ve denklemler çizelge 3.5'te sunulmuştur. Grafikler içinde en küçük R^2 değeri 0,73 ile üstsel ilişkide, en yüksek R^2 değeri ise 0,91 ile polinomsal ilişkiye aittir. Dolayısıyla Böhme aşınma kaybı ile kuru birim ağırlık arasında polinomsal ilişkinin kullanılması diğer karşılaştırmalara göre daha anlamlıdır.

Çizelge 3.5 İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (R^2 :belirlilik katsayısı)

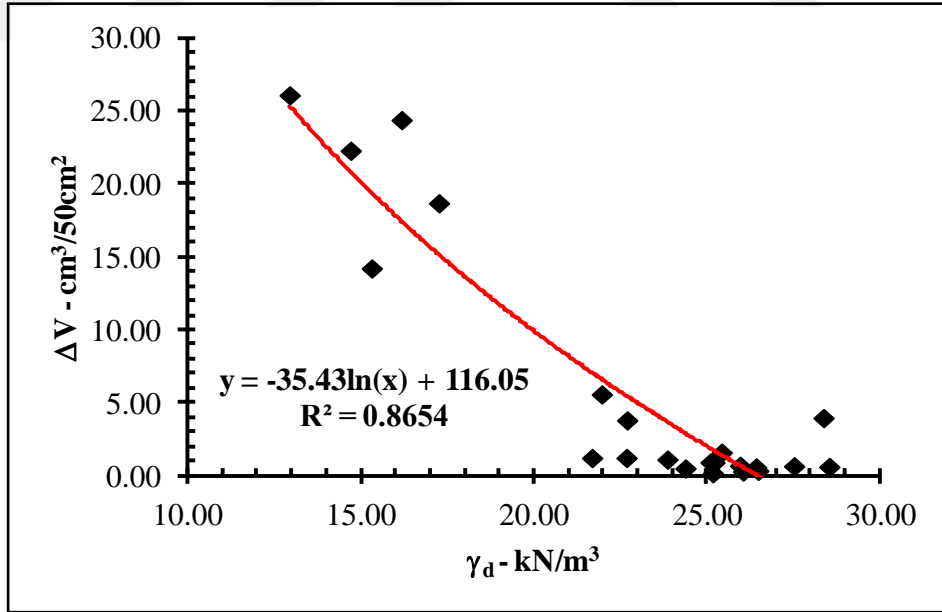
Fonksiyon	Grafığın denklemleri	R^2 değeri
Üstel	$y = 1257.6e^{-0.283x}$	$R^2 = 0.7307$
Doğrusal	$y = -1.7175x + 45.278$	$R^2 = 0.8264$
Logaritmik	$y = -35.43\ln(x) + 116.05$	$R^2 = 0.8654$
Polinom	$y = 0.1408x^2 - 7.6082x + 103.41$	$R^2 = 0.9120$
Üstel	$y = 1E+08x^{-5.751}$	$R^2 = 0.7424$



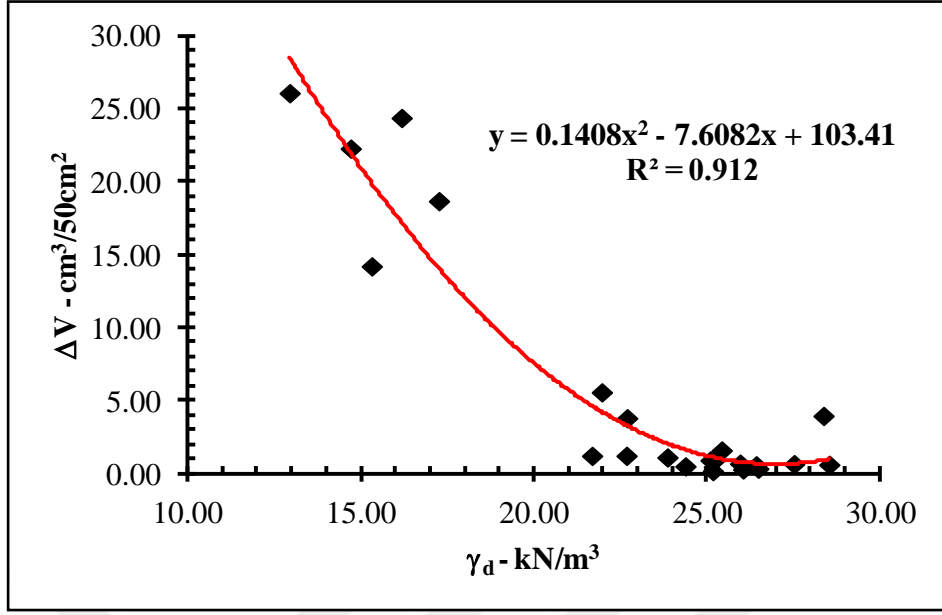
Şekil 3.16 İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstsel ilişkinin grafiksel gösterimi



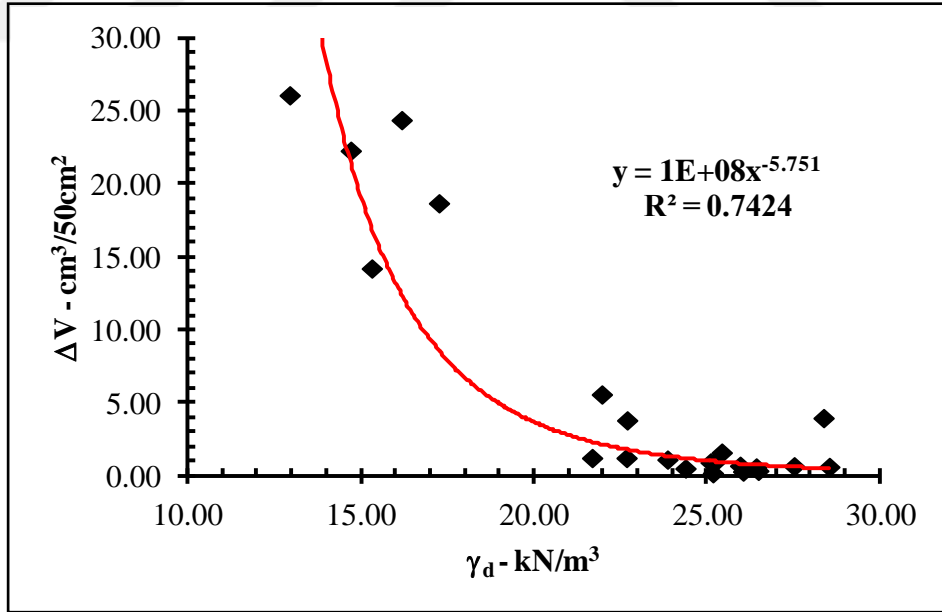
Şekil 3.17 İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.18 İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.19 İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi



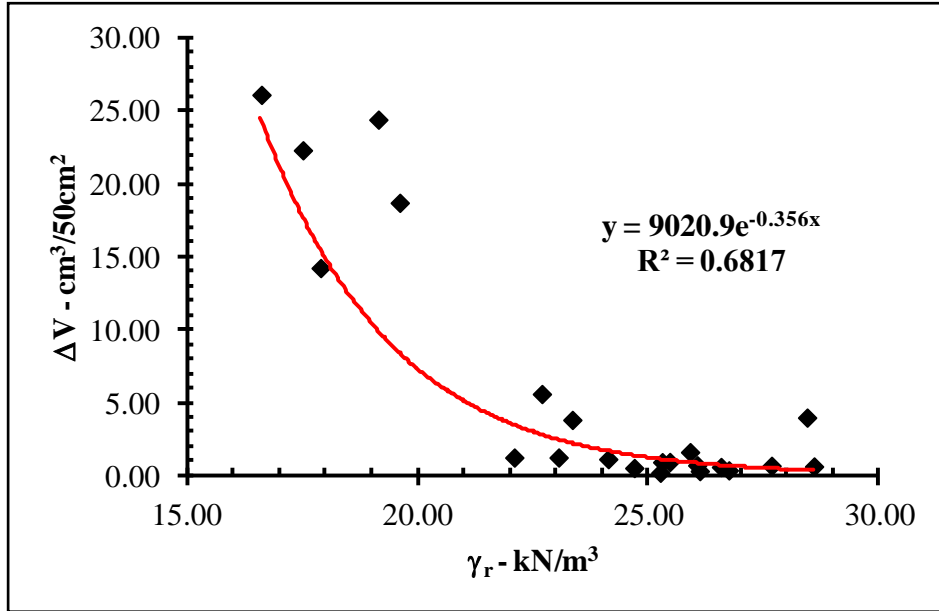
Şekil 3.20 İncelenen örneklerin kuru birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki Üs ilişkinin grafiksel gösterimi

3.1.5 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile doymun birim ağırlık (γ_r) değeri arasındaki ilişki

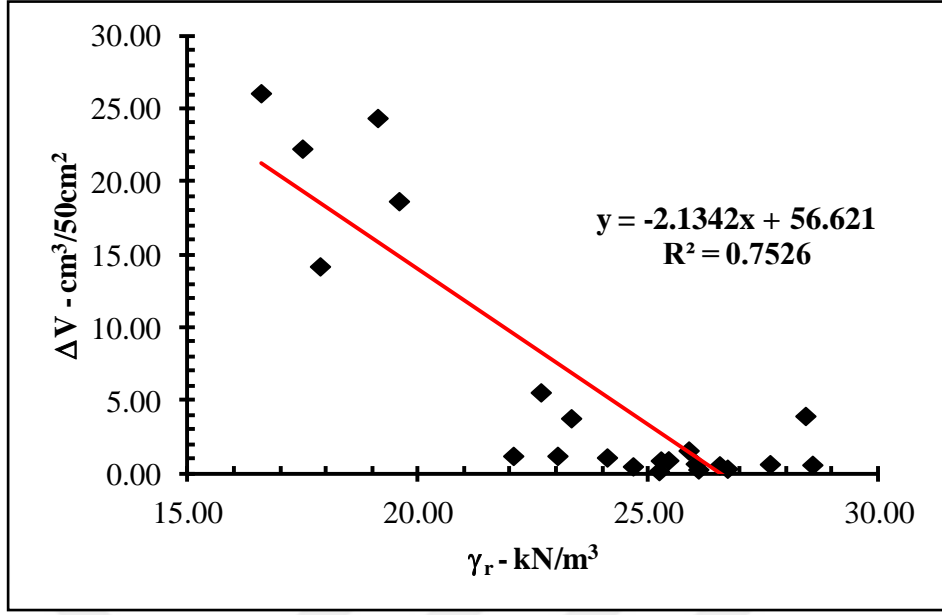
Kayaçların sahip oldukları doymun birim ağırlık değerlerinin Böhme aşınma kaybına bağılı olarak değişimini gösteren grafikler şekil 3.21-3.25’de, hesaplanan belirlilik katsayıları (R^2) ve denklemler çizelge 3.6’te sunulmuştur. Grafikler içinde en küçük R^2 değeri 0,68 ile üstsel ilişkide, en yüksek R^2 değeri ise 0,88 ile polinomsal ilişkiye aittir. Dolayısıyla Böhme aşınma kaybı ile doymun birim ağırlık arasında polinomsal ilişkinin kullanılması diğer karşılaştırmalara göre daha anlamlıdır.

Çizelge 3.6 İncelenen örneklerin doymun birim ağırlık değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (R^2 :belirlilik katsayısı)

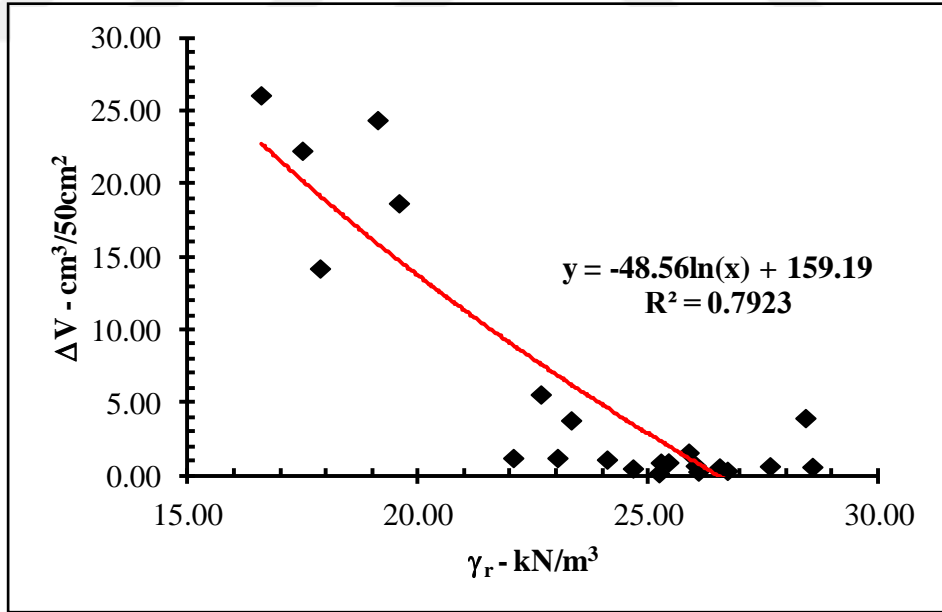
Fonksiyon	Grafiğin denklemleri	R^2 değeri
Üstel	$y = 9020.9e^{-0.356x}$	$R^2 = 0.6817$
Doğrusal	$y = -2.1342x + 56.621$	$R^2 = 0.7526$
Logaritmik	$y = -48.56\ln(x) + 159.19$	$R^2 = 0.7923$
Polinom	$y = 0.2699x^2 - 14.335x + 190.84$	$R^2 = 0.8813$
Üstel	$y = 2E+11x^{-8.029}$	$R^2 = 0.7050$



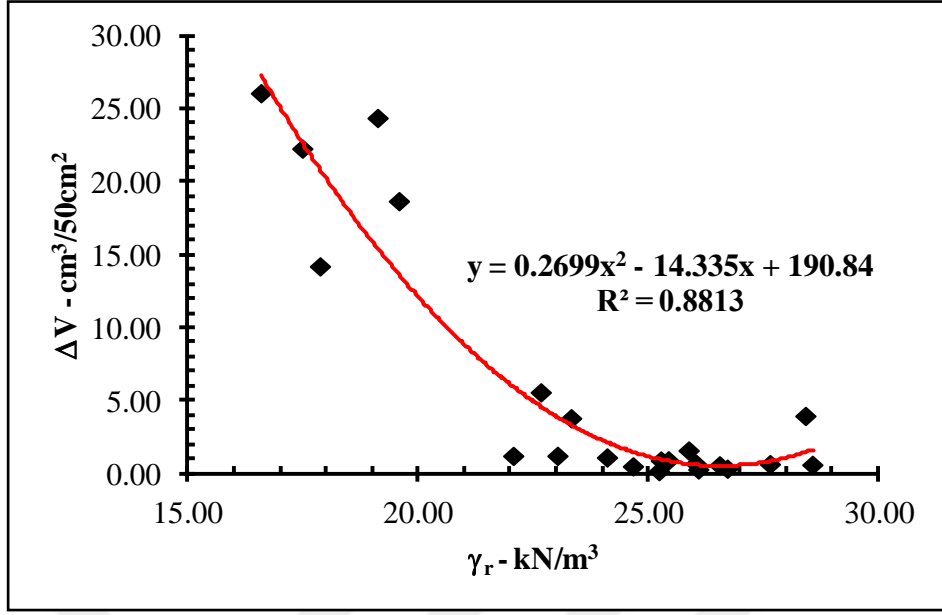
Şekil 3.21 İncelenen örneklerin doymun birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi



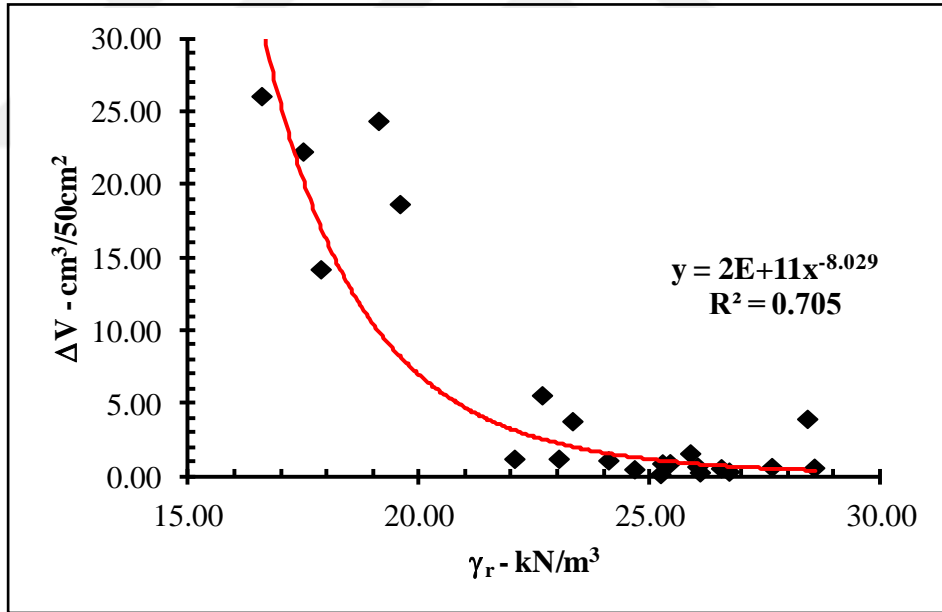
Şekil 3.22 İncelenen örneklerin doymun ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.23 İncelenen örneklerin doymun birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.24 İncelenen örneklerin doymun birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi



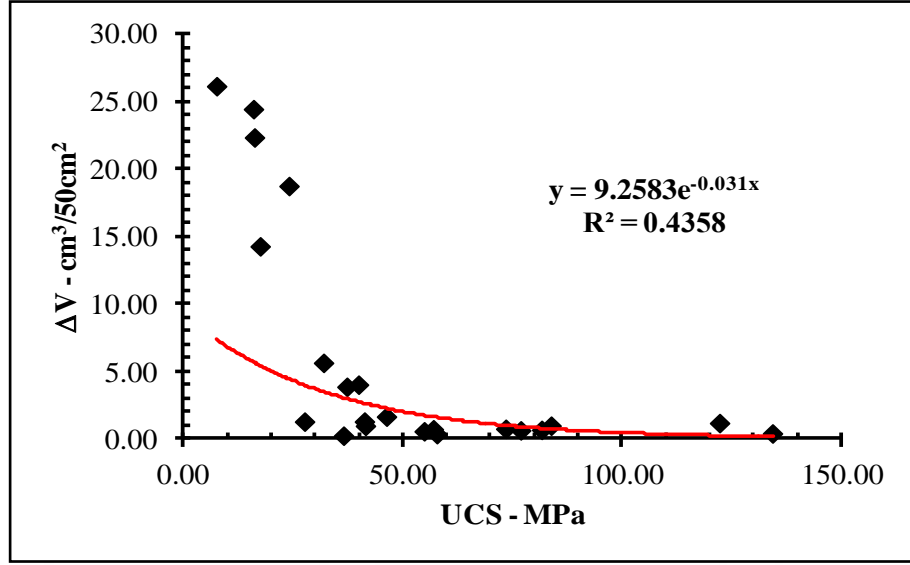
Şekil 3.25 İncelenen örneklerin doymun birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üs ilişkinin grafiksel gösterimi

3.1.6 Kayaçların böhme aşınma kaybı ile tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değeri arasındaki ilişki

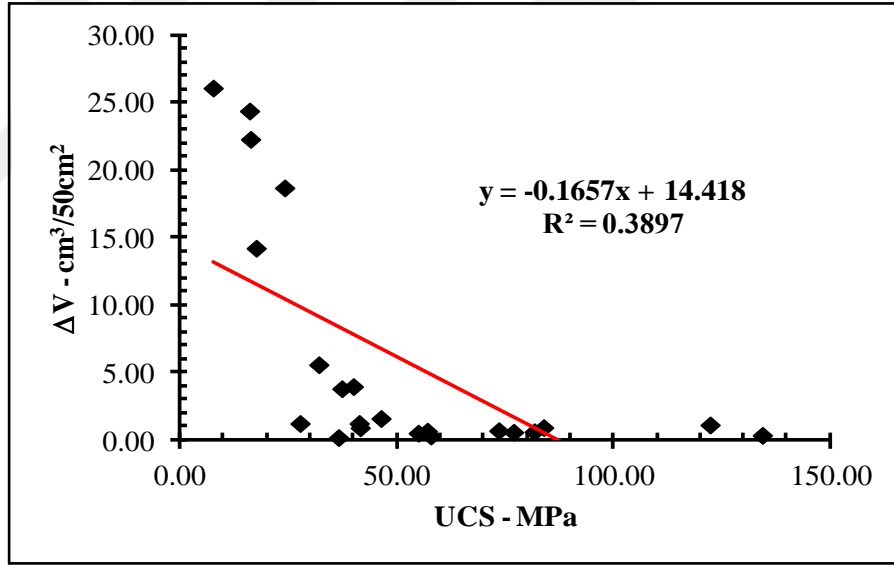
Çalışmada kullanılan 22 örneğe ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ISRM (1981)'de önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Elde edilen verilerden Hoek ve Brown (1980)' de önerdikleri standart 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanım ($\sigma_{c(50)}$)değeri hesaplanmıştır. Örneklerin eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin Böhme aşınma kaybına bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için belirlilik katsayısı (R^2) veren denklemler belirlenmiştir (Şekil 3.26-3.30 ve Çizelge 3.7). Grafikler içinde en küçük R^2 değeri 0,3897 ile üstel ilişkide, en yüksek R^2 değeri ise 0,7441 ile polinomsal ilişkiye aittir. Ancak incelenen örneklerin, x ekseninde tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c). değerleri ile y ekseninde Böhme aşınma kaybı değerlerinin 0 ile 50.0 MPa arasında üstel ilişki gösterdiği, oysa 50.0 MPa üzerinde durağan hale geldiği görülmektedir. Dolayısıyla Böhme aşınma kaybı ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında polinomsal ilişkinin kullanılması diğer karşılaştırmalara göre daha anlamlıdır.

Çizelge 3.7 İncelenen örneklerin doygun birim ağırlık değeri ile Böhme aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (R^2 : belirlilik katsayısı)

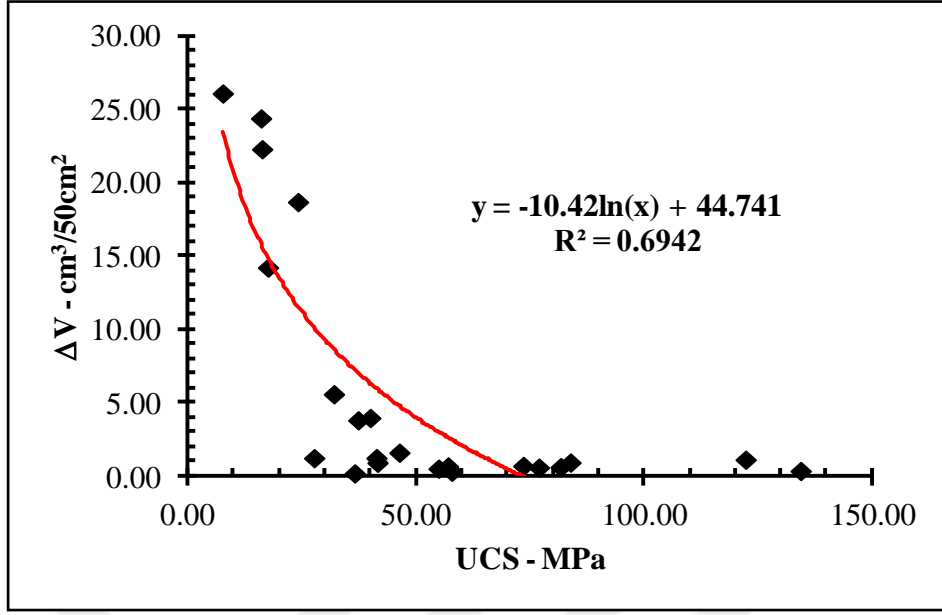
Fonksiyon	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
Üstel	$y = 9.2583e^{-0.031x}$	$R^2 = 0.4358$
Doğrusal	$y = -0.1657x + 14.418$	$R^2 = 0.3897$
Logaritmik	$y = -10.42\ln(x) + 44.741$	$R^2 = 0.6942$
Polinom	$y = 0.0041x^2 - 0.716x + 27.734$	$R^2 = 0.7441$
Üstel	$y = 1372.7x^{-1.765}$	$R^2 = 0.6481$



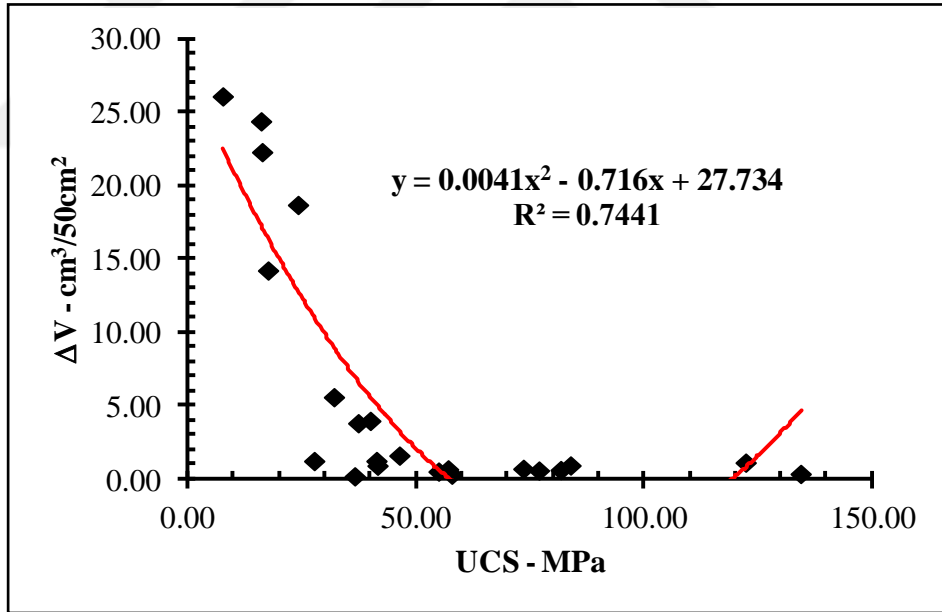
Şekil 3.26 İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üstel ilişkinin grafiksel gösterimi



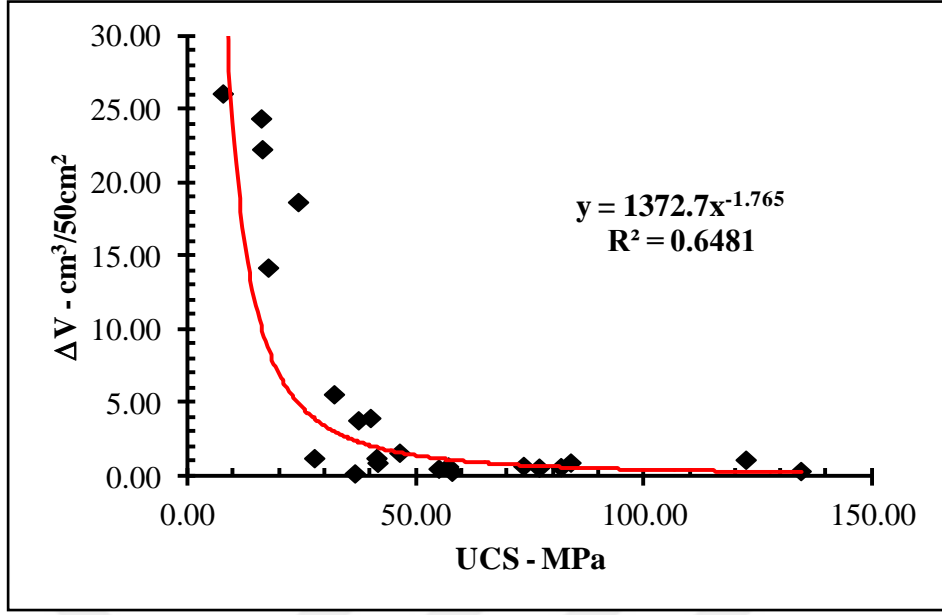
Şekil 3.27 İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki doğrusal ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.28 İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki logaritmik ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.29 İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki polinomsal ilişkinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.30 İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ile Böhme aşınma kaybı arasındaki üs ilişkisinin grafiksel gösterimi

3.2 Kayaçların Böhme Aşınma Kaybı ile İndeks ve Dayanım Özellikleri Arasındaki Çoklu Regresyon İlişkisi

Çalışmada kullanılan kayaçların indeks, dayanım özelliklerinden faydalanılarak Böhme aşınma kaybını tahmin etmek için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Çoklu regresyon analizi için % 95 güven aralığı belirlenmiş ve analiz SPSS Statistics-21 programında yapılmıştır. Çoklu regresyon analizinde kullanılacak kayaç özelliklerine ait en iyi alt kümelerin belirlenmesi için SPSS Statistics-21 programında ileriye doğru analiz yapılmıştır. Farklı alt kümelerden oluşturulan modellerden elde edilen istatistiksel değerler Çizelge 3.8’de verilmiştir. Seçilen alt kümelerin % 5 önem düzeyi ($\alpha=0,05$) için regresyon analizinin güvenilirliğinde p değerinin 0.05 den küçük olması şartı aranır. Bu şartı sağlayan alt kümelerin içinden en iyinin belirlenmesinde ise R^2 değerine bakılır ve R^2 değeri en yüksek olan tercih edilir. R^2 değerleri eşit olan birden fazla alt küme olması durumunda bu kümelerden kareler ortalaması en yüksek olan alt küme tercih edilir.

Çizelge 3.8 incelendiğinde bu durumu sağlayan modelde yer alan kayaca ait özellikleri alt küme olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, Böhme aşınma kaybını çoklu regresyon analizi yöntemiyle tahmin etmek için 2 bağımsız değişkenden oluşan en uygun alt küme

kuru birim ağırlık (γ_d) ve doymun birim ağırlıktan (γ_r) oluşmaktadır. Bu alt kümenin bağımsız değişkenler ile yapılan çoklu regresyon analizine ait istatistiksel sonuçları Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.8 Çoklu regresyon analizi için alt kümeler (*ilişkili değerler olduğundan regresyon analizi yapılamadı)

R ²	Düzeltilmiş R ²	n	A _w	Y	Y _d	Y _r	UCS
0.962	0.958	X	X				
0.964	0.960	X		X			
0.968	0.965	X			X		
0.968	0.965	X				X	
0.963	0.959	X					X
0.940	0.934		X	X			
0.937	0.930		X		X		
0.936	0.930		X			X	
0.936	0.933		X				X
0.885	0.873			X	X		
0.916	0.907			X		X	
0.875	0.862			X			X
0.968	0.965				X	X	
0.828	0.810				X		X
0.759	0.734					X	X
0.965	0.956	X	X	X			
0.970	0.964	X	X		X		
0.970	0.964	X	X			X	
0.963	0.957	X	X				X
0.971	0.966	X		X	X		
0.971	0.966	X		X		X	
0.966	0.960	X		X			X
*	*	X			X	X	
0.971	0.966	X			X		X
0.971	0.966	X				X	X
0.950	0.942		X	X	X		
0.955	0.948		X	X		X	
0.942	0.932		X	X			X
0.970	0.965		X		X	X	
0.940	0.930		X			X	X
0.939	0.929		X		X		X
0.971	0.966			X	X	X	
0.886	0.867			X	X		X
0.918	0.905			X		X	X
0.971	0.966				X	X	X

Çizelge 3.9 İki bağımsız değişkenden oluşan çoklu regresyon analizinden elde edilen en iyi alt kümeye ait istatistik sonuçları

Model	Standtlaşmamış Katsayılar		Standart Katsayılar	<i>t</i>	<i>p</i>
	β	Std. Hata	Beta		
(katsayı)	-13,607	6,613		-2,058	0,054
γ_d	-8,933	0,783	-4,727	-11,401	0,000
γ_r	9,439	1,020	3,837	9,254	0,000

Çizelge 3.9'dan elde edilen verilere göre oluşturulan çoklu regresyon denklemi Eşitlik 3.1'de verilmiştir.

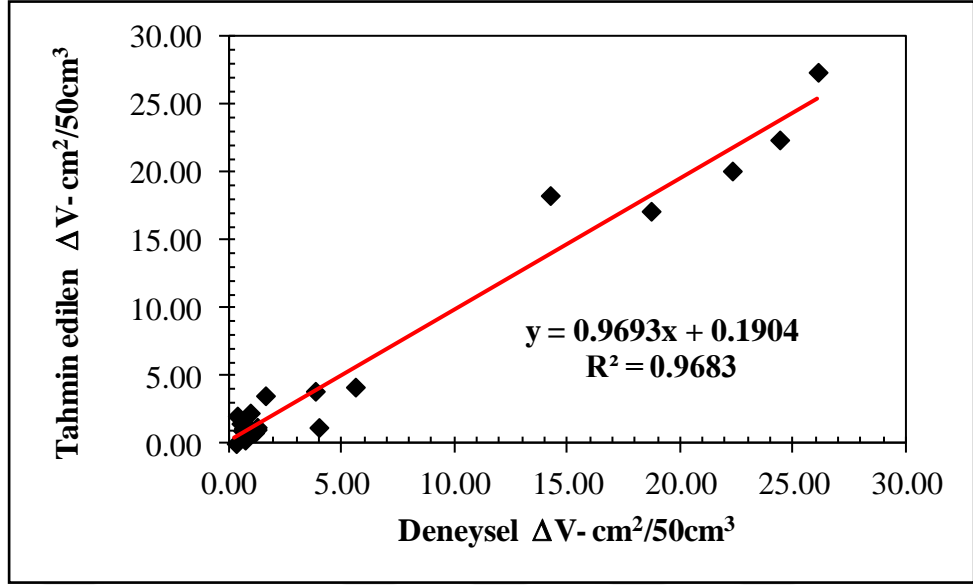
$$\Delta V = -13,607 - 8,933\gamma_d + 9,439\gamma_r \quad (3.1)$$

Regresyon denklemini doğrulamak için varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.10'da verilmiştir. Bu testte % 95 güven aralığı seçilmiştir. Geliştirilen istatistiksel model %5 önem düzeyi ($\alpha=0,05$) için Böhme aşınma kaybını tahmin etmek için güvenilir olarak kullanılabilir olduğunu göstermiştir ($F=291.572$, $p= 0.000 < \alpha$).

Böhme aşınma kaybı tahmini için geliştirilen çoklu regresyon denkleminde elde edilen değerler (tahmini değerler) ile deneysel verilerden elde edilen değerler (gerçek değerler) arasındaki ilişki şekil 2.31'de sunulmuştur. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasında oluşturulan grafiğe bakıldığında oldukça yüksek korelasyon katsayısına ($R^2: 0,9683$) sahip bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.31).

Çizelge 3.10 Böhme aşınma kaybının varyans analizi

Model	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	<i>p</i>
Regresyon	2860,765	2	788,713	291,57	0,0
Kalan	541,134	19	2,704		
Toplam	3401,899	21			



Şekil 3.31 İncelenen örneklerde Böhme aşınma kaybının gerçek ve tahmin edilen değeri arasındaki ilişki

Böhme aşınma kaybını çoklu regresyon analizi yöntemiyle tahmin etmek için 3 bağımsız değişkenden oluşan en uygun alt küme kuru birim ağırlık (γ_d), doymun birim ağırlık (γ_r) ve tek eksenli sıkışms dayanımından oluşmaktadır. Bu alt kümenin bağımsız değişkenler ile yapılan çoklu regresyon analizine ait istatistik sonuçları Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 Üç bağımsız değişkenden oluşan çoklu regresyon analizinden elde edilen en iyi alt kümeye ait istatistik sonuçları

Model	Standtlaşmamış Katsayılar		Standart Katsayılar	<i>t</i>	<i>p</i>
	β	Std. Hata	Beta		
(katsayı)	-14,802	6,554		-2,258	0,037
γ_d	-8,871	0,770	-4,695	-11,514	0,000
γ_r	9,470	1,001	3,849	9,456	0,000
UCS	-0,018	0,014	-0,069	-1,313	0,206

Çizelge 3.11’den elde edilen verilere göre oluşturulan çoklu regresyon denklemi Eşitlik 3.2’de sunulmuştur.

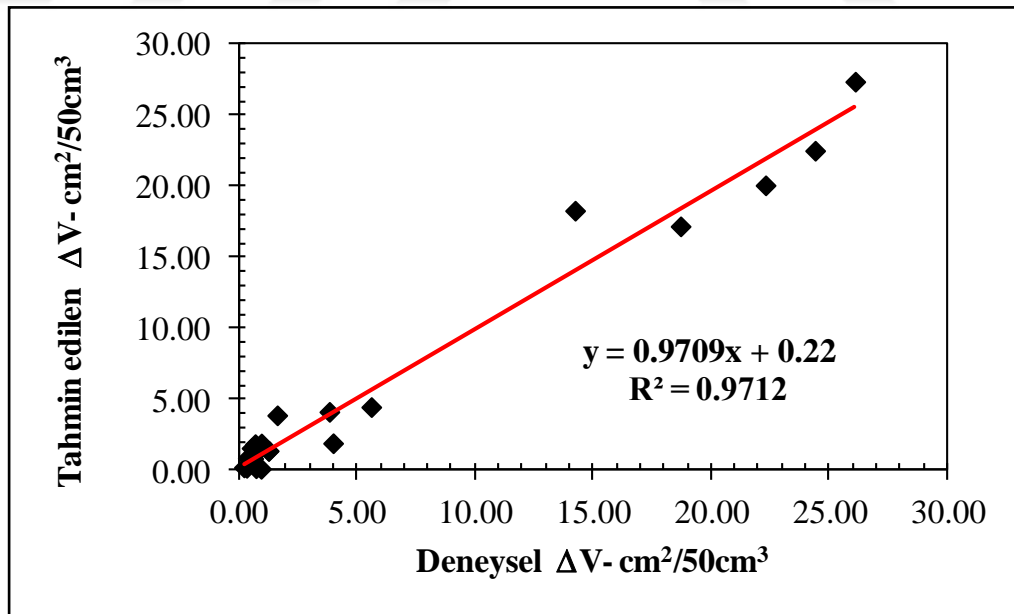
$$\Delta V = -14,802 - 8,871\gamma_d + 9,470\gamma_r - 0,018UCS \quad (3.2)$$

Regresyon denklemini doğrulamak için varyans analizi yapılmış ve sonuçlar çizelge 3.12’de verilmiştir. Bu testte % 95 güven aralığı seçilmiştir. Geliştirilen istatistiksel model % 5 önem düzeyi($\alpha=0,05$) için Böhme aşınma kaybını tahmin etmek için güvenilir olarak kullanılabilir olduğunu göstermiştir ($F=202.350, p= 0.000 < \alpha$).

Böhme aşınma kaybı tahmini için geliştirilen çoklu regresyon denkleminde elde edilen değerler (tahmini değerler) ile deneysel verilerden elde edilen değerler (gerçek değerler) arasındaki ilişki şekil 3.32 de gösterilmiştir. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasında oluşturulan grafiğe bakıldığında oldukça yüksek korelasyon katsayısına ($R^2: 0,9712$) sahip bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.12 Böhme aşınma kaybının varyans analizi

Model	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortal.	F	p
Regresyon	1581.315	3	527.105	202.350	0.000
Kalan	46.889	18	2.605		
Toplam	1628.203	21			



Şekil 3.32 İncelenen örneklerde Böhme aşınma kaybının gerçek ve tahmin edilen değeri arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada; bölgede yaygın olarak kullanılan yapıtaşlarının Böhme aşınma kaybı dayanım indeks değerlerinin daha kolay ve kısa sürede istatistiksel olarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kayaçların temel indeks özellikleri (kuru birim ağırlık, tane birim ağırlığı, porozite, boşluk oranı vs.) bağımsız değişken olarak kullanılmış, bu değerler ile Böhme aşınma kaybı indeksi değerleri arasındaki istatistiksel ilişki incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- İncelenen örneklerin kuru birim ağırlığı değerleri $12,95 \text{ kN/m}^3$ ile $28,55 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmekte olup, en düşük değer tuf kayacında (19 NÖ), en yüksek değer ise kumtaşı (16 NÖ) belirlenmiştir. Seçilen 22 örnek içinde doygun birim ağırlık değeri en düşük $16,60 \text{ kN/m}^3$ ile tuf (19NÖ), en büyük değer ise $28,58 \text{ kN/m}^3$ ile kumtaşında (16 NÖ) belirlenmiştir.

Kayaçların porozite değerleri % 0,32 ile % 37,20 arasında bulunmuş olup en küçük değer kumtaşında (16 NÖ), en yüksek değer ise tuf kayacında (19NÖ) belirlenmiştir (Çizelge 3.1). İncelenen kayaç örneklerin ağırlıkça su emme değerleri en düşük değer % 0,11 ile kumtaşında (16 NÖ), en büyük değer ise % 28,80 ile tuf kayacında (19 NÖ) belirlenmiştir.

- Çalışma için seçilen 22 örneğin 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanım ($\sigma_{c(50)}$) değeri en düşük 7,70 MPa ile tuf kayacında (19 NÖ), en yüksek değer ise 134,43 MPa ile diyabazda (3 NÖ) belirlenmiştir.
- Çalışmada Böhme aşınma kaybı (ΔV) değeri en düşük $0,20 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ile silişleşmiş andezitte (12 NÖ) en yüksek ise $26,10 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ile tuf kayacında gözlenmiştir.
- Kayaçların sahip oldukları porozite değerleri ile Böhme aşınma kaybı değerleri arasında belirlilik katsayısı (R^2) 0,96 olan oldukça yüksek bir polinomsal ilişkinin olduğu gözlenmiştir.
- Kayaçların sahip oldukları ağırlıkça su emme değeri ile Böhme aşınma kaybı değerleri arasında belirlilik katsayısı (R^2) 0,95 olan polinomsal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

- Kayaçların sahip oldukları birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı değerleri arasında belirlilik katsayısı (R^2) 0,92 olan oldukça yüksek polinomsal bir ilişki vardır.
- Kayaçların sahip oldukları doymun birim ağırlık değerleri ile Böhme aşınma kaybı değerleri arasında belirlilik katsayısı (R^2) 0,88 olan polinomsal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.
- Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı değeri ile Böhme aşınma kaybı değerleri arasında belirlilik katsayısı (R^2) 0,74 olan polinomsal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Çalışmada yapılan tekli regresyon analiz sonuçlarına göre kayaçların Böhme aşınma kayıpları ile temel indeks ve dayanım özelliği arasında oldukça güçlü istatistiksel bir ilişki vardır.
- Çalışmada Böhme aşınma kaybının çoklu regresyon analizi yöntemiyle tahmin edebilmek için gerçekleştirilen analiz sonucuna göre; 2 bağımsız değişkenden oluşan en uygun alt kümenin kuru birim ağırlık (γ_d) ve doymun birim ağırlıktan (γ_r) oluştuğu gözlenmiştir.
- Böhme aşınma kaybı tahmini için geliştirilen çoklu regresyon denkleminde elde edilen değerler (tahmini değerler) ile deneysel verilerden elde edilen değerler karşılaştırılmış buna göre değerler arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısına (R^2 : 0,9683) sahip bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.
- Böhme aşınma kaybını çoklu regresyon analizi yöntemiyle tahmin etmek için 3 bağımsız değişkenden oluşan en uygun alt küme kuru birim ağırlık (γ_d), doymun birim ağırlık (γ_r) ve tek eksenli sıkışma dayanımından oluşmaktadır.
- Böhme aşınma kaybı tahmini için geliştirilen çoklu regresyon denkleminde elde edilen değerler (tahmini değerler) ile deneysel verilerden elde edilen değerler (gerçek değerler) arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısına (R^2 : 0,9712) sahip bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonim. 2001. D.P.T VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel ihtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeleri Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri Cilt II. (Mermer- Granit-Yapı Taşları-Arduvaz(Sleyt)) alıştırma Grubu Raporu, Ankara, 195.
- Anonim. 2004. EN 14157, Natural stone determination of the abrasion resistance, CEN, 13.
- Anonim. 2002. 1:500.000 jeoloji haritası Ankara paftası (Ed. Necati Turhan); Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim. 2016. TS 699 T/1. Doğal yapı taşları - inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri. TSE Yayınları.
- Anonim. 2017a. Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri. Ders Notları. http://kursatozcan.com/ders_notlari/muhendislik_jeolojisi/4_kaya_kutlelerinin_muhendislik_ozellikleri.pdf, Erişim Tarihi: 16.12.2017.
- Anonim. 2017b. Web Sitesi: <http://www.tim.org.tr/tr/basin-odasi-yayinlarimiz.html> Erişim Tarihi: 16.12.2017.
- Anonim. 2017c. Web Sitesi: https://www.google.com.tr/search?biw=1745&bih=853&tbm=isch&sa=1&ei=spqbWCIL5D5wAKPuL7ACQ&q=t%C3%BCrkiye+yol+haritas%C4%B1&oq=t%C3%BCrkiye+yol+h&gs_l=img..3.0.0110.36059.38108.0.40414.13.10.0.3.3.0.183.1299.0j9.9.0....0...1c.1.64.img..1.12.1321...35i39k1j0i67k1.0.Ig-XEwwYusI#imgcr=tDZpm1iC0mVWSM; Erişim Tarihi: 05.12.2017.
- Anonymous. 1981. International Society for Rock Mechanics (ISRM). Rock characterisation, testing and monitoring: ISRM suggested methods, E.T. Brown (ed), Pergamon, Oxford, 211.
- Anonymous. 1984. American Society for Testing and Materials. Annual book of ASTM standart - construction: soil and rock, ASTM Publication, 4(8), 978.
- Çelik, M. 2003. Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri, Madencilik, 42(1), 3-15.
- Çetin, T. 2003. Türkiye mermer potansiyeli üretimi ve ihracatı. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23(3), 243-256.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, S. and Alkaya, D. 2010. Correlation between “wide wheel abrasion (capon)” and “Bohme abrasion” test results for some carbonate rocks. Scientific Research and Essays, 5(22), 3398-3404.
- Erdoğan, M. ve Yüzer, E. 1999. “Mermer ve Yapıtaşları”, Endüstriyel Mineraller Envanteri, (Editörler: Önal,G., Yüce, A.E., Özpeker, I., ve Güney, A.) İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, Yurt Madenciligini Geliştirme Vakfı, İstanbul.

- Hoek, E. and Brown, E.T. 1980. Underground excavations in rock, Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and sons ltd., Hertford, England, 577.
- İnce, İ. 2013. Donma Çözülme Döngüsünün Kayaçların Mühendislik Parametreleri Üzerine Etkisi, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Karaca, Z., Deliormanlı, A. H., Elci, H. and Pamukcu, C. 2010. Effect of freeze–thaw process on the abrasion loss value of Stones. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 47,1207-1211.
- Koçu, N. ve Dereli, M. 2003. Mermerlerin günümüz mimarisinde kaplama (duvardöşeme) elemanı olarak kullanılması ve uygulama sorunları. Türkiye IV Mermer Sempozyumu (MERSEM'2003) 18-19 Aralık 2003, Bildiriler Kitabı, 61-73.
- Kulaksız, S. 2005. Doğal tas maden işletmeciliği ve işleme teknolojileri. Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 624.
- Sefer, B. Ç. 2018. Karbonat kayalarının aşınma dirençlerinin geniş disk aşınma deneyi ile araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(1), 303-310.
- Taşlıgil, N. ve Şahin, G. 2016. Yapı malzemesi olarak kullanılan türkiye doğal taşlarının iktisadi coğrafya odağında analizi. Marmara Coğrafya Dergisi, 33, 607-640.
- Toprak, V. 1998. Vent distribution and its relation to regional tectonics, Cappadocia Volcanics, *Turkey.J.volcanol. Geotherm.Res.* 85, 55-67ç
- Ulusay, R., Gökçeoğlu C. ve Binal A. 2001. Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri. TMMOB Jeoloji Müh. Odası yayınları, No:58, Ankara, 161.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdualrahman Ali Adam MOHAMMED

Doğum Yeri : HARTUM/ SUDAN

Doğum Tarihi : 04/06/1985

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : Türkçe-İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İd-Hussain Lise Okulu

Lisans : Uluslararası Afrika Üniversitesi

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği
Anabilim Dalı (Ekim 2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2017-devam ediyor.