

**CEHPE KAPLAMADA KULLANILAN
DOĞALTAŞLARIN MONTAJINDA SAPLAMA
DELİĞİNDE KIRILMA YÜKÜNÜN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gediz EMEK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Sevgi ÇETİNTAŞ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak, 2015

Bu tez çalışması 113M111 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CEHPE KAPLAMADA KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN
MONTAJINDA SAPLAMA DELİĞİNDE KIRILMA YÜKÜNÜN
BELİRLENMESİ

Gediz EMEK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Sevgi ÇETİNTAŞ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2015

TEZ ONAY SAYFASI

Gediz EMEK tarafından hazırlanan ‘‘Cephe Kaplamada Kullanılan Doğaltaşların Montajında Saplama Deliğinde Kırılma Yükünün Belirlenmesi’’ adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve ğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 21/01/2015 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 : Yrd. Doç. Dr. Sevgi ETİNTAş

İkinci Danışmanı :

Başkan : Doç. Dr. Ahmet YILDIZ
Afyon Kocatepe . Mühendislik Fakültesi,

ye : Doç. Dr. İ. Celal ENGİN
Afyon Kocatepe . Mühendislik Fakültesi,

ye : Yrd. Doç. Dr. Sevgi ETİNTAş
Afyon Kocatepe . Mühendislik Fakültesi,

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

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
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.

21.01.2015

Gediz EMEK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**CEHPE KAPLAMADA KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN
MONTAJINDA SAPLAMA DELİĞİNDE KIRILMA YÜKÜNÜN
BELİRLENMESİ**

Gediz EMEK
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sevgi ÇETİNTAŞ

Bu çalışmada, bina cephe kaplamalarında kullanılan doğaltaşların saplama deliğinde kırılma yükünün belirlenmesi ve bu yük değerinin farklı kalınlığa sahip örneklerdeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, Türkiye'nin değişik yörelerinde ticari olarak üretimi yapılan 15 doğaltaş örneği kullanılmıştır. Polarizan mikroskop ve X-ışınları difraktometresi (XRD) analizleri yardımıyla doğaltaş örneklerinin mineralojik-petrografik özellikleri belirlenmiştir. Örneklerin jeokimyasal özelliklerini ortaya koyabilmek için kimyasal analizleri ve fiziko-mekanik testler uygulanmıştır. Saplama deliğinde kırılma yükü deneyleri, 20x20 cm boyutlarındaki doğaltaş örneklerinde farklı kalınlıklarda standart TS EN 13364'e göre yapılmıştır. Doğaltaş örnekleri üzerinde kırığın kenarına olan en uzun mesafe (b_A) ve delikten yüzeye olan mesafe (d_1) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, fiziko-mekanik özelliklerin kırılma yükü değerlerine etkisi incelenmiştir.

Kırılma deneyleri sonucunda, artan kalınlık değerine bağlı olarak, kırılma yükü değerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, çalışmadaki doğaltaş grupları dikkate alındığında, en yüksek kırılma yükü değerinin granit örneklerinde elde edildiği tespit edilmiştir. Bazı doğaltaş örneklerinin çatlak ve kırıklı yapılara sahip olması, kırılma yükü değerini azalttığını göstermektedir. Özellikle kireçtaşı grubu örneklerde bulunan bu yapının ve bunların dağılımlarının kırılma yükünü önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda, doğaltaşların saplama deliğinde kırılma yükü performansları üzerinde mineralojik-petrografik özellikler, kimyasal özellikler ve fiziko-mekanik özelliklerin etkinliği araştırılmıştır. Buna göre, tüm örnek örnek gruplarında kırılma yükü ile basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı arasında pozitif korelasyonlu lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Araştırma kapsamında ayrıca deneysel yöntemlerle elde edilen kırılma yükü değerleri ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sayısal değerler tespit edilmiş ve aralarındaki ilişki araştırılmıştır.

2015, xiv + 108 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kırılma yükü, Doğaltaş, Kaplama

ABSTRACT
M.ScThesis

DETERMINATION OF BREAKING LOAD AT DOWEL HOLE USED AS FACADE
NATURAL STONE

Gediz EMEK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sevgi ÇETİNTAŞ

This study aimed to determine of breaking load at dowel hole used as facade the natural stone in building cladding and its effect of different thickness in the samples.

To achieve this goal, fifteen different natural stone samples commercially available in the market were studied. Mineralogical-petrographical properties were determined by polarizing microscope and X-ray diffractometer (XRD) analysis.

Geochemical characteristics of the samples that reveal major oxides analysis and physico-mechanical tests were determined. Using a TS EN 13364, breaking load experiments were applied under different thickness for natural stone samples having 20x20 cm dimension. The longest distance to the broken edge (b_A) and distance to the surface of the hole (d_1) were carried out on pre-determined of the natural stone samples. Besides, the effect of the breaking load value of the physico-mechanical properties were investigated.

Breaking load experiments showed that, breaking load value increased with increasing thickness. Also, considering the natural stone group, the maximum breaking load values were found to be obtained in the granite group. Some natural stone types (limestone group) having crack and fissure exhibited relatively low breaking load values. It was

also concluded that the amount of crack and fissure present in the limestone type samples, as well as distribution, greatly affected breaking load, b_A and d_1 .

The results of the investigations, the natural stone stud hole breaking load mineralogical-petrographic features on performance, efficiency of the physico-chemical properties and mechanical properties were investigated. Accordingly, all natural stone group was determined as a positive linear correlation between the breaking load and compressive strength, after freezing of compressive strength and point load strength.

In this study, breaking load value by experimental methods and the numerical values obtained using the finite element method were also found out and the relations between them were investigated.

2015, xiv + 108 pages

Key Words: Breaking Load, Natural Stone, Cladding

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr Sevgi ÇETİNTAŞ'a, bu tez çalışmasında 113M111 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a teşekkürlerimi sunarım.

Doğaltaşların ebatlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Grv. Liyaddin YEŞİLKAYA ve Afyon Meslek Yüksek Okulu Mermer Atölyesinde görev yapan Hüseyin UYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda yardımcı olan Sayın Murat SERT'e, Arş. Grv. İbrahim DUMLUPUNAR'a, Ali ÇAKIR'a, çalışmada kullanılan doğaltaşları sağlayan Demmer, Granitaş, Gençler Mermer, Temmer, Yıldızlı Granit, Başoğlu Mermer fabrikalarına teşekkürlerimi sunarım.

Gediz EMEK

AFYONKARAHİSAR, 2015

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1 Doğaltaşın tanımı.....	2
2.2 Doğaltaşların Sınıflandırılması	2
2.2.1 Kökenlerine Göre Sınıflama.	2
2.2.2 Sertliklerine Göre Sınıflama.....	4
2.2.3 Yapı ve Dokularına Göre Sınıflama.....	4
2.2.4 Tane Boyutuna Göre Sınıflama	4
2.3 Doğaltaşların Kullanım Alanları	6
2.4 Doğaltaşların Kaplama Malzemesi Olarak Kullanılması	8
2.5 Doğaltaşların Cephe Kaplama Yöntemleri	8
2.5.1 Doğaltaşların Harç Yöntemi İle Kaplanması	9
2.5.2 Cephe Kaplamalarında Uygulanan Ankraj Yöntemi	11
2.6 Literatür Çalışmaları	14
3. MALZEME YÖNTEM	20
3.1 Malzeme.....	20
3.2 Yöntem.....	21
3.2.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler	21
3.2.2 Kimyasal İncelemeler.....	22
3.2.3 Saplama Deliğinde Kırılma Yükünün İncelenmesi.....	22
3.2.4 Fiziksel ve Mekanik Testler.....	27
3.2.4.1 Su Emme Testi.....	27
3.2.4.2 Kılcal Su Emme Tayini.....	28
3.2.4.3 Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik	29
3.2.4.4 Özgül Ağırlık (Gerçek Yoğunluk) Tayini	30
3.2.4.5 Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi	30

3.2.4.6 Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı Tayini	31
3.2.4.7 Yoğun Yük Altında Bükülme Yüğü Tayini.....	32
3.2.4.8 Ses Hızı İlerlemesinin Tayini	33
3.2.4.9 Termal Şok Etkisi İle Yıpranmaya Direncin Tayini	34
3.2.4.10 Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini.....	35
3.2.4.11 Nemli Ortamda SO ₂ Yıpratmasına Direncin Tayini	36
3.2.4.12 Knoop Sertliğinin Tayini	37
3.2.4.13 Aşınma Direnci Tayini.....	38
3.2.4.14 Schmidt Çekici Sertliği Deneyi	38
3.2.4.15 Don Tesirine Dayanıklılık ve Don Sonrası Basınç Dayanımı Deneyi39	
4. BULGULAR	41
4.1 Mineralojik Petrografik İncelemeler.....	41
4.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri.....	41
4.1.1.1 Afyon Şeker Mermeri	41
4.1.1.2 Afyon Menekşe Mermeri.....	41
4.1.1.3 Kaplan Postu Mermeri	43
4.1.1.4 Muğla Beyazı Mermeri	44
4.1.1.5 Uşak Beyazı Mermeri	45
4.1.1.6 Bilecik Bej	46
4.1.1.7 Korkuteli Bej.....	47
4.1.1.8 Burdur Bej.....	48
4.1.1.9 Light Emprador.....	49
4.1.1.10 Silver Bej	50
4.1.1.11 Balaban Green Granit	51
4.1.1.12 Hisar Gri Granit	52
4.1.1.13 Roza Beta Granit.....	53
4.1.1.14 Bergama Granit	54
4.1.1.15 Eskişehir Granit	55
4.1.2 X-Işınları Difraktometresi (XRD) İncelemeleri	56
4.2 Kimyasal İncelemeler	58
4.3 Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü İncelemeleri.....	60
4.4 Fiziksel ve Mekanik Testler.....	65

5. TARTIŞMA	69
5.1 Granit Grubu Doğaltaşlar.....	69
5.1.1 Granit Grubu Kırılma Yüğü Değişiminin İncelenmesi	69
5.1.2 Kırılma Yüğü - Kırığın Kenara Olan Mesafesi (b _A) Değişiminin.....	70
İncelenmesi	
5.2 Kireçtaşı Grubu Doğaltaşlar	71
5.2.1 Kireçtaşı Grubu Kırılma Yüğü Değişiminin İncelenmesi.....	71
5.2.2 Kırılma Yüğü - Kırığın Kenara Olan Mesafesi (b _A) Değişiminin	72
İncelenmesi	
5.3 Mermer Grubu Doğaltaşlar	73
5.3.1 Mermer Grubu Kırılma Yüğü Değişiminin İncelenmesi.....	73
5.3.2 Kırılma Yüğü - Kırığın Kenara Olan Mesafesi (b _A) Değişiminin	74
İncelenmesi	
5.4 Kırılma Yüğü ile Fiziko-Mekanik Özelliklerin İstatistiksel Değerlendirilmesi	75
5.4.1 Kırılma Yüğü - Basınç Dayanımı İlişkisi.....	75
5.4.2 Kırılma Yüğü - Don Sonrası Basınç Dayanımı İlişkisi.....	75
5.4.3 Kırılma Yüğü - Nokta Yükleme Dayanımı İlişkisi.....	77
5.4.4 Kırılma Yüğü - Yoğun Yüğü Altında Bükölme Dayanımı İlişkisi.....	77
5.4.5 Kırılma Yüğü - Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı İlişkisi.....	78
5.4.6 Kırılma Yüğü - Knoop Sertliği İlişkisi	80
5.5 Sonlu Elemanlar Yardımıyla Kırılma Yüğü Değerlerinin İncelenmesi.....	81
6. SONUÇLAR	92
7. KAYNAKLAR.....	95
EK-1 Kırılma yüğü - Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini ilişkisi	99
EK-2 Kırılma yüğü - Görünür yoğunluk tayini ilişkisi	100
EK-3 Kırılma yüğü – Gerçek yoğunluk tayini ilişkisi.....	101
EK-4 Kırılma yüğü – Ses ilerleme hızı ilişkisi.....	102
EK-5 Kırılma yüğü – Aşınma dayanımı ilişkisi	103
EK-6 Kırılma yüğü – Termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini ilişkisi.....	104
EK-7 Kırılma yüğü – Tuz kristallenmesine direncin tayini ilişkisi.....	105
EK-8 Kırılma yüğü – SO ₂ yıpratmasına karşı direncin tayini ilişkisi	106
EK-9 Kırılma yüğü – Schmidt çekici sertlik ilişkisi	107
ÖZGEÇMİŞ	108

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

g	Gram
N	Newton
mm	Milimetre
cm	Santimetre
°	Derece
C	Santigrat
g/cm ³	Gram/Santimetre Küp
kg/cm ³	Kilogram/Santimetre Küp
MPa	Mega Paskal
sn	Saniye

Kısaltmalar

TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TS	Türk Standardları
EN	Avrupa Standardları
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
DAL	Doğaltaş Analiz Laboratuvarı
MEB	Milli Eğitim Müdürlüğü
MTA	Maden Teknik Arama
TUAM	Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi
XRD	X – Işımları Difraksiyonu
SO ₂	Sülfürik Asit
vd	Ve Diğerleri
ÇN	Çapraz Nikol

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Doğaltaşların binaların dış cephelerinde kullanılması	9
Şekil 2.2 Çimento harcı uygulaması	10
Şekil 2.3 Doğaltaş plakalarının duvara kaplanmasında kullanılan metal aparatlar.....	11
Şekil 2.4 Doğaltaşlarda pim ve kanca kullanımı	12
Şekil 2.5 Duvara taşıyıcı ve tutucu kenetlerin monte işlemi.....	13
Şekil 2.6 Kancaların tespit görüntüsü	13
Şekil 3.1 Polarizan mikroskop görüntüsü	21
Şekil 3.2 X-Işınları Difraktrometre (XRD) Cihazı.....	22
Şekil 3.3 Cihazın genel görüntüsü.....	23
Şekil 3.4 Saplama deliğinin açılması	24
Şekil 3.5 Saplama çubuğu	24
Şekil 3.6 Saplama çubuğunun sabitlenmesi	25
Şekil 3.7 Cihaza Yerleştirilen deney örneğinin görünüşü.....	25
Şekil 3.8 Saplama eksenine dik uygulanan kuvvet	26
Şekil 3.9 Kırılma mesafelerinin genel görünümü	26
Şekil 3.10 Doğaltaşlarda kılcal su emme deneyi.....	28
Şekil 3.11 Otomatik yoğunluk ölçüm cihazı.....	30
Şekil 3.12 Tek eksenli basınç dayanım deneyi cihazı.....	31
Şekil 3.13 Eğilme dayanım deneyi cihazı	32
Şekil 3.14 Ultrases cihazı	34

Şekil 3.15 Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi örneklerinin deney öncesi ve sonrası görünümü	35
Şekil 3.16 Shimadzu HMV Knoop sertlik ölçüm cihazı	37
Şekil 3.17 Gabrielli Aşınma dayanım test cihazı	38
Şekil 3.18 Ectha Plus Schmidt çekici	39
Şekil 4.1 Afyon Şeker örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C) ve polisentetik ikizlenmeler	42
Şekil 4.2 Afyon Menekşe örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C) ve polisentetik ikizlenmeler	42
Şekil 4.3 Kaplan Postu örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C) ..	43
Şekil 4.4 Muğla Beyaz örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C) ve polisentetik ikizlenmeler	44
Şekil 4.5 Uşak Beyaz örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C).....	45
Şekil 4.6 Bilecik Bej örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen birincil (C-1) ve ikincil (C-2) kalsit mineralleri kalsit dolgulu çatlaklar.....	46
Şekil 4.7 Korkuteli Bej örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen birincil (C-1) ve ikincil (C-2) kalsit mineralleri kalsit dolgulu çatlaklar	47
Şekil 4.8 Burdur Bej örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen (C-1) ve (C-2) kalsit mineralleri, kalsit dolgulu çatlaklar ve aragonit (Arg) mineralleri	48
Şekil 4.9 Light Emprador örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen dolomit (Dol) mineralleri	49
Şekil 4.10 Silver Bej örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen birincil (C-1) ve ikincil (C-2) kalsit mineralleri, kalsit dolgulu çatlaklar.....	50
Şekil 4.11 Balaban Green örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen feldispat (Fld) kuvars (Q) ve zirkon (Zr) mineralleri kalsit dolgulu çatlaklar	51

Şekil 4.12 Hisar Gri Granit örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen, K-feldispat (K-Fld), plajioklas (Plx), kuvars (Q) ve biyotit (Bio) mineralleri kalsit dolgulu çatlaklar	52
Şekil 4.13 Roza Beta örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen K-feldispat (K-Fld) plajioklas (Plx) ve biyotit (Bio) mineralleri	53
Şekil 4.14 Bergama Granit örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen K-feldispat (K-Fld), plajioklas (Plx) ve biyotit (Bio) mineralleri	54
Şekil 4.15 Eskişehir Granit örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen K-feldispat (K-Fld), plajioklas (Plx), kuvars (Q) ve biyotit (Bio) mineralleri.....	55
Şekil 4.16 XRD Analiz Sonuçları	57
Şekil 5.1 Granit grubu örneklerinde kalınlığa bağlı kırılma yükü değişimi.....	69
Şekil 5.2 Granit grubu örneklerine ait Kırılma Yükü – b_A değişimi.....	70
Şekil 5.3 Kireçtaşı grubu örneklerinde kalınlığa bağlı kırılma yükü değişimi	71
Şekil 5.4 Kireçtaşigrubu örneklerine ait Kırılma Yükü – b_A değişimi.....	72
Şekil 5.5 Mermer grubu örneklerinde kalınlığa bağlı kırılma yükü değişimi	73
Şekil 5.6 Mermer grubu örneklerine ait Kırılma Yükü – b_A değişimi	74
Şekil 5.7 Kırılma yükü - Basınç dayanımı ilişkisi	76
Şekil 5.8 Kırılma yükü – Don sonrası basınç dayanımı ilişkisi	76
Şekil 5.9 Kırılma yükü – Nokta yükleme dayanımı ilişkisi	78
Şekil 5.10 Kırılma yükü – Yoğun yük altında bükülme dayanımı ilişkisi.....	79
Şekil 5.11 Kırılma yükü – Sabit moment altında eğilme dayanımı ilişkisi.....	79
Şekil 5.12 Kırılma yükü – Knoop sertliği ilişkisi.....	80
Şekil 5.13 Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerin akış şeması.....	82
Şekil 5.14 Solidworks programı kullanarak deney sisteminin modellenmesi.....	82

- Şekil 5.15** Modellenmiş deney sisteminin montajlanmamış görüntüsü; 1. Numune, 2. Saplama, 3. Çimento, 4. Alt ve üst sabitleme tablaları 84
- Şekil 5.16** Deneysel değerler-sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen değerleri 84 karşılaştırılması

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Mermerlerin tane boyutuna göre sınıflandırılması.....	5
Çizelge 2.2 Doğaltaşların kullanım alanları ve aranan özellikler	7
Çizelge 3.1 Deneyleerde kullanılan doğaltaş örnekleri ve örneklerin alındığı firmalar ..	20
Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan örneklere ait kimyasal analiz sonuçları	59
Çizelge 4.2 Doğaltaşların kırılma yükü değerleri	60
Çizelge 4.3 Doğaltaşların kırığın kenara olan en uzun mesafe (b_A) değerleri	63
Çizelge 4.4 Doğaltaşların delikten yüzeye olan mesafe (d_1) değerleri.....	64
Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan mermerler ait fiziko-mekanik test sonuçları.....	68
Çizelge 5.1 Deneysel değerler ve sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen değerler	86
Çizelge 5.2 Mermer Grubu Örnekleri Saplama Deliğinde kırılma yükünün sonlu elemanlar yöntemi ile modellemesi	88
Çizelge 5.3 Bej Grubu Örnekleri Saplama Deliğinde kırılma yükünün sonlu elemanlar yöntemi ile modellemesi	90
Çizelge 5.4 Granit Grubu Örnekleri Saplama Deliğinde kırılma yükünün sonlu elemanlar yöntemi ile modellemesi	91

1. GİRİŞ

Günümüz modern mimarisinde doğaltaş, kaplama malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptir. Kaplamalar, yapılarda ve özellikle duvarlarda yüzeylerin güzel görünümlü ve dayanıklı olması istenen bölgelerine ya da tüm yüzeye uygulanmaktadır (Karaca vd. 2012).

Doğaltaşların mimari tasarımının önemli bir hususta doğaltaşların montaj sistemidir. Doğaltaşların montajında harçlı ve ankrajlı olmak üzere iki sistem kullanılır. Ankrajla montaj genelde cephe kaplamalarında, harçlı sistem sistem tüm iç ve dış mermer kaplamalarında kullanılabilir. Tasarım aşamasında mermerin boyutu ve kaplama yapılacak yerin özelliklerine göre montaj sistemlerinden biri seçilir. Tasarım aşamasında montaj sistemleri belirlenirken doğaltaşın boyutu ve kaplama yapılacak yerin özellikleri dikkate alınmaktadır. Yüksekliği fazla olmayan binalarda hazır yapıştırma harçları kullanılarak işçiliği kolaylaştırmak ve maliyetleri düşürmek için küçük boyutlarda doğaltaş ile çalışmak yaygındır. Yüksek binalarda, ankrajlı sistem uygulanmakta ve daha büyük ebatlı ve kalınlıktaki doğaltaşlar kullanılmaktadır (Karaca ve Öztank, 2003).

Bu çalışmada; doğaltaşların saplama deliğinde kırılma yükünün belirlenmesi amacıyla farklı kalınlıklarda, farklı doğaltaş grupları kullanılarak, TS EN 13364 standardı da dikkate alınarak kırılma yükü değerleri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, kayaç yapılarına ilişkin olarak kimyasal özellikler ve fiziko-mekanik özellikler tanımlanmış, mineralojik incelemeler yapılarak bu özelliklerin kırılma yüküne olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca; sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak deneysel olarak yapılan çalışmaların modellenmesi de gerçekleştirilmiştir. Bina kaplamalarında uygulanan ankraj yöntemlerinde günümüze kadar yapılan eksikliklerin göz önüne alındığı bu çalışmada kırılma yüklerinin değişimi incelenmiştir.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 Doğaltaşın Tanımı

Genel tanım: Ocaktan bloklar halinde çıkarılacak, plaka haline getirildikten sonra değişik teknikler kullanılarak yüzeyi işlenebilen, güzel görümlü, dayanıklı magmatik, sedimanter ve metamorfik kökenli kayalara doğaltaş denilmektedir.

Ticari anlamda mermer: Blok verebilen, kesilip işlenebilen, cilalandığında parlayan, dayanıklı her türlü taşa mermer adı verilir. Taşın cinsi ve içeriği ne olursa olsun (sedimanter, magmatik ve metaformik), iyi cila kabul ettikleri takdirde mermer olarak kabul edilirler.

Bilimsel anlamda doğaltaş: Doğaltaş; özellikleri cinsine, çeşidine ve onu oluşturan minerallerin bağlanma şekline göre değişiklik gösteren doğal bir üründür. Yer kabuğunda bulunan, değişik kökendeki her türlü kayaç için kullanılan genel bir terimdir.

Mermer tanımlamasının sektörde üretilen, işlenen ve satışı yapılan tüm kayaları temsil etmemesi nedeniyle kargaşayı önlemek için zamanla mermer yerine “Doğaltaş” tanımlaması kullanılmaya başlanmıştır. Bu tanımlama şekli hem daha geniş bir kayaç grubunu kapsamaması hem de kayaların kullanım alanını yansıtması açısından son derece uygundur (Yıldız 2010).

2.2 Doğaltaşların Sınıflandırılması

2.2.1 Kökenlerine Göre Sınıflama

Doğaltaşlar kökenlerine göre magmatik kökenli, sedimanter kökenli ve metamorfik doğaltaşlar olarak üç gruba ayrılır.

a) **Magmatik Kökenli Doğaltaşlar:** Magmatik kökenli doğal taşlar, magmanın yer kabuğunun derin bölümlerinde, yeryüzüne yakın seviyelerde veya yeryüzünde soğuyarak katılaşması ile oluşurlar. Lav şeklinde yeryüzüne çıkmaya çalışan magma,

yerkabuğunun derin bölümlerinde soğuduğunda, derinlik kayaçları, yeryüzüne ulaşır kristalleşirse yüzey kayaçları meydana gelir (Kibici 2006). Magmatik kayaçlar genellikle iyi kristalleşmiş güzel renk veren kayaçlardır. Tabakalanma yoktur, kütleler halindedirler, içlerinde fosil bulunmaz ve asitten etkilenmezler. Sertliklerinin yüksek olması nedeniyle işlenmesi güç olup cila alma ve koruma kapasiteleri yüksektir. Özellikle zemin kaplama, sütun ve anıt inşaatlarında tercih edilmektedir (Görgülü 1994). Doğal taş sektöründe magmatik kökenli doğal taşlardan en çok granit, diyorit, andezit, bazalt kullanılmaktadır.

b) Sedimanter Kökenli Doğaltaşlar: Bu tip doğaltaşlar sedimantasyon (çökme olayı) sonucu meydana gelmişlerdir. Mineral ve taş parçalarının değişik yollarla taşınarak bir yerde çökmesi ile oluşur. Atmosferik koşulların etkisiyle ufalanmış ve taşınan kayaçların, birbiri ile karışarak doğal bir bağlayıcı ile yeniden sertleşmesi sonucu oluşan kayaçlardır. Bileşiminde % 90'dan fazla kalsiyum karbonat (CaCO_3) bulunduran kütlelere genel olarak *kireçtaşı* adı verilmektedir. Kireçtaşları bazen az miktarda magnezyum karbonat da (MgCO_3) içerebilmektedirler. Kimyasal bileşiminde % 10'dan fazla MgCO_3 bulunan kireçtaşlarına dolomitik kireçtaşları adı verilir (Tutuş 2007). Sedimanter kayaçlar tabakalar halinde oluşur ve içlerinde organik maddeler, fosiller bulunabilir. Özellikle kireçtaşı, dolomit, arduaz ve traverten sedimanter kökenli doğal taşlara örnek olarak verilebilir (Kibici 2006).

c) Metamorfik Kökenli Doğaltaşlar: Metamorfik kökenli doğal taşlar; kayaçların sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesi ile oluşur. Bu kristaller oluşum sırasında soğuma hızı ile ters orantılı olarak çeşitli büyüklüklerde meydana gelmektedirler (Görgülü 1994). Metamorfik kökenli doğaltaşlardan olan mermerler mikroskop altında incelendiğinde, birbirlerine sıkıca kenetlenmiş kalsit kristallerinden oluştuğu görülmektedir. Kalsiyum karbonat kristallerinden oluşanlarında genellikle %95-96 oranında kalsit ve değişik oranlarda silis, silikat, demir oksit, flüorit ve organik maddelerde bulunabilmektedir (Arıkan 1968). Bu tip kayaçlara en iyi örnek sedimanter kayaçların metamorfizması sonucu oluşan kireçtaşı ve dolomit gibi mermerlerdir (Kibici 2006). Bu doğaltaş türü sektörde "hakiki mermer" olarak bilinmektedir.

2.2.2 Sertliklerine Göre Sınıflama

Doğal taşlar sertlikleri açısından ikiye ayrılır. Bunlar;

a) Yumuşak doğaltaşlar: Karbonat (CO₃) içerikli kayalardır. Sertlikleri mohs sertlik skalasına göre 3-4 civarındadır. Kesilebilirliği ve işlenebilirliği sert doğaltaşlara göre daha kolaydır. Yumuşak doğaltaşlar traverten, oniks ve hakiki mermerlerdir.

b) Sert doğaltaşlar: Mağmatik kökenli doğaltaşlar bu gruba girmektedir. Bileşiminde kuvars, feldispat, piroksen, mika gibi silikatlı mineraller bulunan kayalardır ve sertlikleri mohs skalasına göre 6-7 arasında değişir (Çelik 2007). Sert doğaltaşların kesimi zordur. Buna karşılık, çok sağlamdırlar ve iyi cila kabul ederler (Göktan ve Yılmaz 2006). Sert doğaltaşlara örnek olarak granit, diyabaz, siyenit, gnays, labradorit ve bazalt verilebilir.

2.2.3 Yapı ve Dokularına Göre Sınıflama

Yapı, kayaların gözle görülebilen tüm özellikleridir. Yapıyı oluşturan kristallerin ve tanelerin birbiri ile olan ilişkilerini ifade eder. Doğaltaşlar yapısal özellikleri ve dokusuna göre 4 şekilde sınıflandırılabilir:

- Masif mermer; kompakt görünümlü, ince ve iri tanelidir.
- Laminalı mermer; renkli şeritli görünümde, ince taneli şeritler farklı mineral veya elementler içerirler.
- Şisti mermer; önemli miktarda mika içeren, yapraklı yapıda olan kayalardır.
- Breşik mermer; metamorfizmaya uğrayarak kırılan kayaların ikincil minerallerle dolgulanmasıyla oluşur (Çelik 2007).

2.2.4 Tane Boyutuna Göre Sınıflama

Doğaltaşların değerini belirleyen en önemli özelliklerden birisi tane boyutudur. Doğaltaşın kullanım yeri, cila alma, mukavemeti, su emme özellikleri doğrudan tane boyu ile ilgilidir. Tane boyutu küçüldükçe ekonomik değeri artar (Çelik 2007). Doğaltaşlar tane boyutuna göre basit olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Kun 2000). Tane boyutu ile ilgili sınıflandırma Çizelge 2.1'de verilmiştir.

- İnce taneli mermer (<1 mm),
- Orta taneli mermer (1-5 mm),
- İri taneli mermer (5 mm ile 1-2 cm),

Çizelge 2.1 Mermerlerin tane boyutuna göre sınıflandırılması (Kun 2000).

<u>Tane Boyutu</u>		<u>Özellikleri</u>	<u>Tane Boyutu</u>
Tanım	Değeri		
Çok ince taneli mermer	<100 µm	Tane boyutu 100 mikrondan küçüktür. Mermeri oluşturan taneler gözle fark edilemez. Tane boyutunun çok küçük olmasından dolayı çok iyi cila kabul ederler.	Afyon Mermerleri
İnce taneli mermer	100 µm -2000 µm	Tane boyutu 100 mikron ile 2000 mikron (2 mm) arasında olan mermerlerdir. İnce taneli mermerlerde taneler birbirlerine iyice kenetlenmiş durumdadır.	Muğla - Milas Mermeri (Avrupa beyazı)
Orta taneli mermer	2 mm- 5 mm	Tane boyutu 2 mm- 5 mm arasında olan mermerlerdir. Tane boyutunun büyüklüğünden dolayı kesme ve parlatma işlemlerinde problem meydana gelir. Genellikle kenarlardan tane düşmesi ve tane kopması sonucu iyi kenar kesme özelliği vermezler.	Bursa - Mustafa Kemalpaşa beyazı
İri taneli mermer	>5 mm	Tane boyutu 5 mm'den daha iri olan ve taneleri gözle görülebilen mermerlerdir. Kristaller iri olduğunda mermer dişli ve kaba görünümlüdür.	Kırşehir beyazı

2.3 Doğaltaşların Kullanım Alanları

Mermerin başlıca tüketim alanları; inşaat sektörü, güzel sanatlar alanı ve dekorasyondur. En geniş kullanım alanını ise inşaat sektörü oluşturur. Binaların iç ve dış kaplamaları, merdiven basamakları, sütunlar, şömine, mutfak tezgâhları ve banyolar inşaat sektörünün önemli tüketim alanlarını oluşturur.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak doğal taşları kesen ve işleyen makinaların üretilmesi ile her türlü doğal taş kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle binaların dış yüzeyleri ve çevre düzenlemelerinde ebatlı ve şekilsiz taşların yanı sıra yaya yolu ve kaldırımlarda da doğal taşlar başarı ile kullanılmaktadır (Çelik 2003).

Yol ve kaldırım döşemesi, bordur taşı, duvar ve dayanma yapısı malzemesi, çatı örtüsü, kıyı tahkimatı, dalgakıran ve baraj inşaatı, agrega üretimi gibi geniş bir kullanım alanı vardır (Çelik 2003).

İç dekorasyon malzemesi olarak da; masa, sehpa ve çeşitli mobilyalarda kullanılır. Hediyelik eşya ve el sanatları dalında ise; vazo, biblo, avize, şekerlik, kül tablası, heykel vs. yapımında bilhassa güzel renkli ve desenli mermerler kullanılmaktadır (Çizelge 2.2). Bu arada mezar taşlarında da önemli ölçüde mermer tüketilmektedir. Mermerler renklerine, dokularına, yapılarına, fiziko-mekanik özelliklerine, kristal boyutlarına ve ayrışma derecelerine uygun olarak kullanılmalıdır. Bu özellikler göz önünde tutulmadan kullanılacak olursa, yani kullanım yerine uygun mermer seçilememesinden dolayı, bir müddet sonra istenmeyen durumlarla karşılaşılabilir. Dış kaplamalarda kullanılacak mermerler; aşınmaya, donmaya ve ayrışmaya karşı mukavemetli olmalıdır. Bilhassa ayrışma çok önemlidir. Atmosfer etkisiyle renkli mermerler bir süre sonra renklerini atmaya ve güzel görünümünü kaybetmektedir. Aynı şekilde homojen olmayan, farklı sertlikte taneler ihtiva eden mermerler dışarıda kullanıldığı zaman yumuşak, killi ve kumlu kısımlar hızla ayrılarak, çukurlu ve tümsekli yüzeyler meydana gelmesine sebep olmaktadır. İç kaplamada kullanılacak mermerlerdeki en önemli özellik; dekoratif görünüş sağlamasıdır. Bu amaçla beyaz ve güzel renkli olan her çeşit mermer içeride kaplama olarak kullanılabilir (Çelik 2004).

Çizelge 2.2 Doğaltaşların kullanım alanları ve aranan özellikler (Çalapkulu ve Özkan 2012).

İÇ MEKAN	DIŞ MEKAN
<p>KULLANIM YERLERİ</p> <ul style="list-style-type: none">• İç duvar kaplamaları• Yer döşeme/süpürgelik• Merdiven ve Eşik• Mutfak bankosu	<p>KULLANIM YERLERİ</p> <ul style="list-style-type: none">• Duvarlar• Merdivenler• Köprüler• Yer döşemeleri
<p>DİKKAT EDİLEN KAYAÇ ÖZELLİKLERİ</p> <ul style="list-style-type: none">• Aşınma Dayanımı• Basınç mukavemeti• Islak ortamlarda kaymazlık derecesi• Su emme• Kimyasal reaksiyonlara dayanımı• Isı iletimi/Isı tutma - Ortam koşulları	<p>DİKKAT EDİLEN KAYAÇ ÖZELLİKLERİ</p> <ul style="list-style-type: none">• Aşınma - Yaya/Araç trafiği• Basınç dayanımı• Darbe dayanımı• Don kaybı - İklim koşulları• Isı iletimi/ısı tutma-İklim koşulları• Kimyasal reaksiyonlara dayanım (Asit yağmurları)

Doğaltaşların yapılarda hangi amaçla ve nerede kullanılacağı Çizelge 2.2’de belirtilen faktörlere göre belirlenmesi gerekmektedir. Bu faktörler mermerlerin renkleri, dokuları, yapıları, fiziko-mekanik özellikleri, kristal boyutları ve ayrışma dereceleri olarak sıralanabilir. Doğal taşların oluşum türlerine göre de alterasyon (bozulma) dereceleri de değişmektedir. Aynı dış etkilere maruz kalmış kireçtaşı ile granit farklı derecede alterasyona uğrar. Magmatik kayalar kireçtaşlarına nazaran alterasyonlardan daha az etkilenmektedirler (Binol 2005). Bu özellikler göz önünde tutulmadan doğaltaş türlerinin belirlenmesi, uygun olmayan yerlerde kullanılması, bir süre sonra ortaya çirkin görünüşlerin ve ilave maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. (Çelik 2004). Bunun yanı sıra, doğaltaşları etkileyen birçok dış parametrede bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri atmosfer etkisi ve organizmalardır. Atmosferdeki maddelerden SO₂, SO₃, CO₂, Cl₂ içeren gazlar ve N₂, NO, NO₂, NO₃, N₂O₅ azot oksitleri gibi bileşiklerin normal değerlerin altında olması halinde ortamda aktif rol oynarlar, asidik çözeltiler oluşturarak, taşların bozulmasında rol oynarlar (Dal ve Artık 2008).

2.4 Doğaltaşların Kaplama Malzemesi Olarak Kullanılması

Doğaltaş, sert hava koşullarına dayanıklıdır, taşıyıcı gücü fazladır, yerkabuğunda bol miktarda bulunur ve yüzyıllar boyunca mimarinin en değerli yapı malzemesi olmuştur. Hiçbir bağlantıya gerek duyulmaksızın sağlam yapılar inşa etmeye olanak tanınması, doğaltaşları diğer malzemelerden üstün kılan en önemli özelliktir (Çalapkulu ve Özkan 2012).

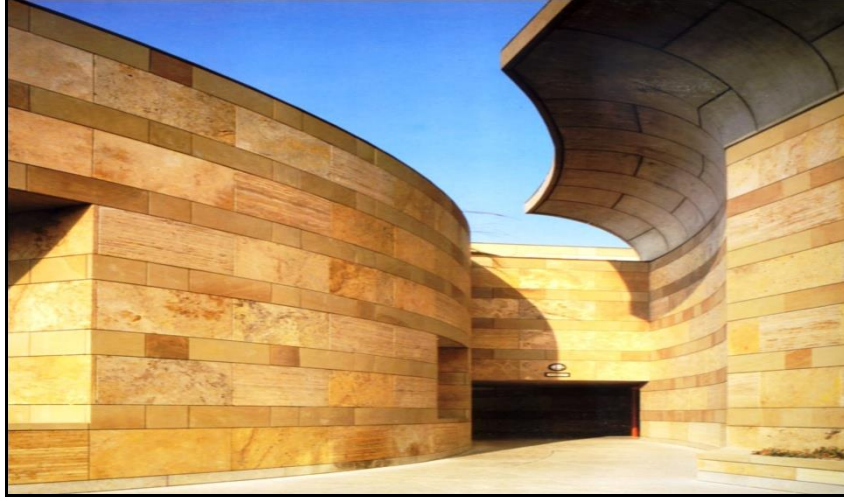
Günümüz modern mimarisinde doğaltaş, kaplama malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptir. Kaplama "bir şeyin dışına, daha iyi bir görünüş kazandırma veya koruma gereği ile geçirilen başka bir maddeden (ahşap, seramik, sıva, vb.) tabaka"dır (Hasol 1988). Tanımda da belirtildiği gibi doğaltaş kaplamanın görevi, yeni bir görünüş kazandırma ve korumadır. Doğaltaş yapıdaki bu görevini yerine getirirken tasarım ilkelerini korumalı, kullanılacak doğaltaş fonksiyonel olmalı, kullanıldığı yere estetik katmalı ve yapının ömrü boyunca ekonomik olmalıdır (Karaca ve Öztank 2003).

Yüzey kaplamada kullanılacak doğaltaşlar (mermer, traverten vb.) kaplamalarının uygulama şekli, atmosfer şartlarına dayanıklılığı (yağmur, kar, toz, vb.), sertliği, işlenebilmesi, homojen olması, renk ve dokusu yapının mimari karakteri, bulunduğu iklim, yapı konstrüksiyonuna bağlı olarak belirlenir (Gürani ve Canbolat 2012).

2.5 Doğaltaşlarda Cephe Kaplama Yöntemleri

Kaplamalar yapılarda ve özellikle duvarlarda yüzeylerin güzel görünümlü ve dayanıklı olması istenen bölgelerine ya da tüm yüzeye uygulanmaktadır (Karaca vd. 2012). Doğal taşlar, farklı montaj yöntemleri kullanılarak, binalarda kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Harçlı ve mekanik montaj öne çıkan kaplama uygulamalarıdır. Mekanik montaj değişik duvar tiplerine ve proje özelliklerine göre farklı şekillerde uygulanabilir. Bu montajın genel özelliği, doğal taş kaplamalarının bina yüzeyine tutturulmasında "*ankraj*" olarak isimlendirilen paslanmaz çelik veya galvanizden yapılmış kanca sistemlerinin kullanılması ile yapılmaktadır (MEB 2010, Karaca vd. 2012). Doğal taş kaplamalarında kaplama yapılacak duvarlarda yükseklik

artışı sonucunda plakaların düşme riskleri ortaya çıkacağı için, bu tür uygulamalarda harçlı montaj yerine taşıyıcı ve kancalar yardımıyla montajın yapılması gerekmektedir (Görhan ve Kürklü 2012).



Şekil 2.1 Doğaltaşların binaların dış cephelerinde kullanılması (Çalapkulu ve Özkan 2012).

2.5.1 Doğaltaşların Harç Yöntemi ile Kaplanması

Doğaltaş plakalarının duvara çimento veya yapıştırıcı harç ile tutturulması işlemidir. Doğaltaşların kaplanmasında kullanılan harçlı yöntemde iki farklı bağlayıcı kullanılmaktadır. Bu bağlayıcılar çimento ve yapıştırıcılardır.

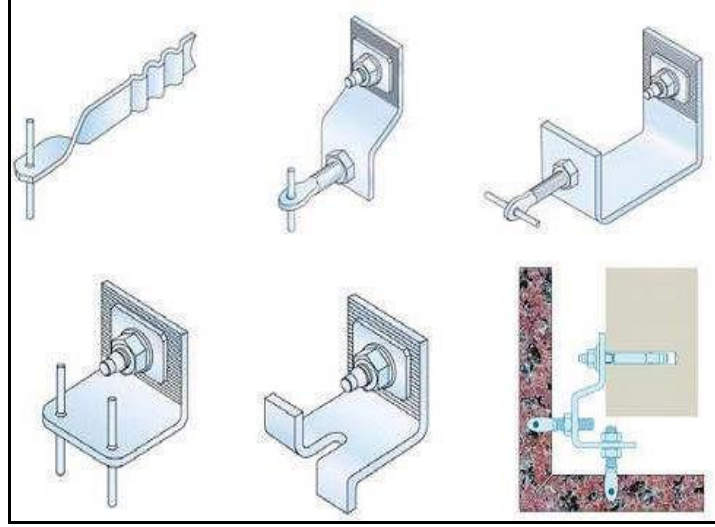
Çimento harcı ile kaplama işlemi: Yüksekliği 20 m'ye kadar olan binalarda tercih edilmektedir (MEB 2010). Duvar yüzleri iyice temizlendikten ve ıslatıldıktan sonra, çimento ile hazırlanan harç kullanılarak doğaltaşlar yüzeye kaplanır (Şekil 2.2). Çimento harcı kullanılarak yapılan doğaltaş kaplamalarında plaka kalınlığı kullanılan doğaltaş türüne göre değişir. Bu uygulamalarda mermer plakalarının 2 cm ile 3 cm kalınlıkta, traverten plakalarının ise 2 cm ile 4 cm kalınlığa sahip olması istenmektedir (MEB 2010).



Şekil 2.2 Çimento harcı uygulaması (İnt.Kyn.1).

Yapıştırma Harcı ile Kaplama: Kaplanacak duvar yüzey yüksekliğinin 20 m'yi geçtiği ve doğaltaş plakaların büyük olması durumunda uygulanan bir yöntemdir. Yapıştırıcı harç ile kaplama işleminde de, uygulama yüzeyi toz, yağ, boya ve diğer kimyasallar ile gevşek parçalardan temizlendikten sonra doğaltaşlar yüzeye kaplanır. Uygulama sırasında ortam sıcaklığının +5 °C ile +35 °C arasında olmasına dikkat edilmeli, erimekte olan veya 24 saat içerisinde don tehlikesi olan yüzeylerde uygulama yapılmamalıdır. Hazırlanan harç yaklaşık 5 dakika dinlenmeye bırakıldıktan sonra 1 saat içerisinde kullanılmalıdır (İnt.Kyn.2).

Plaka kalınlığının 2 cm'yi geçmesi durumunda, plakanın duvara tutturulmasında değişik boyutlarda ve türlerde metal birleşim aparatları kullanılmaktadır (Şekil 2.3). Doğal ve yapay plakalar bu aparatlarla duvarlara asılır. Arkaları yapıştırıcı harç ile doldurulur (MEB 2010).



Şekil 2.3 Doğaltaş plakalarının duvara kaplanmasında kullanılan metal aparatlar (MEB 2010).

2.5.2 Cephe Kaplamalarında Uygulanan Ankraj Yöntemi

Havalandırılmış Cephe, doğaltaşların cephe kaplamalarında ve doğaltaş montajında en son teknoloji olarak kullanılan terimdir. Bu teknoloji için “Havalandırılmış Cephe” ile beraber mekanik sistem, ankraj ve tespit sistemi gibi diğer terimlerde kullanılmaktadır. Yapılarda bir materyali diğerine bağlamak için kullanılan pozitif bağlantı elemanlarının oluşturduğu sisteme ankraj sistemi, bu sistemleri oluşturan metal bağlantı elemanlarına ise ankraj elemanları denir (Yılıgör 2006). Yüksekliği 20 m’yi geçen binalarda, büyük ebatlı ve kalınlıktaki doğaltaş montajında uygulanmaktadır.

Ankrajlı sistem, doğaltaşların paslanmaz çelikten yapılmış pim ve kancalarla yapıya tutturulma işlemidir (Şekil 2.4). Bu sistemde taşıyıcı ve tutucu kenetler ile birbirinden bağımsız olarak monte edilen her bir doğaltaş plakası, duvarla plaka arasında boşluk kalacak şekilde, arkalarına herhangi bir bağlayıcı kullanılmadan duvara monte edilir (Şekil 2.4). Böylece plakaların düşmesi engellenerek, can güvenliğinin tehlikeye atılmadan ve cepheye zarar verilmeden herhangi bir plakanın değiştirilmesi ve onarılmasına da imkân sağlanmış olur. Sistemin en önemli etkisi sadece güvenlik değildir. Bu sistem, doğaltaşlar ile duvar arasındaki boşlukta binanın doğal izolasyonunu sağlayarak, hava dolaşımına imkân verir. Boşluktaki hava sirkülasyonu, cephenin uzun süre dayanmasına yarayacak olan doğal bakımı sağlayarak ve doğaltaş

panellerini kuru ve temiz olmasını sağlayacaktır. Ayrıca, yapıştırma sisteminde doğal taşların belli bir düzende olması betonun düzgünlüğü ile sağlanabilirken, ankrajlı sistemlerde ayar kolaylığı ile düzen sağlanabilmektedir (İnt.Kyn. 3).



Şekil 2.4 Doğaltaşlarda pim ve kanca kullanımı (İnt. Kyn.4).

Ankraj elemanlarının duvara tespitinde harçlı, dübelli ve profil olarak üç farklı yöntem uygulanabilmektedir.

Harçlı Yöntem: Bu yöntemde duvar üzerine açılan deliklere kanca yerleştirildikten sonra boşluklara harç doldurularak montaj yapılır. Kanca delinen deliğe yerleştirildikten sonra, delik içinde boş bırakılan kısım harç ile doldurulur. Böylece kancaya yük bindiğinde kancanın dışarı çıkmaması sağlanmış olur. Kancanın dışarıda kalan ucunda bulunan pimler ise plaka içine yerleştirilerek montajı yapılır (MEB 2010) (Şekil 2.5).

Dübelli Yöntem: Beton duvarlar için kullanılan bu sistemde tutucu elemanların duvara montajında dübeller kullanılır. Her yönde rahatlıkla ayarlanabilen bu elemanlar yüksek taşıma gücüne sahiptir. Hızlı montaj imkânı sağlar (Koçu ve Dereli 2003).



Şekil 2.5 Duvara taşıyıcı ve tutucu kenetlerin monte işlemi.



Şekil 2.6 Kancaların tespit görüntüsü (Koçu ve Dereli 2003).

Profil Yöntem: Daha çok gevşek malzeme ile oluşturulmuş duvarlarda uygulanan bir sistemdir. Ankraj bağlantı elemanlarını gevşek malzemelere monte etmek sakıncalıdır. Böyle durumlarda; metal profiller katlar arasındaki kirişlere monte edilir. Ankraj bağlantı elemanları da bu profiller üzerine monte edilir (Şekil 2.6). Plakalar ankraj bağlantı elemanları ile metal profillere bağlanmaktadır (Koçu ve Dereli 2003).

2.6 Literatür Çalışmaları

Binaların cephe kaplama uygulamalarında dikkat edilmesi gereken birçok parametre bulunmaktadır. Plaka halindeki doğaltaşların mukavemeti, sertliği, işlenebilmesi, atmosfer etkilerine dayanıklılığı, homojen olması, çatlak olmaması, paslanma özelliği, cila tutma özelliği, renk ve dokusu cephe kaplamalarında kullanımını etkilemektedir. Cephe kaplamalarında etkili olan parametreler ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve literatürde yer alan çalışmalar başlıklar halinde özetlenmiştir.

Öztank ve Türkmen (2001) tarafından yapılan çalışmada, doğaltaşların seçimlerinde ve uygulamalarında öncelikle doğaltaşın kullanılacağı mekan özelliklerinin, daha sonra da kullanılacak taşın jeolojik kökeninin (magmatik-metamorfik-sedimanter) belirlenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Yapılan çalışmaya göre, kökeni belirlenen kayacın kristal-tane boyutu, mineral bileşimi, dokusu, kimyasal bileşimi, porozitesi, basınç ve aşınma direnci gibi parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma sonuçlarına göre kristal boyutu sıfır ve ince kristalli olarak belirlenen mermerler; iç mekânlarda yatay ve düşey kaplama olarak kullanılabilirliği, kristal boyutu arttıkça kırılmaların yanı sıra çözünme ve asitlere karşı duyarlılığın artacağı, sertlik ve basınç direnci değerlerinin azalacağı belirtilmiştir. Bu nedenle, orta ve iri kristalli mermerler daha çok düşey kaplamalarda kullanılma gerekliliği vurgulanmıştır.

Karaca ve Öztank (2003) tarafından yapılan çalışmada, doğaltaşların mimari tasarımında renk ve desen uyumunun son derece önemli olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte, tasarlanan doğaltaşın fiziko-mekanik ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi ve değerlendirilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Mimari bir projede kullanılacak doğaltaş için, taşın kullanım yeri ve çevre özelliklerinin incelenmesi gerektiği

vurgulanmıştır. İklim koşullarının dış mekânlarda etkin olması nedeniyle, doğaltaşlarda genleşme ve büzülme olacağı belirtilmiştir. Özellikle gece-gündüz, kış-yaz sıcaklık farkının yüksek olduğu bölgelerde kullanılan mermerlerde ısı değişiminin neden olduğu hareketlerle genleşme ve büzülmelere bağlı olarak kılcal çatlaklar gelişeceği, kenar atmaları ve kırılmaların oluşacağı gözlenmiştir. Mimari tasarımlarda uygulanacak mermer türü/türleri uygulama yeri ve uygulama şekliyle birlikte değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Karaca ve Öztank 2003).

Yapıların dış cephelerinde kaplama malzemesi olarak kullanılan doğaltaşların kullanımı sırasında bazı sorunlar ile karşılaşmaktadır. Koçu ve Dereli (2003) tarafından yapılan çalışmada, kaplama malzemesi olarak en sık kullanılan doğal taş türlerinden mermerler, granitler ve travertenlerin dış cephelerde kullanılması sırasında veya sonrasında karşılaşılan sorunlar incelenmiştir. Konya'da bir kamu binasında çimento harcı ile yapıştırılan doğaltaş kaplamalarının durumu incelenmiştir. Doğaltaşların zamanla cephelerden düşerek can güvenliğini tehdit ettiği belirlenmiştir. Bu incelemede, traverten plakalar 8-10 mm çapında matkaplarla en az iki yerinden delinerek cıvata ile cepheye montajı yapılmıştır. Mermerler yine her an düşme tehlikesiyle karşı karşıya kalmış ve bu cıvatalar mermerler üzerinde leke bırakmıştır. Bu uygulama da cephede kullanılacak olan doğal taş plakalarının metal taşıyıcı ve tutucu kancalarla montajının yapılması gerekliliği sonucuna varılmıştır (Koçu ve Dereli 2003).

Cephe kaplamalarında fiziksel, mekanik özelliklerin yanında montaj işleminde de dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kaplamalar genellikle 2–6 cm kalınlıklarda, alçı, çimento harcı, metal kenetlerle yerinde uygulanmaktadır.
- Farklı taş çeşitlerinin bir arada kullanılması sırasında özellikleri birbirine yakın taşlar seçilmelidir.
- Kaplama malzemesi olarak kullanılacak doğaltaşın tespitinde taşın dokusuna, damarlarına, aşınma mukavemetine, işlenebilme özelliğine ve estetik görünümüne dikkat edilmelidir.
- Aşınma etkisine maruz kısımlarda sert taşlar kullanılmalı veya metal elemanlarla takviye yoluna gidilmelidir.

- Ankraj deliklerinin malzeme türüne ve boyutuna göre delinmesi gerekmektedir (Yüzer vd. 2008).

Siegesmund *et al.* (2008) tarafından yapılan çalışmada doğal taş ile kaplanmış binadaki kaplamanın; sıcaklık değişimlerine, doğal taşların tane boyutu ve diğer parametrelerine göre eğilme ya da yerlerinden kopmaları ile ilgili çalışmada yapılmış, kaplama sonrası yerinde oluşan değişimler ve faktörler belirlenmiştir.

Binaların dış cephelerinde kullanılan doğaltaş plakaları zamanla ayrışmalarından dolayı mukavemet kaybetmektedir. Mariniand Bellopede (2009) çalışmasında, binaların dış cephesinde kullanılan mermer plakalarda meydana gelen bozulmalar nedeniyle oluşan mekanik kuvvet kaybını araştırmışlardır. Çalışmada farklı dokusal özelliklere sahip üç mermer türü yapay yaşlandırmaya tabi tutularak eğilme dayanımı tayini (EN 12372), atmosfer basıncında su emme tayini (EN 13755) ve ultrases geçirimsizliği (EN 14579) deneyleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde büyüklüğü 0,01-0,5 mm olan düzensiz tane boyutlu ve gözenekli mermerlerin daha erken yıprandıkları sonucuna varılmıştır.

Rivadulla and Alonso (2010) çalışmalarında dış cephe kaplamalarında granitler üzerinde oluşan biyolojik hasarı incelemiş ve hasarı tespit etme, önleme ve/veya engellemeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışmada, Galiçya'daki binalar üzerinde bakteri, biyolojik maddeler, mantar, yosunların granitler üzerinde neden olduğu kirlenmenin azaltılması ve/veya engellenmesi amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle iç ve dış faktörlerin belirlenmesi gerekliliği sonucuna varılmıştır. İç faktörler cepheden ve kullanılan malzemedeki kaynaklanmaktadır. Dış faktörler ise onları etkileyen çevre koşullarını (yağmur, rüzgâr, nem, sıcaklık, atmosfer kirliliği, vb.) kapsamaktadır. Rivadulla and Alonso (2010) tarafından binalar üzerinde yapılan araştırmalara göre, dış faktörlerin etkisine engel olmanın güçlüğünden dolayı iç faktörlere (kullanılan malzeme, proje) daha fazla dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda iyi veya kötü granitin olmadığı, doğru veya yanlış kullanılan granitin olduğu kanısına varılmıştır.

Camposinhos (2011)'a ait çalışmada, doğaltaşlar arasındaki eğilme ve kopma yükü ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, yaygın olarak kullanılan üç magmatik, iki sedimanter ve bir metamorfik özellikte doğal taş türlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir (EN 13755, EN 1936, EN 1926, EN 12372, EN 13364). Bunun yanı sıra, “Dübel” ve “Undercut” ankraj deneyleri yapılarak, ankraj yöntemleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı ankraj türleri dikkate alınarak yapılan bu çalışma sonucunda, “Undercut” ankraj yöntemi dübel ankraj yöntemine göre daha güvenilir olduğu ve üç kat daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir.

Binaların cephe kaplamalarında kullanılan doğaltaş plakalarında, sıcaklık değişiklikleri, nem değişiklikleri, asit yağmurları ve rüzgâr gibi etkenlerden dolayı zamanla yıpranma olmaktadır. Spagnoli *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada, günlük ve mevsimlik sıcaklık-nem farkından dolayı doğaltaş plakalarında meydana gelebilecek termal bozulmaları araştırmışlar ve teorik bir model sunmuşlardır. Doğaltaş örnekleri laboratuvar ortamında sıcaklık döngülerine tabi tutulmuştur. Örnekler döngü sonrası incelendiğinde plakalardaki bozulmaların kalsit tanelerindeki gerilmeler ve çatlamalardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kalsit tanelerindeki bu gerilme ve çatlama neticesinde plakalarda çatlama veya kırılmalar meydana gelmektedir. Ayrıca tane dağılımları düzensiz olan doğaltaşlarda termal bozulmanın daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Doğaltaşların plaka boyutu ve anizotropik düzlemlerinin dikkate alınarak dış cephe kaplamalarında kullanılması oldukça önem taşımaktadır. Pires *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada; anizotropik düzleme sahip olan kaplama malzemelerinin (kayrak, arduvaz) dış cephe kaplamalarında kullanımında eğilme dayanımı ile ankraj sistemi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Doğaltaş örneklerine anizotropi düzlemine dik, paralel ve düzlemlerinin kenarlarına dik yönde yük uygulanarak eğilme ve kopma dayanımları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; anizotropi düzlemine dik olarak uygulanan yüklerin diğer yönlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kaplama taşı ile destek sisteminin uyumlu olması gerektiği vurgulanmış, rüzgâr ve darbelere maruz kalan dış cephelerde kullanılacak taşların eğilme dayanımı özelliğinin verilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Binaların dış cephe kaplamaları için en uygun doğaltaş plakaların belirlenmesinde faktör analizleri ve istatistiksel yöntemler büyük önem taşımaktadır. Faktör analizi, aralarında ilişki bulunduğu düşünülen çok sayıdaki değişken arasındaki ilişkilerin anlaşılmasını ve yorumlanmasını kolaylaştırmak için daha az sayıdaki temel boyuta indirgemek veya özetlemek olan bir grup çok değişkenli analiz tekniğine verilen genel bir isimdir. Silva *et al.* (2012) yaptıkları çalışmada, regresyon analizleri ve faktör analizi kullanarak doğrudan yüzeye yapıştırılmış plakaların montaj ömrünü belirlemeyi hedeflemiştirlerdir. Kullanılan doğaltaşın türü, plaka boyutu, yüzey pürüzlülüğü, harç tipi, kullanılan malzemenin kalitesi, uygulama yöntemi, ortam nemi, rüzgâr, yapının kullanım şekli ve koşulları gibi faktörler göz önüne alınarak yapılan basit ve çoklu regresyon analizleri ile kaplamanın tahmini hizmet ömrünü hesaplamışlardır. Ayrıca, ömrünü dolduran bina kaplamaları için onarım maliyeti ile yeni bir kaplamanın getireceği maliyeti karşılaştırmışlardır.

Mas *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada, yağışın yoğun olduğu bölgelerde bina yüzeyine yağmur suyunun gelmesini engellemek, ankraj elemanlarını korozyondan korumak, dış görünüşteki estetiğin buzulmasını engellemek ve sızdırmazlığı sağlamak için uygun bir dış duvar tabakası (rainscreen) tasarlanmasının gerekliliğini vurgulamışlardır. Yağmur suyunun cephelere etkisini test edebilmek için laboratuvar ortamında farklı cephe parametreleri üzerinde çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, sızdırmazlığı sağlayabilmek için çeşitli tasarımlar önerilmiştir. Mas *et al.* göre, öncelikle suyun cepheye sızması engellenmeli, su girişi olan cephelerde ise suyun tahliyesinin sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Sızdırmazlığı sağlamak için kapı, pencere ve ankraj elemanlarının duvar ile temas ettiği noktalara ek yalıtım elemanları yerleştirmek gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca zemine yakın bölgelerde daha kalın plakalar kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak, aynı grup doğaltaşlar üzerinde farklı kalınlıklar kullanılarak taşların salpama deliğinde kırılma yükü tayini belirlenmiştir. Bununla birlikte, kalınlığa bağlı olarak kırığın kenara olan mesafesi (b_A) ve delikten yüzeye olan mesafe (d_1)'in kalınlığa bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal değerler bulunmuş ve laboratuvar ortamında bulunan

değerler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca SolidWorks programı yardımıyla, laboratuvardaki deney sistemi bilgisayar ortamında üç boyutlu modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal kırılma yükü değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sayısal veriler, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

3. MALZEME ve YÖNTEM

3.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda, kökensel olarak farklılık gösteren metamorfik, sedimanter ve magmatik kökenli üç gruptan beş adet doğaltaş örneği kullanılmıştır. Bunun için Afyonkarahisar’da faaliyet gösteren fabrikalarından 20x20 cm boyutlarında ve 2 cm, 3 cm, 4 cm ve 5 cm kalınlığında doğaltaş örnekleri temin edilmiştir. Kullanılan doğaltaşların, kodları, ticari adları ile temin edildiği firmalar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneyde kullanılan doğaltaş örnekleri ve örneklerin alındığı firmalar.

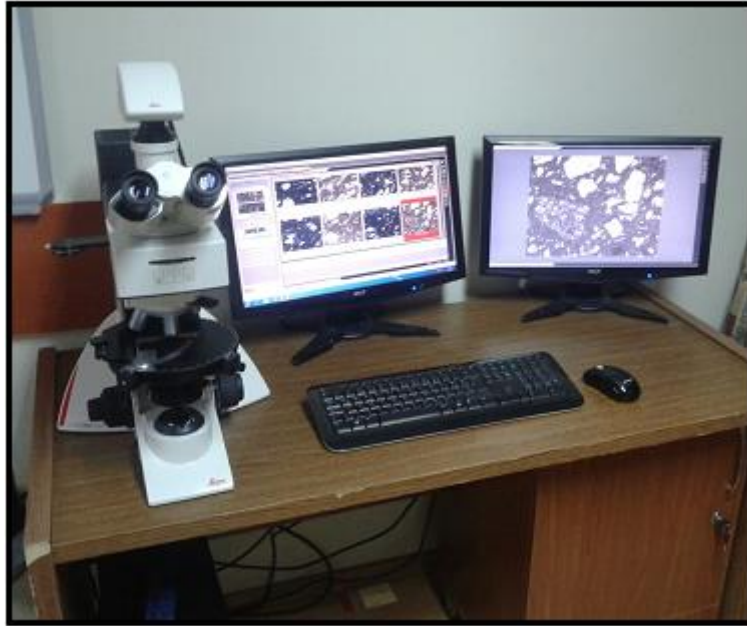
Örnek Kodu	Doğaltaşların Ticari İsmi	Doğaltaşın Çıkarıldığı Bölge	Firma İsmi
M1	Afyon Şeker	Afyonkarahisar, İscehisar	Temmer
M2	Afyon Menekşe	Afyonkarahisar, İscehisar	Temmer
M3	Kaplan Postu	Afyonkarahisar, İscehisar	Başoğlu Mermer
M4	Muğla Beyaz	Muğla, Kavaklıdere	Gençler Mermer
M5	Uşak Beyaz	Uşak, Hacıhüseyinler Köyü	Ceylan Mermer
B1	Bilecik Bej	Bilecik, Gölpazarı	Temmer
B2	Korkuteli Bej	Antalya, Korkuteli	Gençler Mermer
B3	Burdur Bej	Burdur	Demmer
B4	Light Emprador	Bursa, Orhaneli	Demmer
G1	Balaban Green	Kırklareli, Balaban Köyü	Granitaş
G2	Hisar Gri	Eskişehir	Granitaş
G3	Roza Beta	İtalya	Granitaş
G4	Bergama Granit	İzmir, Bergama	Yıldızlı Granit
G5	Eskişehir Granit	Eskişehir	Yıldızlı Granit

3.2 Yöntem

3.2.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Mineralojik incelemeler; Polarizan mikroskop ve X-ışını difraksiyonu (XRD) incelemeleri olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır.

a) **Polarizan mikroskop incelemeleri:** Doğaltaş örneklerinin polarizan mikroskop incelemeleri için gerekli ince kesitler, Maden Teknik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Doğaltaş Taş Teknolojik Testleri laboratuvarında yaptırılmış, polarizan mikroskop incelemeleri ise AKÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan Leica DM2500 P marka polarizan mikroskopta (Şekil 3.1) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Polarizan mikroskop görüntüsü.

b) **X-ışını Difraksiyonu (XRD) İncelemeleri:** Örneklerin XRD analizleri AKÜ Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'da bulunan Shimadzu marka XRD-6000 model cihazda gerçekleştirilmiştir. Örnekler $2^\circ/\text{dk}$ 'da taranarak $2^\circ-90^\circ$ (2θ) goniometre kırınım açısı aralığında ve 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda analiz edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 X-Işınları Difraktrometre (XRD) Cihazı.

3.2.2 Kimyasal İncelemeler

Çalışmada kullanılan doğaltaş örneklerinin majör ve nimör element tayini Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku marka X-ışınları floresans spektrometresi (XRF) cihazında gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analiz için numune hazırlama aşamasında, cam tabletler ağırlıkça 1/10 oranda numune/ $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ karışımı halinde ergitici cihazda platin krozeler içerisinde ergitilerek hazırlanmış, cam tabletler halinde hazırlanan numunelerin yarı kantitatif yüzde ağırlıkça kimyasal analiz sonuçları elde edilmiştir.

3.2.3 Saplama Deliğinde Kırılma Yükünün İncelenmesi

Doğaltaş örneklerinin saplama deliğinde kırılma yükünün tespiti Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Doğaltaş Analiz Laboratuvarında (AKÜ-DAL) yapılmıştır. Saplama deliğinde kırılma yükünün tespitinde kullanılan cihaz, elektronik aksamın bulunduğu gövdeye bağlı bir kol ve kolun ucunda özel imal edilmiş hassas uçtan oluşur. Cihazın dijital göstergesi üzerinden yük değeri okunur (Şekil 3.3).

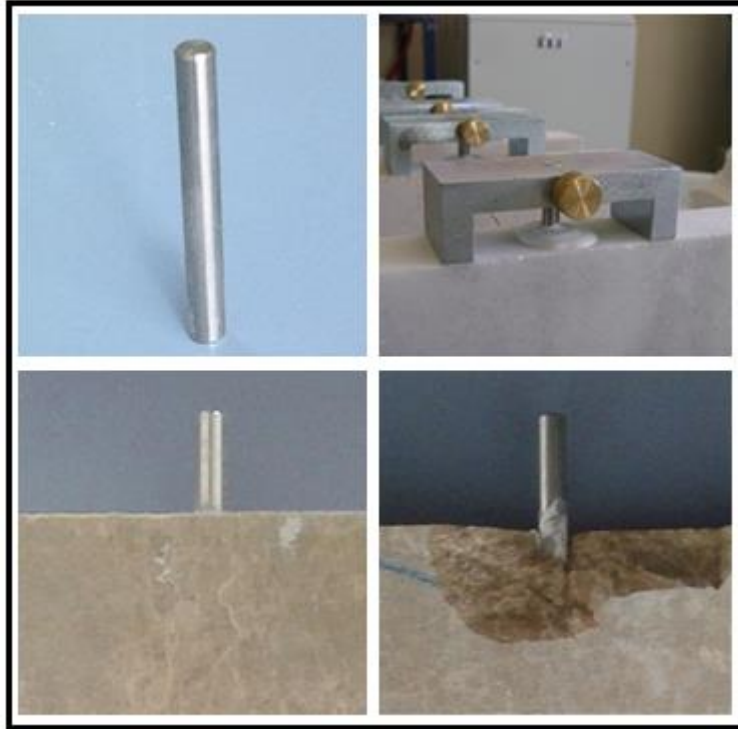


Şekil 3.3 Cihazın genel görüntüsü.

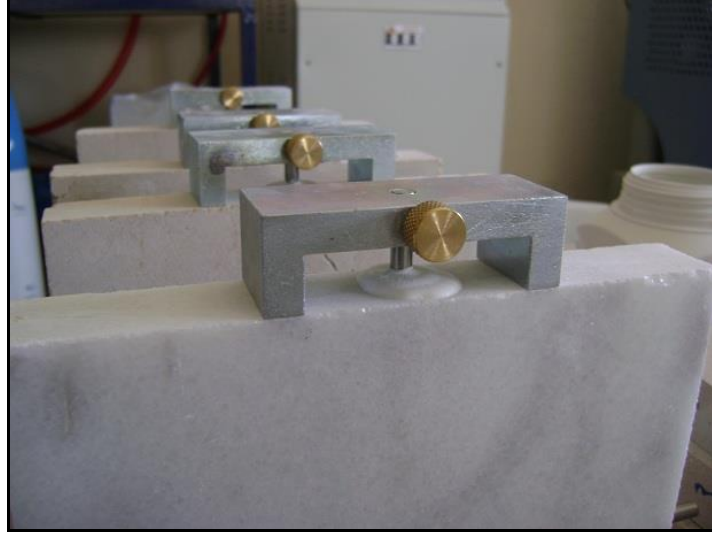
Deneylede kullanılan doğaltaş örneklerinin saplama deliğinde kırılma yükü TS EN 13364 standardına göre belirlenmiştir. Deney için; 20 cm x 20 cm boyutunda; kalınlığı ise 2 cm, 3 cm, 4 cm ve 5 cm boyutunda üçer adet örnek kullanılmıştır. Her bir taş türü için üçer adet örnek seçilmiş ve numune boyunun ve kalınlığının ortasına sütunlu matkap ile darbesiz olarak $10\pm 0,5$ mm çapında ve derinliği 30 ± 2 mm derinliğinde 10 delik açılmıştır (Şekil 3.4). Delikleri hazırlanan örnekler 70 ± 5 °C'lik etüvde sabit tartıma gelene 8 saat kadar bekletilmiştir. Deneyde kullanılan saplama çubuğunun çapı $6\pm 0,2$, mm uzunluğu ise 60 mm olan çeliktir (Şekil 3.5). Saplama çubuğunun 2,5 cm'si delik içerisinde kalacak şekilde örnekler üzerine açılan deliklere TS EN 13364'te belirtildiği şekilde yerleştirilerek CEM I 52,5 R çimentosu kullanılarak sabitlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.4 Saplama deliğinin açılması.

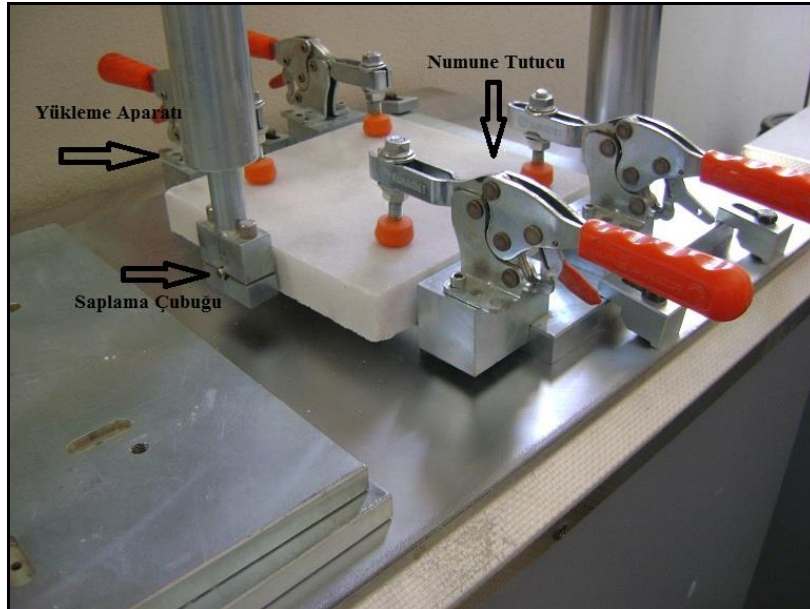


Şekil 3.5 Saplama çubuğu.



Şekil 3.6 Saplama çubuğunun sabitlenmesi.

Sabitlenen saplama çubukları en az bir saat bekleddikten sonra deneye tabi tutulacak diğer kenarları için aynı işlem tekrar edilmiştir. Hazırlanan örnekler deneyden önce en az 48 saat ve 25 ± 5 °C'de muhafaza edilmiştir. Daha sonra, kırılma yükünün tayini için standartta belirtilen aparata yerleştirilmiştir (Şekil 3.7). Yük, 50 ± 5 N/s hız ile örneğin kenarlarından 2 mm uzaklıkta saplama eksenine dik olarak uygulanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.7 Cihaza yerleştirilen deney örneğinin görünüşü.

3.2.4 Fiziksel ve Mekanik Testler

Saplama deliğinde kırılma yükü deneyinde kullanılacak doğaltaş örneklerinin fiziko-mekanik deneyleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı ve Doğaltaş Analiz Laboratuvarında yapılmıştır. Bu kapsamda fiziksel ve mekanik analizler ile ilgili bilgiler aşağıda ayrıntılı biçimde açıklanmıştır.

3.2.4.1 Su Emme Testi

Deney numunelerinin su emme oranları TS EN 13755 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 70x70x70 mm boyutlarında 6 adet örnek kullanılmıştır. Deney numuneleri 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar bekletilerek 0,1 gr hassasiyetli terazide tartılmış ve kuru ağırlığı alınmıştır (G_k). Sonra, numuneler bir kaba yerleştirilerek numune yüksekliğinin yarısına kadar 20±5 °C sıcaklıktaki su ile doldurulur. Bir saat sonunda numunenin $\frac{3}{4}$ 'ü su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. Daha sonra iki saat sonunda numuneler 25 mm su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilave edilerek 48 saat bekletilmiş ve numunelerin tartımları alınmıştır. Numuneler sabit tartıma gelene kadar 24 saat aralıklarla tartılmış ve suya doymun kütleleri (G_d) ve su içerisindeki kütleleri (G_{ds}) bulunmuştur. Tüm bu işlemler sonrasında su emme oranları (S_k) Eşitlik (3.1)'e göre hesaplanmıştır.

Doğaltaşın kütlece su emme oranı;

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_{ds}} 100 \quad (3.1)$$

S_k = Doğaltaşın kütlece su emme oranı (%),

G_d = Doğaltaşın doymun haldeki kütlesi (g),

G_k = Sabit kütleye kadar kurutulmuş doğaltaşın kütlesi (g),

G_{ds} = Doymun haldeki doğaltaşın su içerisindeki kütlesi(g).

3.2.4.2 Kılcal Su Emme Tayini

Deney numunelerinin kılcal su emme katsayıları TS EN 1925 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 70x70x70 mm boyutlarında 6 adet örnek kullanılmıştır. Deney numuneleri 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar bekletilerek 0,1 gr hassasiyetli terazide tartılmış ve kuru ağırlığı alınmıştır (G_k). Sonra numuneler bir kaba yerleştirilerek, numunelerin 3±1 mm'lik kısmı su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. Daha sonra numunelerin 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 ve 4320. dakikalarındaki tartımları alınmıştır (Şekil 3.10). Tüm bu işlemler sonrasında kılcal su emme katsayısı (C_k) Eşitlik (3.2)'e göre hesaplanmıştır.

$$C_1 = \frac{G_1 - G_d}{A\sqrt{t_1}} 100 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \quad (3.2)$$

G_d : Sabit kütleyle kadar kurutulmuş doğaltaşın kütlesi (g),

G_1 : Deney numunesinin deneydeki su emmiş kütlesi, g

A : Suya batırılmış yüzeyin alanı, m^2

T_i : Deney başlangıcından ardışık G_1 kütlelerinin ölçüldüğü süreler, s

C_1 : Doğaltaşın kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı, $\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$



Şekil 3.10 Doğaltaşlarda kılcal su emme deneyi.

3.2.4.3 Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini

Doğaltaş örneklerinin görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini TS EN 1936 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 70x70x70 mm ve 50x50x50 mm boyutlarında 6 örnek kullanılmıştır. Deney numuneleri 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar bekletilerek 0,1 gr hassasiyetli terazide tartılmış ve kuru ağırlığı alınmıştır (G_k). Sabit tartıma gelen numuneler vakumlu kaba yerleştirilmiş ve basınç değeri 15±5 mm Hg'ya indirilmiştir. Kap içerisinde 2 saat vakumda kalan numuneler 20±5 °C sıcaklıktaki demineralize su içerisinde atmosfer basıncında 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra her bir numunenin sudaki kütlesi (G_h) ve doygün kütlesi (G_s) tartılmıştır.

Görünür yoğunluk (P_b) Eşitlik 3.3'e, Açık gözeneklilik (P_o) Eşitlik 3.4'e ve Toplam gözeneklilik (P) Eşitlik 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$P_b = \frac{G_d}{G_s - G_h} P_{rh} \quad (3.3)$$

$$P_o = \frac{G_s - G_d}{G_s - G_h} 100 \quad (3.4)$$

$$P = \left(1 - \frac{P_b}{P_r}\right) 100 \quad (3.5)$$

G_d : Kuru numune kütlesi, g

G_h : Su içerisinde batırılmış numunenin kütlesi, g

G_s : Doygunlaşmış su numune kütlesi, g

P_b : Numunenin görünür yoğunluğu, kg/m³

P_r : Numunenin gerçek yoğunluğu, kg/m³

P_{rh} : Suyun yoğunluğu, kg/m³

P : Numunenin toplam gözenekliliği, %

P_o : Numunenin açık gözenekliliği, %

3.2. 4.4 Özgül Ağırlık (Gerçek Yoğunluk) Tayini

Çalışmada kullanılan örneklerin özgül ağırlıkları ASTM D-5550-06 standardına göre belirlenmiştir. Özgül ağırlık tayini için AKÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Doğaltaş Analiz Laboratuvarı (DAL)'da bulunan Quantachrome Ultracycrometer 1000 otomatik yoğunluk ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Otomatik yoğunluk ölçüm cihazı (Helyum Piknometresi).

3.2.4.5 Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi

Doğaltaş örneklerinin basınç dayanım deneyleri TS EN 1926 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 70x70x70 mm boyutlarında 10 adet doğaltaş numunesi kullanılmıştır. Etüvde 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilen numunelerin boyutları kumpas ile ölçülmüştür. Numunelere basınç presinde saniyede 1±0,5 MPa/s hız uygulanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Tek eksenli basınç dayanım deneyi cihazı.

Numunelerin tek eksenli basınç dayanım değeri (σ_b), kırılma yükünün (F) numune yüzey alanına (A) bölünmesi ile eşitlik (3.6)'ya göre bulunur.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

σ_b : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

F : Uygulanan yük, N

A : Alan, mm²

3.2.4.6 Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı Tayini

Çalışmada kullanılan örneklerin sabit moment altında eğilme dayanımı TS EN 13161 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 360x60x60 mm boyutlarında 10 adet doğaltaş numunesi kullanılmıştır. Etüvde 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilen numuneler, 0,25 MPa/s'lik hız uygulanarak kırılmış ve sabit moment altında eğilme dayanımları Eşitlik 3.7'ye göre hesaplanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Eğilme dayanım deneyi cihazı.

Sabit moment altında eğilme dayanımı tayini (R_{tc}), Eşitlik (3.7)'ye göre bulunur.

$$R_{tc} = \frac{F \times L}{b \times h^2} \quad (3.7)$$

R_{tc} : Sabit momentte eğilme dayanımı, MPa

F : Kırılma yükü, kN

b : Numunenin genişliği, mm,

h : Numunenin kalınlığı, mm,

L : Numunenin boyu, mm,

3.2.4.7 Yoğun Yük Altında Bükülme Yükü Tayini

Doğaltaş örneklerinin yoğun yük altında bükülme yükü TS EN 12372 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 360x60x60 mm boyutlarında 10 adet doğaltaş numunesi kullanılmıştır. Etüvde 70 ± 5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilen örneklere

0,25 MPa/s'lik hızda kuvvet uygulanmış ve kırılma yükleri belirlenmiştir. Yoğun yük altında bükülme dayanımı tayini (R_{tf}), Eşitlik 3.8'e göre hesaplanmıştır.

$$R_{tf} = \frac{3FI}{2bh^2} \quad (3.8)$$

R_{tf} : Sabit momentte eğilme dayanımı, MPa

F : Kırılma yükü, kN

b : Numunenin genişliği, mm,

h : Numunenin kalınlığı, mm,

I : Destek mesnetleri arasındaki mesafe, mm,

3.2.4.8 Ses Hızı İlerlemesinin Tayini

Ses hızı ilerlemesinin tayini TS EN 14579 standardına göre belirlenmiştir (Şekil 3 14). Deneilerde 300x75x50 mm boyutlarında 6 adet doğaltaş numunesi kullanılmıştır. Ölçüm yapılacak iki yüzey arasındaki mesafe (L) ölçülmüştür. Ölçüm yapılacak yüzeylere ve propların yüzeylerine gres yağı sürülüp alıcı ve verici proplar karşılıklı gelecek şekilde gres sürülmüş yüzeylere yerleştirilmiştir. Ultrases cihazından ses dalgaları gönderilerek ölçüm yapılır ve ses hızı Eşitlik 3.9 yardımıyla hesaplanır.

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.9)$$

V : Ses yayılma hızı, m/s

L : Numunenin ölçülen uzunluğu, m

T : Alıcı ve verici uçlar arasında geçen süre, s



Şekil 3.14 Ultrases cihazı.

3.2.4.9 Termal Şok Etkisi ile Yıpranmaya Direncin Tayini

Doğaltaş örneklerinin Termal Şok Etkisi ile Yıpranmaya Direnci deneyleri TS EN 14066 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 200x200x20 mm boyutlarında biri referans numune olmak üzere 7 adet numune kullanılmıştır. Etüvde 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilen numunelerin kuru ağırlıkları (m_o) alınır. Kuru ağırlıkları alınan numuneler, 105±5 °C sıcaklıktaki hava dolaşımli bir etüvde 18 ± 1saat; takiben 20 ± 5 °C sıcaklıktaki damıtık su içerisinde 6±0,5 saat süreyle numuneler bırakılır. Bu işlem 20 döngü yapılır ve 20. döngünün sonunda numuneler tekrar sabit tartıma kadar kurutulur. Döngü sonrası ağırlığı (m_f) alınan numuneler, referans numune ile karşılaştırılır. Kütledeki değişim, % 0,01 yaklaşımla Eşitlik 3.10 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta_m = \frac{(m_f - m_o)}{m_o} \times 100 \quad (3.10)$$

m_o : Deney öncesi kuru numunenin kütlesi, g,

m_f : Deney sonrası kuru numunenin kütlesi, g,

Δ_m : Kurutulmuş numunenin kütlesindeki değişim, %,

3.2.4.10 Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini

Tuz kristallenmesine direncin tayini TS EN 12371 standardına göre belirlenmiştir. Deneylede 40x40x40 mm boyutlarında biri referans numune olmak üzere 7 adet numune kullanılmıştır. Etüvde 70 ± 5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilen numunelerin kuru ağırlıkları ve tel ile işaretlenen numunelerin telli ağırlıkları alınmıştır. Numuneler $20\pm 0,5$ °C'da 2 saat ve % 14'lük sodyum sülfat dekahidrat çözeltisi (Her 86 g deiyonize su için 14 g $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) içerisinde bırakılmıştır. Takiben 16 saat süreyle 105 ± 5 °C'da etüvde bırakılmış ve yeniden soğuk sodyum sülfat çözeltisine daldırılmadan önce $2,0 \pm 0,5$ saat oda sıcaklığında soğutulmuştur. İşlem 15 kez tekrar edilmiştir. 15. işlem sonrası numuneler etüvden alınmış ve 23 ± 5 °C sıcaklıktaki suda 24 ± 1 saat tutulmuştur. Daha sonra çeşme suyuyla iyice yıkanan numuneler etüvde sabit tartıma getirilmiştir. Örneklerin son kuru ağırlığı alınmış bağıl kütle farkı (kütle azalması veya artışı) tespit edilmiştir. Kütledeki değişim, % 0.01 yaklaşımla Eşitlik 3.11 kullanılarak hesaplanmıştır. Deney numuneleri referans numune ile karşılaştırılmış, numunenin başlangıç ve nihai durumu fotoğrafla tespit edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi örneklerinin deney öncesi ve sonrası görünümü.

$$\Delta_m = \frac{M_f - M_{d1}}{M_d} \times 100 \quad (3.11)$$

M_d : Kuru deney numunesinin kütlesi, g

M_{d1} : Birinci işlemde önce etiketle birlikte kuru deney numunesinin kütlesi; g

M_f : Onbeşinci işlemde sonra etiketle birlikte kuru deney numunesinin kütlesi; g

Δ_m : Deney öncesi ve sonrası kütlelerdeki bağıl fark (kütle kaybı veya artışı); %

3.2.4.11 Nemli Ortamda SO₂ Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini

Çalışmada kullanılan doğaltaş örneklerinin nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini deneyleri TS EN 13919 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 120x60x10 mm boyutlarında biri referans numune olmak üzere 7 adet numune kullanılmıştır. Etüvde 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilen numuneler kuru ağırlıkları alındıktan sonra, 24 saat 20±5 °C sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmiştir.

Her bir deney için farklı iki çözelti hazırlanmıştır. Çözelti A'da 150 ± 10 ml deiyonize suya 500±10 mL sülfüroz asiti (H₂SO₃) ilave edilerek hazırlanırken, Çözelti B 500 ± 10 ml deiyonize suya 150±10 mL sülfüroz asiti (H₂SO₃) ilave edilerek hazırlanmıştır. 24 saat suda bekletilen numunelerin 3 adeti A çözeltisinin bulunduğu kaba, diğer 3 adeti B çözeltisinin bulunduğu kaptan mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve kapağı kapatılmıştır. Numuneler 21 gün sonra kaptan alınıp, deiyonize su ile yıkanmış ve yeniden sabit kütle gelinceye kadar kurutulmuştur. Kuru numunenin son kütlesi tartılmıştır (m_1). Kütledeki değişim, % 0,01 yaklaşımla Eşitlik 3.12'e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta_m = \frac{m_o - m_f}{m_o} \times 100 \quad (3.12)$$

m_o : Deney öncesi kuru numunenin kütlesi, g,

m_f : Deney sonrası kuru numunenin kütlesi, g,

Δ_m : Kurutulmuş numunenin kütledeki değişim, %,

3.2.4.12 Knoop Sertliğinin Tayini

Doğaltaş örneklerinin knoop sertliğinin tayini TS EN 14205 standardına göre, Shimadzu HMV mikrosertlik cihazında yapılmıştır (şekil 3.16). Deneylerde yzeyi cilalanmış 100x70x10 mm boyutlarında 6 adet numune kullanılmıştır. Mikrosertlik cihazı tablasına yerleştirilen numunenin parlak yzeyine cihazın knoop ucu tarafından 10 saniye boyunca 1,96 N'luk yk uygulanmıştır. Uygulanan yk neticesinde numune yzeyinde oluşan izdeki en uzun diyagonal uzunluk olcmlr. İzler arası mesafe en az 2 mm olacak şekilde 40 adet olcml alınmıştır.



şekil 3.16 Shimadzu HMV Knoop sertlik olcml cihazı.

3.2.4.13 Aşınma Direnci Tayini

Aşınma direnci tayini TS EN 1341 EK C standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde yüzeyi cilalanmış 100x70x20 mm boyutlarında 6 adet numune kullanılmıştır. Numune aşınma dayanımı test cihazının numune tutucusuna yerleştirilir. Numune yüzeyi aşındırma diskine temas edecek şekilde yaklaştırılır. Aşınma tozu vanası açılır ve aynı anda motor çalıştırılır. Aşındırma diskini 75 devir yaptıktan sonra, aşınma tozu ve disk durdurulur (Şekil 3.17). Numune üzerinde oluşan oyuğun uzun kenarlarının sınırları kalem ile çizilir. İki uzun kenar arasındaki dik mesafe dijital kumpas ile ölçülür.



Şekil 3.17 Gabrielli Aşınma dayanım test cihazı.

3.2.4.14 Schmidt Çekici Sertliği Deneyi

Schmidt çekici sertliği deneyi ISRM (1981)'e göre yapılmıştır (Şekil 3.18). Deney için 250x200x150 mm boyutunda 3 adet numune kullanılmıştır. Ölçüm yapılabilmesi için numunelerin çatlaksız ve yüzeyinin düzgün olması gerekir. Çekicinin ucu numune

yüzeyine dik konumda olacak şekilde tutulmalıdır (Tekmen 2006). Her bir kayaç numunesi için 40 adet okuma yapılmıştır.



Şekil 3.18 Ectha Plus Schmidt çekici.

3.2.4.15 Don Tesirine Dayanıklılık ve Don Sonrası Basınç Dayanımı Deneyi

Don tesirlerine dayanıklılık ve don sonrası basınç dayanımı deneyi TS EN 12371 standardına göre belirlenmiştir. Deneylerde 70x70x70 mm ve 50x50x50 mm boyutlarında 6 adet numune kullanılmıştır. Deney numuneleri 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar bekletilerek 0,1 gr hassasiyetli terazide tartılmış ve kuru ağırlıkları alınmıştır (m_0). Daha sonra su emme deneyinde prosedür takip edilerek örnekler 48 saat su içerisinde alınan örnekler donma-çözünme test cihazının kabineye yerleştirilir.

Numuneler toplam 25 döngüye tabi tutulmuştur. Her bir döngü, 20 °C'de havada 6 saatlik donma periyodu ve bunu takip eden numunelerin suya daldırılmış durumda bulunduğu 6 saatlik -12 °C'de çözülme periyodundan ibarettir. 25. döngü sonunda numuneler cihazdan çıkarılarak (70±5) °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilir. Don sonrası ağırlığı (m_f) alınan numunelerin basınç dayanımı testleri yapılır. Kütledeki değişim, % 0,01 yaklaşımla aşağıdaki 3.13 Eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$\Delta_m = \frac{m_f - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3.13)$$

m_0 : Deney öncesi kuru numunenin kütlesi, g,
 m_f : Deney sonrası kuru numunenin kütlesi, g,
 Δm : Döngü sonrası numunenin kütlesindeki değişim, %,

Numunelerin don sonrası tek eksenli basınç dayanım değeri (σ_b), kırılma yükünün (F) numune yüzey alanına (A) bölünmesi ile eşitlik 3.14'e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3.14)$$

σ_b : Basınç dayanımı, MPa
F : Uygulanan yük, N
A : Alan, mm²

4. BULGULAR

4.1 Mineralojik Petrografik İncelemeler

Bu bölümde, çalışmada kullanılan doğaltaşların mineralojik petrografik özellikleri polarizan mikroskop ve X-ışınları difraktometresi analizi ile belirlenmiştir.

4.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

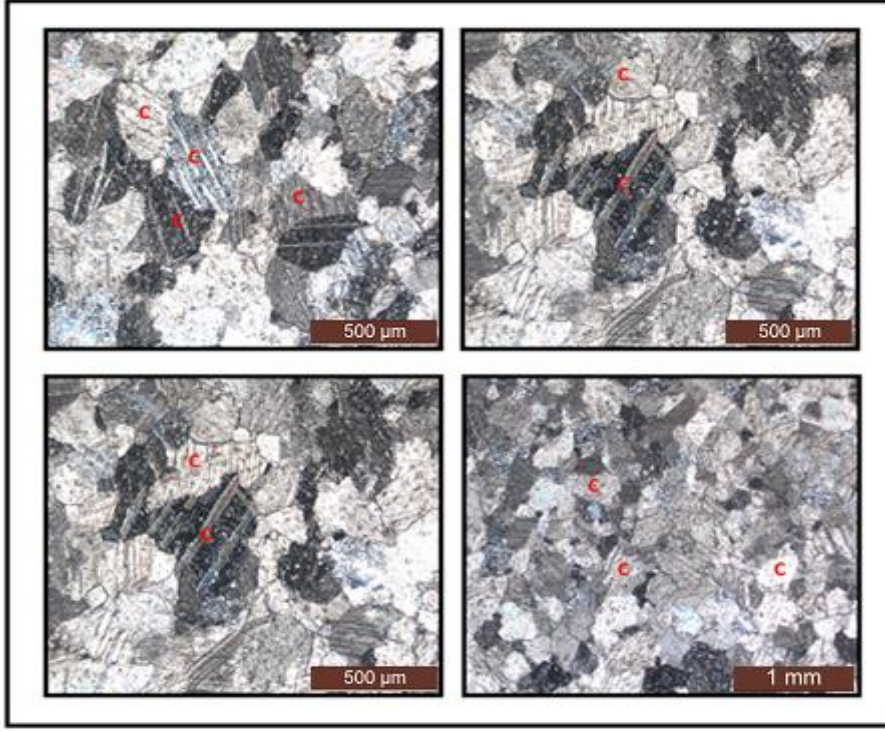
Her bir doğaltaş örneği için hazırlanan ince kesitler çapraz nikol (ÇN) altında incelenmiştir. 500 µ ölçekli olan şekiller 40x objektifinde, 1 mm ölçekli olan şekiller ise 25x objektifinde incelenmiştir.

4.1.1.1 Afyon Şeker Mermeri

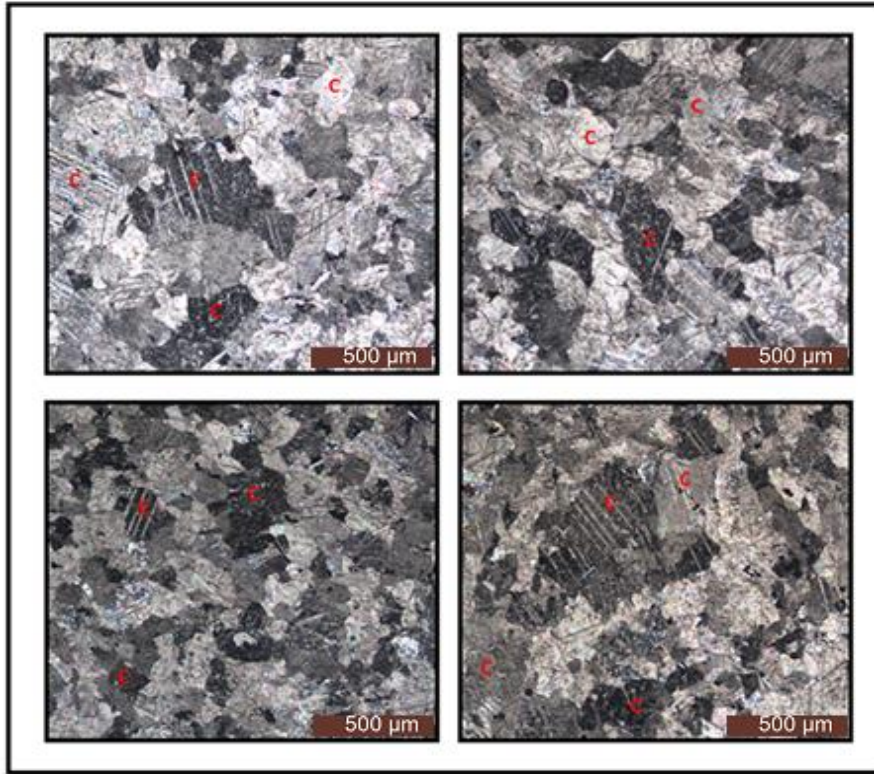
Kayaç, mikrokristalen kalsit (C) minerallerinden meydana gelmiştir ve granoblastik dokuludur. Kristal sınırlarının belirgin olduğu kalsit minerallerinde mükemmel dilinimlenme gözlenmektedir. Limonit ve mangan, kayaçtaki renkli mineralleri oluşturmaktadır. Kristal sınırlarında bulunan renkli mineraller çoğunlukla küçük boyutlu kalsit kristallerinin yüzeylerine yerleşmiş olup, kırık hatlarında sıvama şeklinde bulunurlar (Şekil 4.1).

4.1.1.2 Afyon Menekşe Mermeri

Kayaç büyük oranda polisentetik ikizlenme gösteren kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Kalsit kristalleri ince taneli ve heterojen bir dağılım göstermektedir ve granoblastik dokuludur. Kalsit kristalleri bir biriyle girik ve girintili çıkıntılı sınır ilişkisi ile bir birine kenetlenmiştir. Kayaç içerisinde renklendirici mangan mineralleri eser miktarda bulunmaktadır (Şekil 4.2).



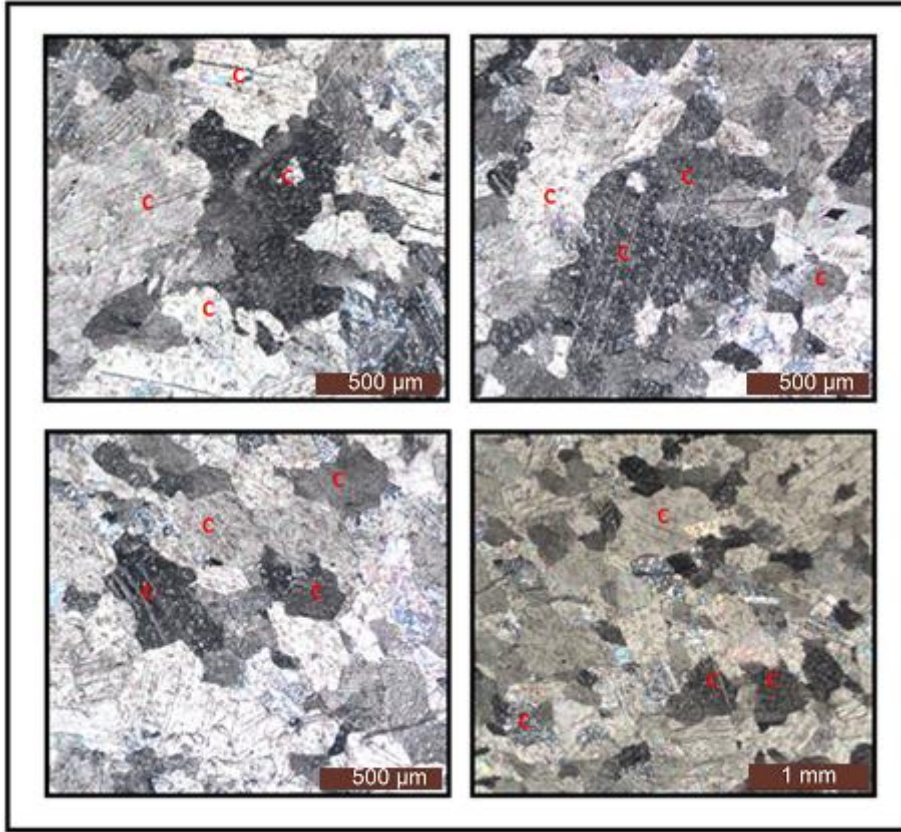
Şekil 4.1 Afyon Şeker örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit minerallerinde (C) Polisentetik ikizlenmeler.



Şekil 4.2 Afyon Menekşe örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C) ve Polisentetik ikizlenmeler.

4.1.1.3 Kaplan Postu Mermeri

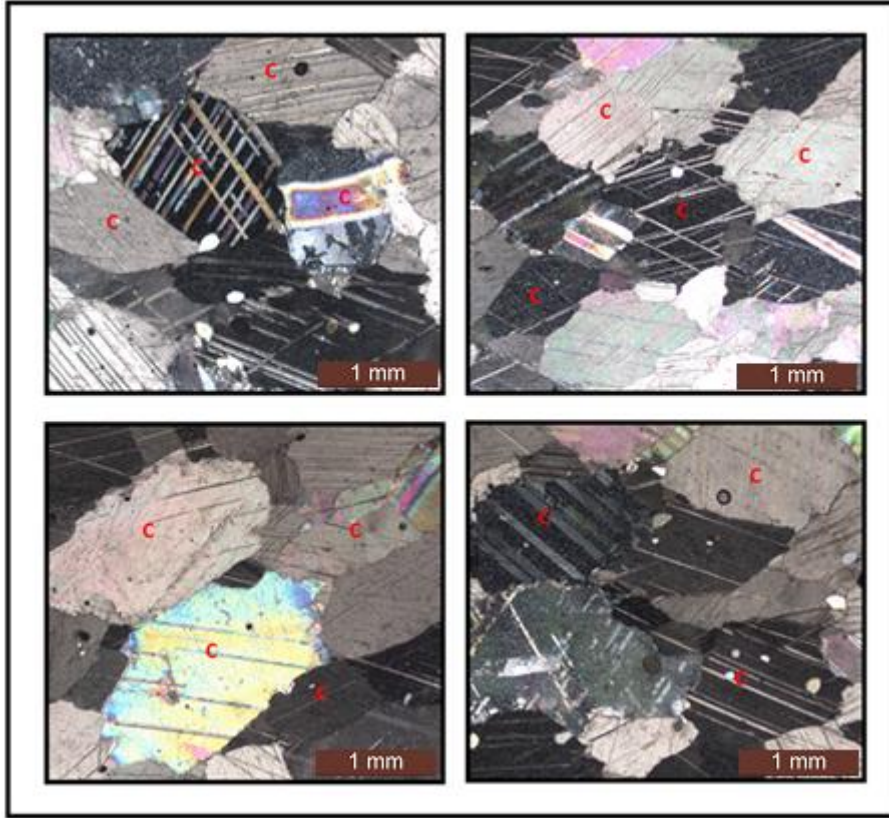
Kayacın genelini poligonal kalsit kristalleri oluşturmaktadır. Polisentetik ikizlenme sunan kalsit kristalleri, kayaca mozaik dokusu kazandırmıştır. Kayaçta koyu renkli minerallerin (Km) oranı düşük olup, kalsit kristallerinin dilinim düzlemlerine ve çoğunlukla da kristal sınırlarına yerleşmiş olarak bulunmaktadır (Şekil 4.3). Demir ve mangan bakımından zengin olduğu düşünülen koyu renkli mineraller, kalsit kristallerinin yüzeyine yerleşmişlerdir. Ayrıca kayacın içinde değişik doğrultularda bulunan çatlak ve şistozite düzlemleri, koyu renkli minerallerin çatlak dolgusu olarak yerleştiği bir başka bölüm olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 4.3 Kaplan Postu örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C).

4.1.1.4 Muğla Beyaz Mermeri

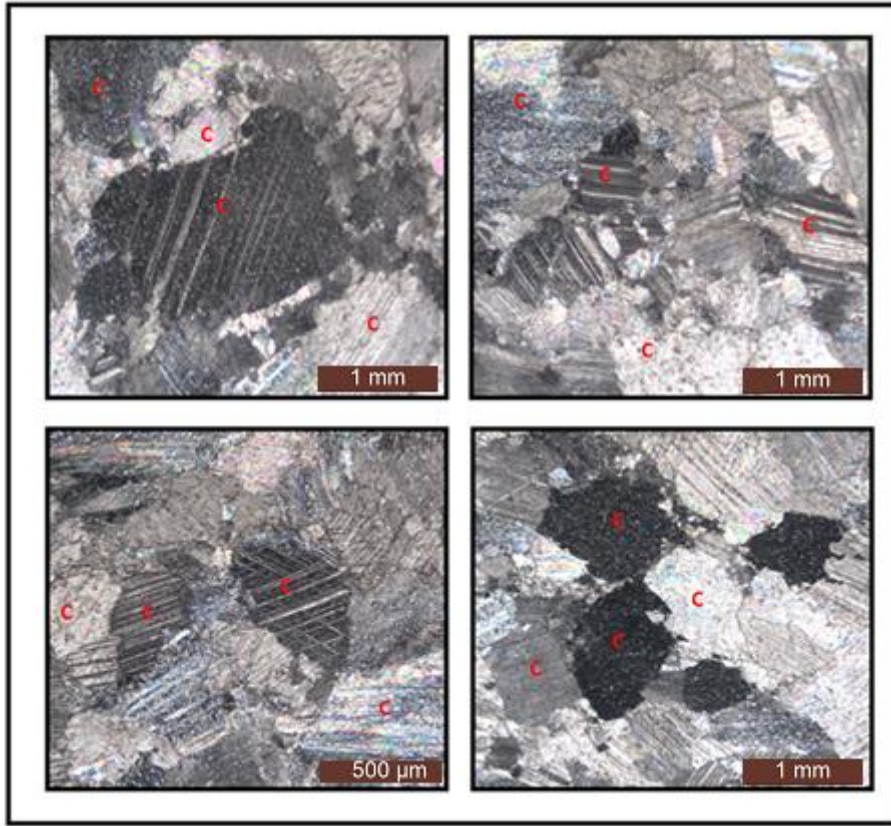
Kayaç genelde monomineralik olup, mükemmel dilinimli kalsit kristallerinden meydana gelmiş ve renk verici mineraller hemen hemen hiç gözlenmemiştir. Polisentetik ikizlenmenin görüldüğü kalsit kristalleri öz şekilli olup, kristal sınırları belirgin ve düzgündür. Kalsit kristalleri homojen bir dağılım göstermektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Muğla Beyaz örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C) ve Polisentetik ikizlenmeler.

4.1.1.5 Uşak Beyaz Mermeri

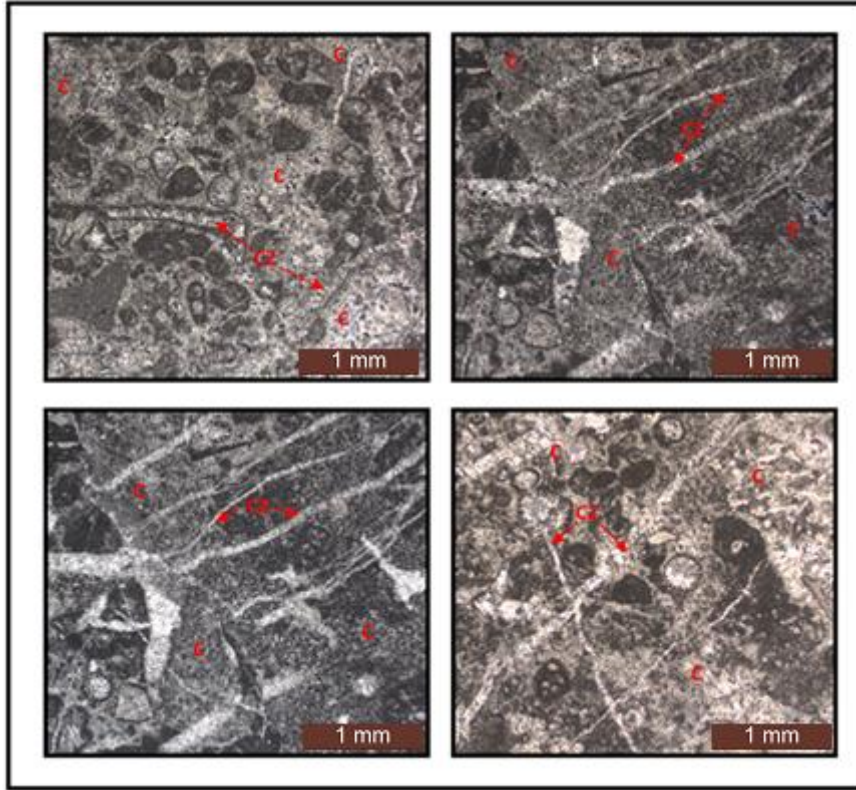
Çok iri boyutlu kalsit (Ca) kristallerinden oluşmaktadır. Mükemmel dilinimlenme özelliğine sahip olan kristallerde dilinim düzlemleri arasındaki mesafe oldukça küçüktür. Kalsit kristallerinin sınırları dantel örgü şeklinde olup, sınırlar çok belirgin değildir; polisentetik ikizlenmeyle birlikte kristal çokuzları da gözlenmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Uşak Beyaz örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen kalsit mineralleri (C).

4.1.1.6 Bilecik Bej

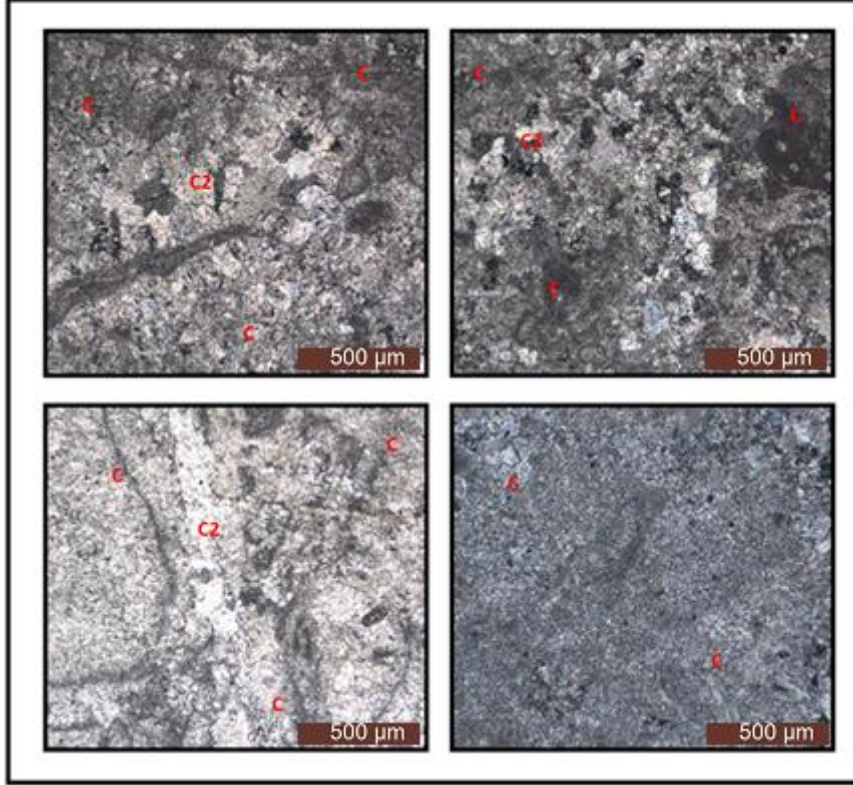
Mikrokristalin kalsit minerallerinden oluşan kayaç oldukça çatlaklı bir yapıdadır. Çatlakların tamamı farklı boyutlarda ikincil kalsit kristalleri tarafından doldurulmuştur (Şekil 4.6). Sparitikmatriks içerisinde değişik boyutlarda kireçtaşı parçaları, az miktarlarda oolit ve gastrapod fosilleri de görülmüştür.



Şekil 4.6 Bilecik Bej örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen birincil (C-1) ve ikincil (C-2) kalsit mineralleri kalsit dolgululu çatlaklar.

4.1.1.7 Korkuteli Bej

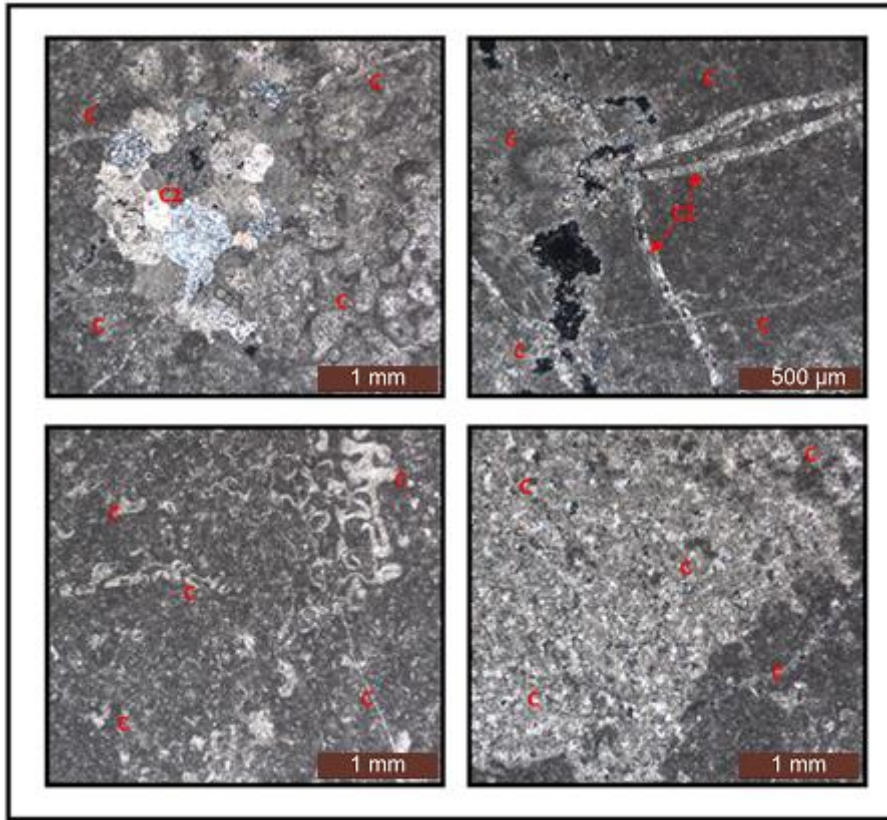
Sparitik dokulu ve mikrokristalin kalsit minerallerinden oluşan kayaç içerisinde iri boyutlu kayaç parçaları gözlenmektedir. Az miktarda gözlenen kırık ve çatlaklar ikincil kalsit mineralleri ile doldurulmuştur ve fosil izine rastlanmamıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Korkuteli Bej örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen birincil (C-1) ve ikincil (C-2) kalsit mineralleri kalsit dolgulu gözenekler.

4.1.1.8 Burdur Bej

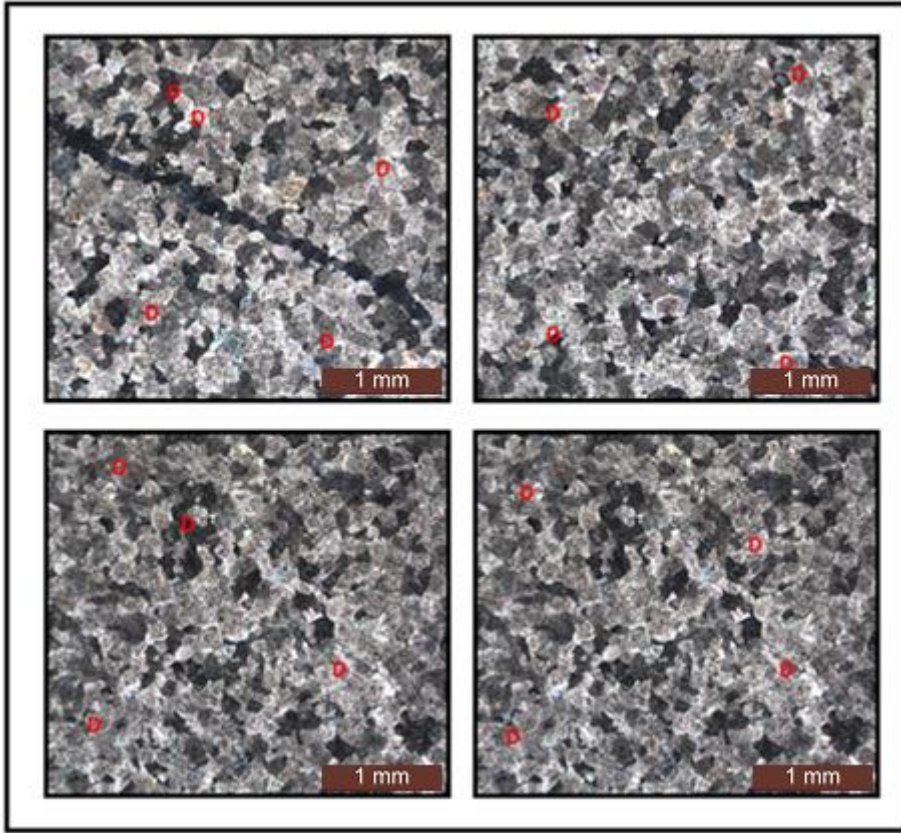
Kayacı oluşturan hakim mineral kalsit kristalleridir. Bunun dışında yer yer aragonit minerallerinin oluşumları da gözlenmektedir. Eser miktarlarda opak mineraller mevcuttur. Sparitik dokulu kayaç içerisinde oluşan kırık, çatlak ve gözenekler ikincil kalsit kristalleri tarafından doldurulmuştur (Şekil 4.8). Yer yer gastrapod fosilleri gözlenmektedir.



Şekil 4.8 Burdur Bej örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen birincil (C-1) ve ikincil (C-2) kalsitmineralleri, kalsit dolgulu çatlaklar ve aragonit (Arg) mineralleri.

4.1.1.9 Light Emperador

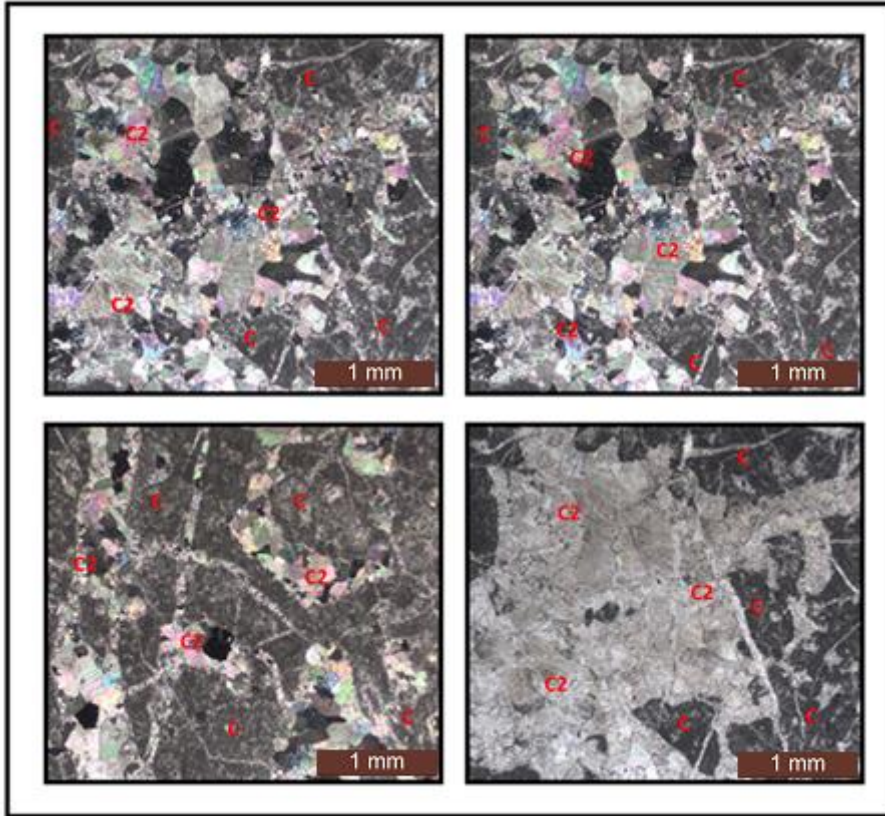
Dolomit minerallerinden oluşan kayaç içerisinde bulunan çatlaklarda yine ikincil bir dolomit oluşumu gerçekleşmiştir (Şekil 4.9). Mozaik dokuyu oluşturan dolomit taneleri genel olarak öz şekilsizdir. Ancak yer yer öz şekilli kristalleri gözlenmiştir. Dolomit minerallerinde dilinimler iyi gelişmemiştir.



Şekil 4.9 Light Emprador örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen dolomit (Dol) mineralleri.

4.1.1.10 Silver Bej

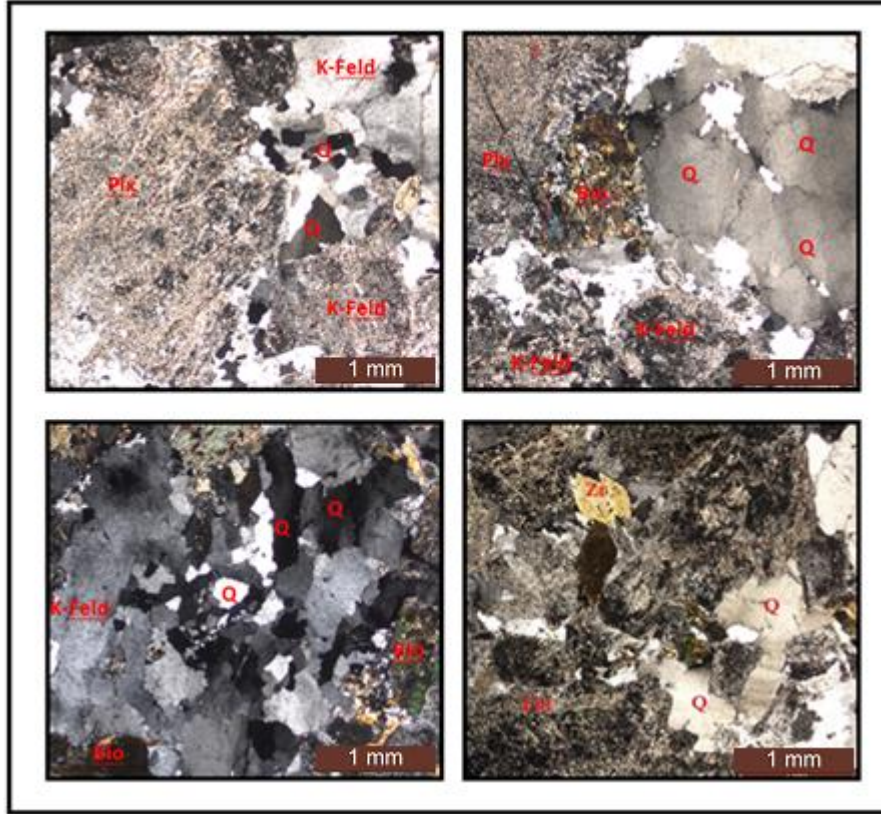
İncelenen örnekler içerisinde en fazla çatlak yoğunluğu olan örneklerdir. İkincil kalsit dolgulu çatlaklar kayacın tamamını sarmıştır. İkincil kalsitlerin boyutları çatlak boyutlarına göre değişmektedir (Şekil 4.10). Çatlak harici bölgeler de gözlenen kalsit mineralleri mikritik bir doku oluşturmaktadır.



Şekil 4.10 Silver Bej örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen birincil (C-1) ve ikincil (C-2) kalsit mineralleri kalsit dolgulu çatlaklar.

4.1.1.11 Balaban Green Granit

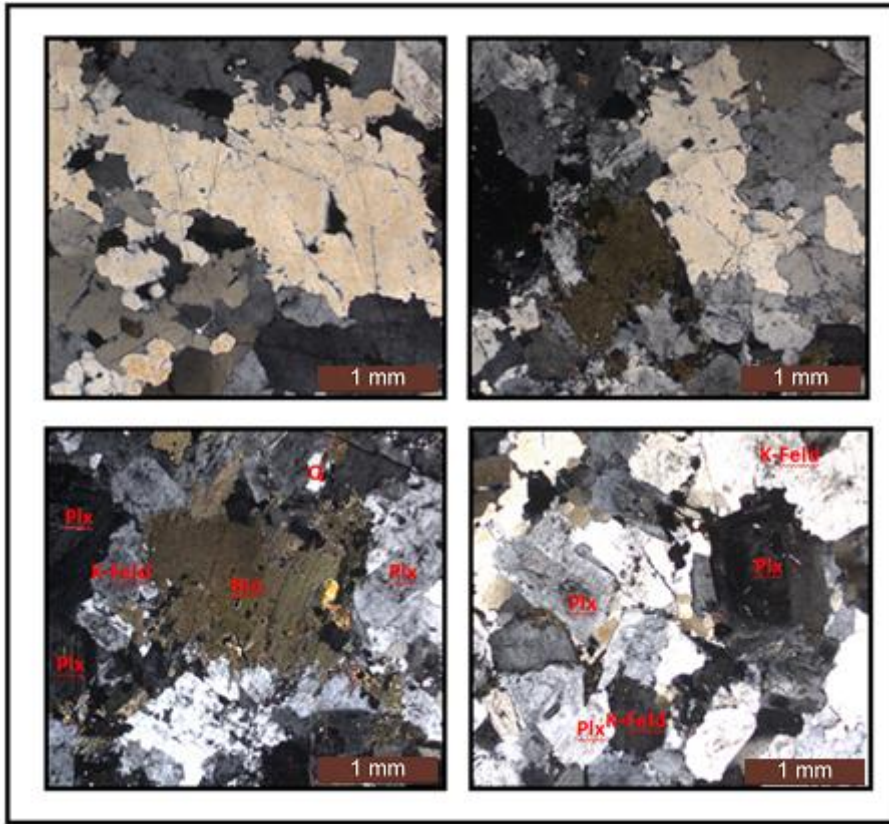
Kayaç içerisinde hakim mineraller plajyoklas, ortoklas, kuvars, biyotit, hidro-biyotit, az miktarda mikroklin ve eser miktarda zirkondur (Şekil 4.11). Feldispatlar (plajyoklas, ortoklas) önemli derecede ayrılmıştır. Ayrışma daha çok serisitleşme olarak gerçekleşmiş, ayrışmanın şiddetli olduğu bölgelerde de killeşmeler meydana gelmiştir. Ayrışmadan dolayı kayaç içerisindeki feldispatların ayrımı oldukça güçtür. Plajyoklaslarda polisentetik ikizlenmeler gözlenmiştir. Kuvars mineralleri ise dalgalı sönmeleri ile karakteristiktir. Kayaç holokristalinporfirik dokuludur.



Şekil 4.11 Balaban Green örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen feldispat (Fld), kuvars (Q) ve zirkon (Zr) mineralleri kalsit dolgulı çatlaklar.

4.1.1.12 Hisar Gri Granit

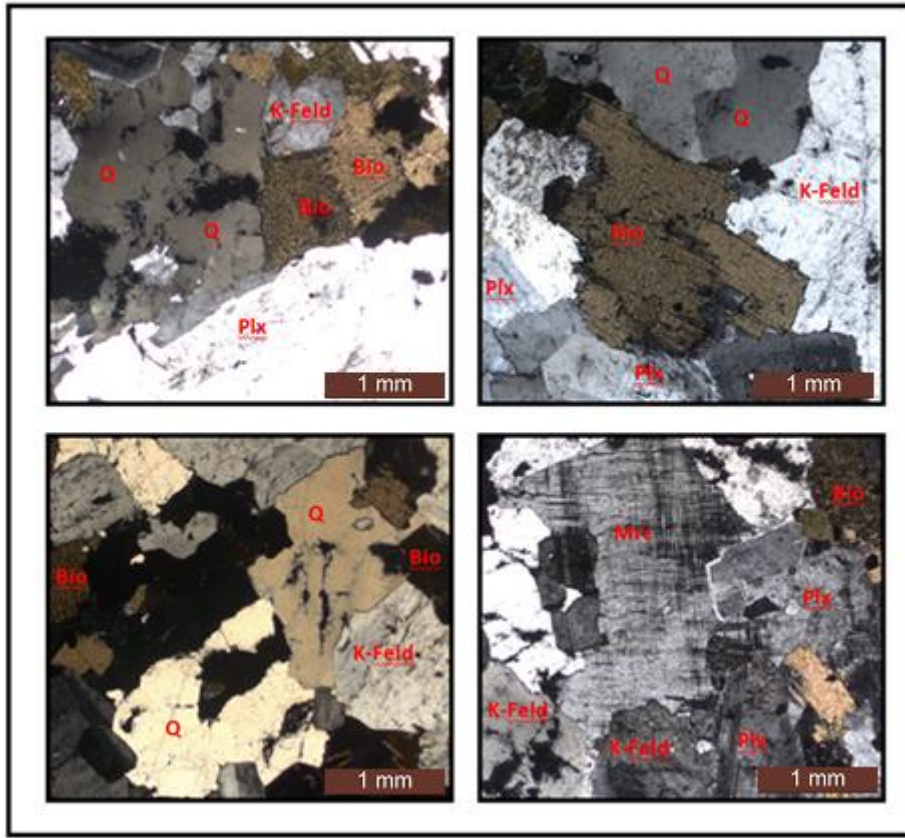
Kayaç yapıcı mineral olarak plajioklas, ortoklas, kuvars ve biyotitler gözlenmiştir. Kuvars minerallerinde dalgalı sönme gözlenmektedir (Şekil 4.12). Kayaç içerisindeki feldispatlarda ayrışma oldukça azdır. Ayrışma daha çok serisitleşme olarak gelişmiştir. Plajioklaslarda polisentetik ikizlenme ve zonlanmalar gözlenmiştir. Kayaç holokristalinporfirik dokuludur.



Şekil 4.12 Hisar Gri Granit örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen K-feldispat (K-Fld), plajioklas (Plx), kuvars (Q) ve biyotit (Bio) mineralleri kalsit dolgulu çatlaklar.

4.1.1.13 Roza Beta Granit

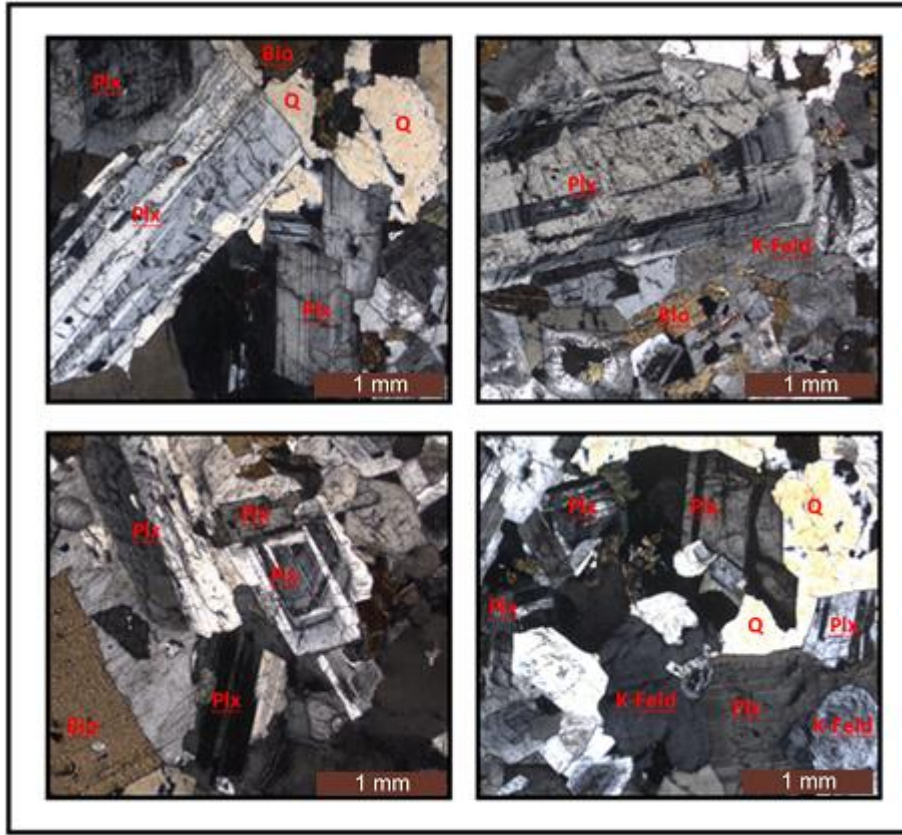
Kayaç yapıcı mineral olarak plajioklas, ortoklas, kuvars, mikroklin ve biyotitler gözlenmiştir (Şekil 4.13). Holokristalinporfirik dokulu kayaç içerisindeki plajioklaslarda polisentetik ikizlenme ve zonlanmalar, kuvarslar da ise dalgalı sönmeler gözlenmiştir.



Şekil 4.13 Roza Beta örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen K-feldispat (K-Fld), plajioklas (Plx) ve biyotit (Bio) mineralleri.

4.1.1.14 Bergama Granit

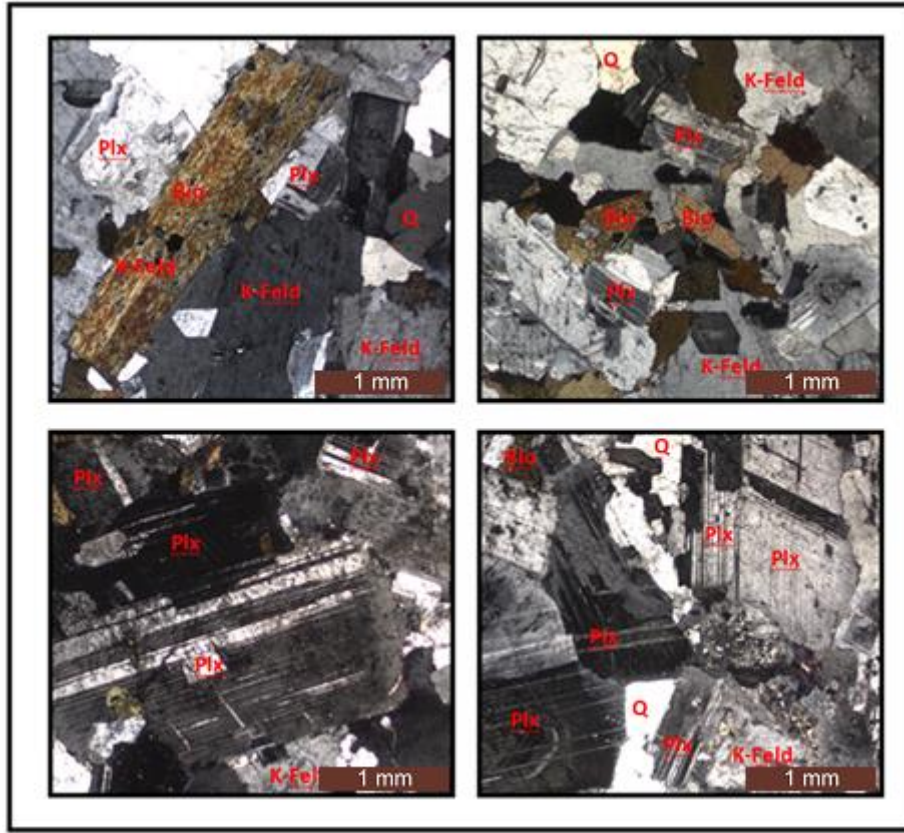
Kayaç yapıcı mineral olarak plajiyoklas, ortoklas, kuvars ve biyotitler gözlenmiştir (Şekil 4.14). Polisentetik ikizlenme ve zonlanmalar gösteren plajiyoklaslarda ayrışmada oldukça az gözlenmiştir. Plajiyoklaslar büyük oranda öz şekilli ve yarı öz şekilli olarak gözlenmiştir. Holokristalinporfirik dokuya sahiptir.



Şekil 4.14 Bergama Granit örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen K-feldispat (K-Fld), plajiyoklas (Plx) ve biyotit (Bio) mineralleri.

4.1.1.15 Eskişehir Granit

Kayaç yapıcı mineral olarak plajioklas, ortoklas, kuvars ve biyotitler gözlenmiştir. Kayaç içerisindeki feldispatlarda ayrışma oldukça azdır (Şekil 4.15). Öz şekilli ve yarı öz şekilli olarak gözlenen plajioklaslarda polisentetik ikizlenme ve zonlanmalar yaygındır. Kayaç holokristalinporfirik dokuludur.

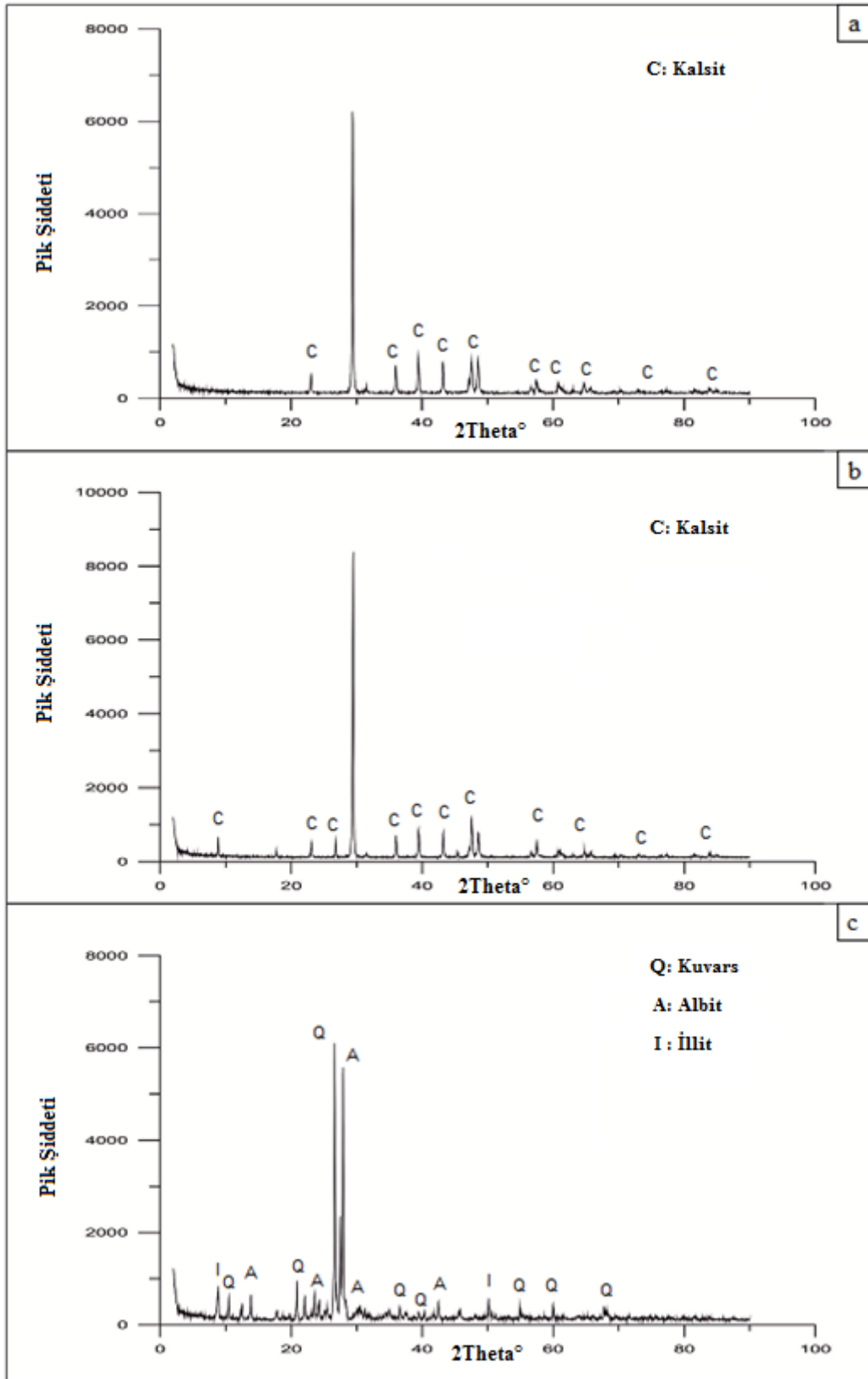


Şekil 4.15 Eskişehir Granit örneğine ait kayaç içerisinde gözlenen K-feldispat (K-Fld), plajioklas (Plx), kuvars (Q) ve biyotit (Bio) mineralleri kalsit dolgulu çatlaklar.

4.1.2 X-Işınları Difraktometresi (XRD) İncelemeleri

Doğaltaş örneklerinin kırılma yüklerinde etkili olan en önemli faktörlerden birisi kayaç içindeki minerallerin türü ve miktarı olduğundan, bu bölümde doğaltaş örneklerinde ki minerallerin ayırt edilmesine yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

Doğaltaş örneklerinin XRD difraktomları incelendiğinde, özellikle mermer ve kireçtaşı grubundaki örneklerdeki başlıca mineralin kalsit olduğu görülmüştür (Şekil 4.16). Kireçtaşı örneklerinde ise kalsite başka bir karbonatlı mineral olan dolomit eşlik etmektedir (Şekil 4.16). Kökensel olarak farklı yapıdaki doğaltaş örnekleri seçildiği için bu incelemede en farklı mineral grubu granit örneklerinde tespit edilmiştir. Granit örneklerinde kuvars, K- feldispat, biyotit ve amfibol minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 XRD analiz sonuçları, (a) Silver Bej, (b) Afyon Menekşe, (c) Balaban Green.

4.2 Kimyasal İncelemeler

Doğaltaş örneklerinin kimyasal analiz sonuçları büyük oranda mineralojik bileşimlerini yansıtmaktadır. Çoğunlukla kalsit mineralinden meydana gelen metamorfik kökenli Afyon Şeker, Afyon Menekşe, Kaplan Postu, Muğla Beyaz ve Uşak Beyaz mermer örneklerinin CaO oranları birbirine oldukça yakın olup, % 56,60 ile % 54,70 arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). Mermer örneklerinin kızdırma kayıpları % 42,80 ile % 43,62 arasında değişirken, karbonat dışı oksitlerin miktarı % 1'in altındadır.

Sedimanter kökenli Bilecik Bej, Korkuteli Bej, Burdur Bej, Light Emperador ve Silver Bej kireçtaşı örneklerinde de CaO oranları birbirlerine oldukça yakın değerlere sahiptir. CaO oranı kireçtaşı örneklerinde yaklaşık % 56,00'dır. Yalnızca Light Emprador örneğinde CaO oranı % 39,60'dır. Örneklerde dolomitin varlığına işaret eden MgO oranları incelendiğinde, Korkuteli Bej örneğinde % 1,22 ve Light Emperador örneğinde maksimum % 13,40'a ulaştığı tespit edilmiştir. Kireçtaşı örneklerinin diğer oksit bileşiklerinin toplamı % 1'in altındadır.

Çalışmada kullanılan magmatik kökenli granit örneklerinin kimyasal bileşimleri incelendiğinde, Na₂O ve K₂O gibi alkali bileşenlerin oranları sırasıyla % 3,26 ile % 4,97 ve % 3,56 ile % 4,78 oranlarında değişim göstermektedir. Granit örneklerinin mineralojik bileşiminde bulunan biyotit mineralinden dolayı yüksek oranda Fe₂O₃ içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Granit örneklerindeki Fe₂O₃ oranı % 3,29 ile % 5,10 arasında değişmektedir. Granit grubundaki % 3,52 ile % 5,46 arasında değişim gösteren CaO içeriği ise kayacın bileşim dekiplajioklas, hornblend ve tali minerallerin (apatit vb.) varlığına bağlıdır.

Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan örneklere ait kimyasal analiz sonuçları.

Element/ Numune İsimleri	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₅	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb ₂ O	ZrO	BaO	SrO	ZnO	SO ₃	WO ₃	Cl	F	Kızdırma Kaybı (LOI)
M₁	0,09	-	0,08	0,125	0,016	0,21	55,80	0,015	0,01	-	-	-	0,02	-	0,01	-	-	-	-	43,62
M₂	0,51	-	0,51	0,365	0,02	0,25	54,70	-	0,09	0,020	-	-	-	0,02	-	0,01	-	-	-	43,50
M₃	0,28	-	0,275	0,075	0,13	0,12	55,60	0,01	0,04	0,024	-	-	-	0,02	-	0,01	-	-	-	43,57
M₄	0,08	-	0,035	0,035	-	0,38	56,60	0,01	0,004	0,005	-	-	-	0,03	-	0,01	-	-	-	42,80
M₅	0,12	-	0,03	0,034	-	0,35	56,30	-	-	-	-	-	-	0,03	-	0,01	-	-	-	43,18
B₁	0,07	-	0,04	0,04	-	0,15	55,80	0,005	-	0,02	-	-	-	0,02	-	0,02	-	-	0,09	43,69
B₂	0,03	-	0,01	0,011	-	1,22	54,90	0,01	-	0,05	-	-	-	0,04	-	0,02	-	-	-	43,71
B₃	0,02	-	0,01	0,02	-	0,19	56,00	0,01	-	-	-	-	-	0,02	-	0,01	-	-	-	43,69
B₄	0,10	-	0,05	0,06	-	13,4	39,60	0,03	0,01	0,01	-	-	-	0,03	-	0,11	-	-	-	46,59
B₅	0,07	-	0,04	0,03	-	0,25	55,80	0,01	-	0,02	-	0,04	-	0,02	-	0,02	-	-	0,09	43,69
G₁	60,9	0,61	17,4	4,56	0,12	1,81	3,52	4,52	4,46	0,25	0,02	0,02	0,21	0,11	0,01	0,02	-	-	0,13	1,29
G₂	64,4	0,31	17,3	3,29	0,10	0,10	3,93	4,97	3,56	0,19	0,01	0,03	0,16	0,17	0,01	0,02	-	-	-	0,59
G₃	63,1	0,70	16,7	4,64	-	1,0	0,31	0,08	4,3	3,92	0,09	0,01	0,02	0,04	0,13	0,12	0,07	0,01	-	0,72
G₄	60,3	0,58	16,5	4,61	-	2,23	0,39	0,01	4,53	5,02	0,11	0,01	0,02	0,13	0,19	0,12	0,06	0,02	-	0,99
G₅	61,3	0,56	16,4	5,10	-	1,54	0,28	0,01	4,78	5,46	0,13	0,01	0,03	0,10	0,08	0,13	0,05	0,02	-	0,72

4.3 Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü İncelemeleri

Saplama deliğinde kırılma yüğü tayini TS EN 13364 standardına göre yapılmış ve tüm kalınlıklar için elde edilen kırılma yüklerine ait ortalama değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.2’de verilen kırılma yüğü değerleri incelendiğinde; örnek kalınlığının artışına bağlı olarak kırılma yüğü değeri de artmaktadır.

Çizelge 4.2 Doğaltaşların kırılma yüğü değerleri.

Numune Kalınlığına Bağlı Kırılma Yüğü (N)				
Numune Kodu	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
M1	809	1523	2865	3793
M2	840	1805	2855	3802
M3	775	1708	3110	3506
M4	735	1600	2658	3296
M5	775	1603	2801	3506
B1	761	1556	2722	4608
B2	939	1865	3350	4607
B3	793	1318	2358	3421
B4	915	1454	2984	3889
B5	728	1206	3346	4333
G1	1065	3287	4025	6550
G2	991	2961	3939	5462
G3	958	1773	3000	5482
G4	1012	2033	4076	5691
G5	966	1899	3648	5176

Kalınlık değerleri dikkate alındığında; 5 cm kalınlık değerinde en yüksek kırılma yükü değeri Balaban Green (G1) örneğinde elde edilirken, bu örneği sırasıyla Bergama (G4), Roza Beta (G3), Hisar Gri (G2), Eskişehir granit (G5), Bilecik Bej (B1), Korkuteli Bej (B2), Silver Bej (B5), Light Emperador (B4), Afyon Menekşe (M2), Afyon Şeker (M1), Kaplan Postu (M3), Uşak Beyaz (M5), Burdur Bej (B3) ve Muğla Beyaz (M4) örneği izlemiştir.

4 cm kalınlığındaki en yüksek kırılma yükü değerleri Balaban Green (G1) ve Bergama (G4) örneklerinde elde edilmiştir. da elde edilirken, bu örneği sırasıyla Hisar Gri (G2) örneğinden başlayarak kırılma yükü değerleri Eskişehir granit (G5), Korkuteli Bej (B2), Silver Bej (B5), Kaplan Postu (M3), Light Emperador (B4), Afyon Şeker (M1), Afyon Menekşe (M2), Uşak Beyaz (M5), Muğla Beyaz (M4), Bilecik Bej (B1) ve Burdur Bej (B3) örneklerine doğru azalma göstermiştir.

TS EN 13364 standardında belirtilen 3 cm kalınlık değerinde; en yüksek değer Balaban Green (G1) örneğinde elde edilirken, bu örneği de sırasıyla Hisar Gri (G2), Bergama (G4), Eskişehir granit (G5), Korkuteli Bej (B2), Afyon Menekşe (M2), Roza Beta (G3), Kaplan Postu (M3), Uşak Beyaz (M5), Muğla Beyaz (M4), Bilecik Bej (B1), Afyon Şeker (M1), Light Emperador (B4), Burdur Bej (B3) ve Silver Bej (B5) izlemiştir. 3 cm kalınlık değerinde yoğunlukla kireçtaşı grubunun en düşük kırılma yükü değerine sahip olduğu görülmektedir.

Çalışma grubundaki en düşük kalınlık değeri olan 2 cm'deki kalınlık değerlerinde olduğu gibi en yüksek kırılma yükü Balaban Green (G1) örneğinde elde edilmiştir. En yüksek değerler granit grubundaki örneklerde elde edilirken, kireçtaşı ve mermer grubu örneklerinin daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Doğaltaşların deliğin merkezinden kırığın kenarına olan en büyük mesafe değeri b_A ve uygulanan kuvvet doğrultusunda delikten yüzeye olan mesafe d_1 'e ait aritmetik ortalamalar ise Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de verilmiştir. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 incelendiğinde numune kalınlığının artışına bağlı olarak kırılma yükü değerinin de arttığı görülmektedir. Çizelge 4.3'de verilen b_A değerleri incelendiğinde; 5 cm kalınlıkta

örnekler kullanılarak standarda uygun olarak yapılan test sonuçlarına göre en yüksek b_A değeri Balaban Green (G1) örneğinde, en düşük b_A değeri ise Uşak Beyaz (M5) örneğinde elde edilmiştir. 4 cm kalınlıktaki örneklerden elde edilen en yüksek b_A değeri Bergama (G4) örneğinde; en düşük b_A değeri ise Uşak Beyaz (M5) örneğinde elde edilmiştir. 3 cm kalınlıktaki örneklerden elde edilen değerler incelendiğinde ise, en yüksek b_A değeri Eskişehir Granit (G5) örneğinde; en düşük b_A değeri ise Roza Beta (G3) örneğinde elde edilmiştir. En düşük kalınlık olan 2 cm'lik örneklerden elde edilen en yüksek b_A değeri Balaban Green (G1) örneğinde; en düşük b_A değeri ise Silver Bej (B5) örneğinde elde edilmiştir.

Uygulanan kuvvet doğrultusunda delikten yüzeye olan mesafe (d_1) değerinin verildiği Çizelge 4.4 incelendiğinde; çalışmada kullanılan 4 farklı örnekler arasında çok fazla değişimin olmadığı görülmektedir. TS EN 13364 numaralı standardına bağlı olarak yapılan 3 cm kalınlığındaki deney numunelerinde delikten yüzeye olan mesafe (d_1) değerinin yaklaşık 10 mm olduğu görülmektedir. Bu değer 2 cm kalınlıktaki örneklerde % 50 azalarak yaklaşık 5 cm, 4 cm kalınlıktaki örneklerde % 50 artarak yaklaşık 15 cm ve 5 cm kalınlıktaki örneklerde % 100 artarak yaklaşık 20 cm olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3 Doğaltaşların kırığın kenarına olan en uzun mesafe (b_A) değerleri.

Kalınlık değişimine bağlı kırığın kenarına olan en uzun mesafe (b_A) (mm)				
Numune Kodu	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
M1	25	36	52	62
M2	27	37	55	64
M3	21	37	59	72
M4	24	33	51	64
M5	23	31	36	48
B1	22	41	39	75
B2	22	34	58	82
B3	26	32	59	75
B4	27	35	57	74
B5	20	39	58	73
G1	34	35	50	59
G2	30	29	54	74
G3	26	29	54	71
G4	29	41	60	74
G5	32.8	43.1	57	68

Çizelge 4.4 Doğaltaşların delikten yüzeye olan mesafe (d_1) değişimi.

Kalınlık Değişimine Bağlı Delikten Yüzeye olan mesafe (d_1) (mm)				
Numune Kodu	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
M1	4,99	10,01	15,00	20,05
M2	5,01	9,98	14,89	20,03
M3	5,01	10,20	15,50	19,94
M4	5,02	10,01	15,00	20,00
M5	5,05	10,06	15,09	20,00
B1	5,02	10,40	15,09	20,04
B2	4,97	10,30	15,73	19,93
B3	4,96	9,99	14,96	20,01
B4	4,97	10,04	14,89	19,89
B5	4,98	10,01	15,05	20,07
G1	4,98	10,03	14,97	19,91
G2	4,98	9,99	15,01	19,99
G3	4,99	10,01	15,00	20,00
G4	5,00	9,97	14,96	20,00
G5	5,01	9,98	15,03	19,95

4.4 Fiziksel ve Mekanik Testler

Bu çalışmada oluşum bakımından farklılık gösteren 15 farklı doğaltaş deneye tabi tutulmuştur.

Çalışmada kullanılan doğaltaşlar üzerinde yapılan fiziko-mekanik testlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelge 4.5 incelendiğinde, mermer grubuna ait doğaltaşlar içerisinde özgül kütlesi en yüksek örneğin 2,74 gr/cm³ ile Afyon Menekşe olduğu görülmektedir. Diğer mermer örneklerinin özgül kütleleri ise 2,72 ile 2,74 gr/cm³ arasında değişmektedir. Çalışmada kullanılan kireçtaşları içerisinde en yüksek özgül kütleyle sahip doğaltaş 2,83 gr/cm³ ile Light Emprador’dur. Bu örneğin özgül kütlelerinin diğer örneklerin özgül kütlelerine göre daha yüksek olmasının, içerisindeki magnezyum miktarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer kireçtaşı örneklerinin özgül kütleleri ise 2,72 ile 2,75 gr/cm³ arasında değişmektedir. Granit örneklerinin özgül kütleleri 2,71 ile 2,75 gr/cm³ arasında değişmektedir. En yüksek özgül kütle değeri 2,75 gr/cm³ ile Balaban Green örneğine aittir.

Deney örneklerinin su emme oranları incelendiğinde, en az su emme oranlarının % 0,08 ile % 0,13 arasında mermer grubu örneklerine ait olduğu görülmektedir. Su emme oranı en yüksek mermer örneği % 0,13 ile Muğla Beyazı’dır. Kireçtaşı örneklerine ait su emme oranları % 0,10 ile % 0,80 arasında değişirken, en yüksek su emme oranına sahip örnek % 0,80 ile Light Emprador’dur. Granit grubu örneklerinin su emme oranları ise % 20 ile % 0,41 arasındadır. Bergama Granit grup içerisinde en yüksek su emme oranına sahip iken, en düşük su emme oranı % 0,20 ile Roza Beta örneğine aittir.

Çizelge 4.5’de yer alan basınç dayanım değerleri incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımının granit örneklerine ait olduğu görülmektedir. Granit örneklerinin basınç dayanım değerleri 211,60 ile 259,30 MPa arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanım değeri Hisar Gri örneğine aittir. Bej örneklerinin basınç dayanım değerleri incelendiğinde, en düşük değer 134,90 MPa ile Bilecik Bej’e ve en yüksek değer 178,82 MPa ile Korkuteli Bej’e ait olduğu tespit edilmiştir. Mermer örneklerinin basınç dayanımları ise diğer iki gruba göre daha düşüktür. Mermer grubuna ait basınç dayanım

değeri 75,53 MPa ile 115,50 MPa arasında bulunmuştur. Afyon Menekşe mermer grubu içerisinde basınç dayanımı en yüksek örnektir.

Sabit moment altında eğilme dayanımı değerlerinin, kireçtaşı grubu örneklerinde 4,28 MPa ile 8,54 MPa arasında, mermer grubunun 5,47 MPa ile 9,01 MPa değerinde, granit grubu örneklerinin ise 9,62 MPa ile 20,42 MPa arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Mermer grubunda en yüksek eğilme dayanımı Afyon Menekşe örneğinde görülürken, en düşük eğilme dayanımı ise Kaplan Postu örneğine aittir. Kireçtaşlarında en yüksek eğilme dayanımı Bilecik bej örneğinde, en düşük eğilme dayanım değeri ise Silver Bej örneğinde görülmektedir. Balaban Green 20,42 MPa değeri ile eğilme dayanımı en yüksek olan granit grubu örneğidir. Sabit moment altında eğilme dayanımı değerlerinde doğaltaş örnekleri arasında farklılıkların olduğu gözlenmektedir. Doğaltaşların bünyesinde bulunan karbonat dışı minerallerin, değerlerin değişmesinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir.

Çalışmadaki örneklere ait yoğun yük altında bükülme dayanımı incelendiğinde ise, sabit moment altında eğilme dayanımı sonuçlarına benzer değerlerin elde edildiği görülmektedir. Yine en yüksek değerlerin granit örneklerinde elde edildiği tespit edilmiştir. Mermer grubunda 12,40 MPa ile Afyon Menekşe, kireçtaşı grubunda 10,15 MPa ile Korkuteli Bej ve granit grubunda 20,12 MPa ile Balaban Green yoğun yük altında bükülme dayanımı en yüksek örneklerdir.

Nokta yükleme deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek değerlerin mermer grubunda Afyon Menekşe, kireçtaşı grubunda Korkuteli Beji, granit grubunda ise Balaban Green örneğine ait olduğu belirlenmiştir. Nokta yükleme dayanımı en düşük örnekler ise mermer grubunda Muğla Beyazı, kireçtaşı grubunda Bilecik Bej, granit grubunda Bergama granittir.

Ses ilerlemesi gruplara göre incelendiğinde, en yüksek ses ilerleme hızına kireçtaşı grubunun sahip olduğu görülmektedir. En düşük ses ilerleme hızının ise granit grubundaki örneklere ait olduğu belirlenmiştir.

Knoop sertlik değerlerinde ise, granit grubuna ait örneklerin 509 HK ile 642 HK sertlik değeri ile en yüksek değere sahip olduğu, bunu sırasıyla kireçtaşı grubu 164 HK ile 347 HK ve mermer grubu 135 HK ve 162 HK takip etmektedir.

Çalışmadaki örneklere ait aşınma direnci tayini incelendiğinde, en az aşınma miktarının 11,93 mm ile 16,20 mm arasında granitlerde olduğu belirlenmiştir. Kireçtaşı grubuna ait örneklerde bu değer 17,26 mm ile 18,46 mm arasında değişirken, mermer grubuna ait örneklerde 17,88 mm ile 20,09 mm arasında değere sahip olduğu görölmektedir.

Termal şok etkisi ile yıpranmaya direncin tayini deneyi sonrası örneklerde herhangi bir fiziksel değişim gözlenmemiştir. Termal şok sonrası kütle kayıp değerlerinin çok az miktarda değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan örneklerin tuz kristallenmesine direncin tayini deneyinden sonra bütünlüğünü koruduğu gözlenmiştir. Örneklerde % 0,01 ile % 0,88 oranında kütle kaybının olduğu belirlenmiştir.

Nemli ortamda SO₂ yıpratmasına direncin tayini deneyi sonrası örnekler üzerinde oksitlemeler gözlenmiştir. Bej grubu örneklerinin yüzeylerinde oksitlenmelerin yoğun olduğu görölmektedir. Oksitlenmeden en az etkilenen doğaltaş grubu granitlerdir.

Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan mermerlere ait fiziko-mekanik test sonuçları.

DeneY İsimleri	M1	M2	M3	M4	M5	B1	B2	B3	B4	B5	G1	G2	G3	G4	G5
Su emme (%)	0,09	0,09	0,11	0,13	0,08	0,21	0,30	0,10	0,80	0,15	0,25	0,33	0,20	0,41	0,20
Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme	0,10	0,26	0,24	0,59	0,19	0,27	0,68	0,31	2,19	0,28	0,53	0,60	0,46	1,32	0,48
Görünür Yoğunluk (g/cm ³)	2,68	2,68	2,67	2,68	2,67	2,67	2,69	2,67	2,67	2,67	2,68	2,65	2,66	2,63	2,64
Özgül Kütle (g/cm ³)	2,74	2,74	2,73	2,73	2,72	2,73	2,73	2,72	2,83	2,72	2,75	2,72	2,71	2,74	2,74
Sabit moment altında eğilme dayanımı (MPa)	8,4	9,01	5,47	8,33	8,92	8,54	8,34	5,63	4,85	4,28	20,42	19,62	13,36	9,62	10,83
Yoğun yük altında bükülme yükü dayanımı (MPa)	12,20	12,4	9,50	8,74	9,17	8,95	10,15	6,98	5,37	4,59	20,12	17,74	15,34	14,67	13,23
Ses İlerleme Hızı (km/sn)	5,27	4,76	4,42	5,04	5,17	5,83	5,37	5,64	5,60	5,45	4,79	4,69	4,77	4,28	4,85
Aşınma Dayanımı (mm)	20,09	17,88	21,17	21,06	19,69	17,55	18,25	17,26	18,5	17,4	13,85	11,93	15,86	14,15	16,20
Basınç Dayanımı (MPa)	107,4	115,5	89,90	75,53	83,56	134,9	178,8	146,8	148	161	221,0	259,3	218,1	218,4	211,6
Mikrosertlik (HK)	147	151	137	135	162	164	166	172	347	166	509	622	642	544	513
Termal Şok Etkisine bağlı değişim (%)	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,13	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
Tuz Kristallenme Direnci (%)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,22	0,02	0,02	0,01	0,01	0,88	0,02
SO ₂ Etkisine bağlı yıpranma direnci (%)	0,16	0,21	0,21	0,25	0,15	0,21	0,23	0,35	0,18	0,11	0,02	0,03	0,03	0,15	0,02
Schmidt Sertliği	55,00	56,0	55,00	54,0	58,0	60,00	67,0	64,0	68,0	66,0	51,1	51,1	50,6	50,1	49,60
Nokta yükleme (kN)	8,30	8,90	8,50	7,50	8,00	8,50	12,2	10,2	11,8	9,50	29,6	28,2	20,6	18,2	24,30
Don dayanım (MPa)	108,8	111,2	85,20	74,44	81,56	132,6	178,0	149,6	144	155	217	254	213,2	211,0	209,6

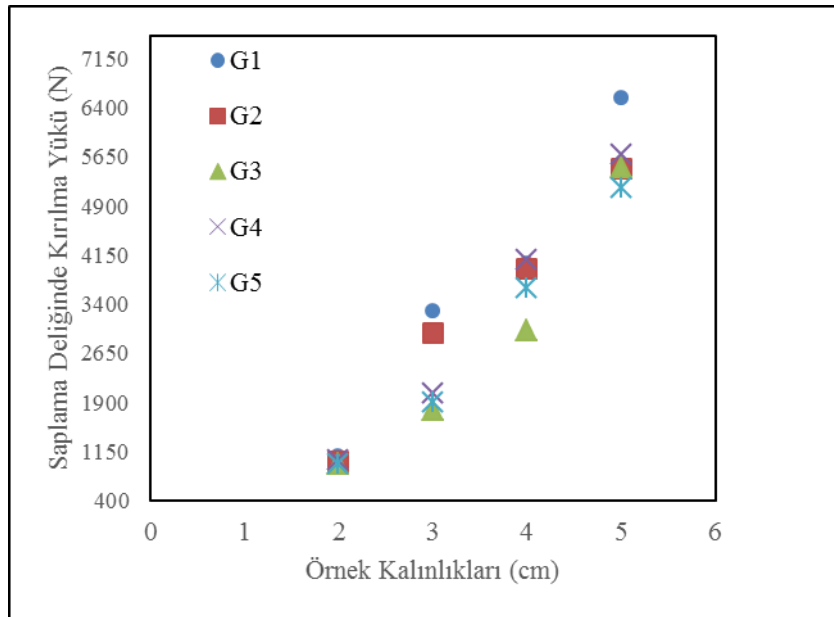
5. TARTIŞMA

Kökensel yapı dikkate alınarak yapılan bu çalışmada kullanılan doğaltaşların kalınlığa bağlı kırılma yükü, kırığın kenara olan en uzun mesafesi (b_A) ve delikten yüzeye olan mesafe (d_1) arasındaki değişimler bu bölümde incelenmiştir. Delikten yüzeye olan mesafe (d_1) numunenin kalınlığı ile ilgili olduğundan grafiksel olarak incelenmemiştir.

5.1 Granit Grubu Doğaltaşlar

5.1.1 Granit Grubu Kırılma Yükü Değişiminin İncelenmesi

Çalışmada kullanılan tüm granit örneklerinin kalınlık-kırılma yükü ilişkileri Şekil 5.1'de verilmiştir. Granit örneklerinde kalınlığa bağlı olarak kırılma yükü değerinin de arttığı gözlenmiştir. Balaban Green tüm kalınlıklarda en yüksek kırılma yükü değerine sahip granit örneğidir. En düşük kırılma yükü değerine sahip granit örneği ise Roza Beta granitidir. Balaban Green örneğinin, bünyesinde bulundurduğu plajyoklas, ortoklas, kuvars, biyotit, hidro-biyotit ve eser miktarda zirkon minerallerinden dolayı diğer örneklerden daha yüksek kırılma yükü değerine sahip olduğu düşünülmektedir.



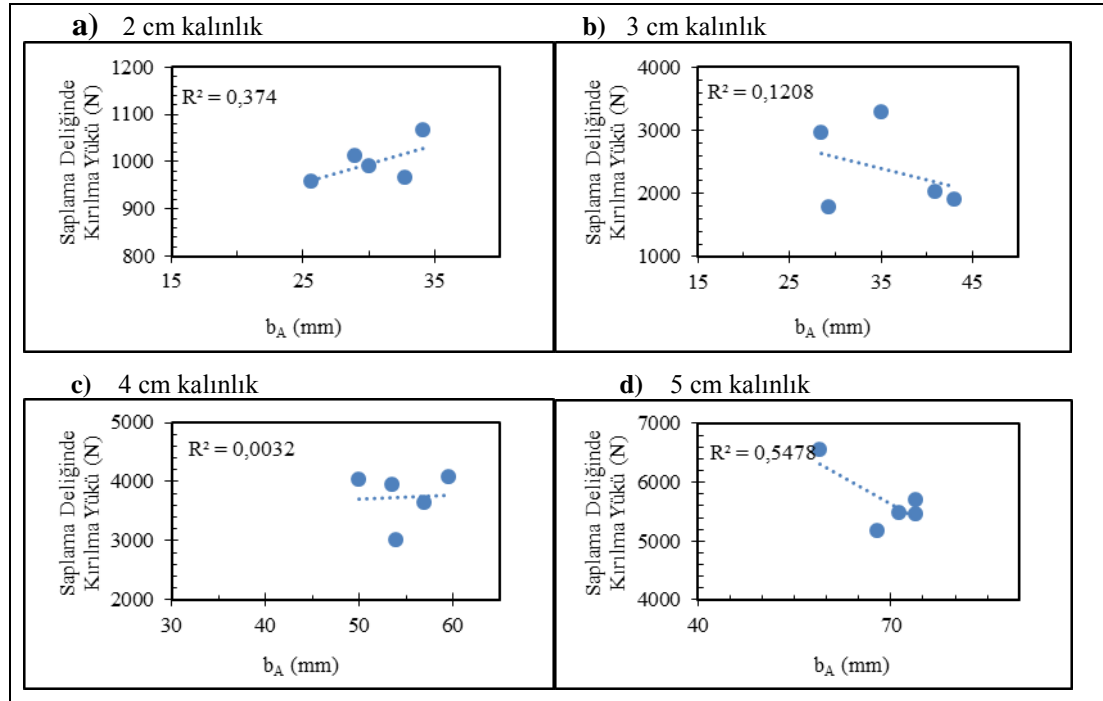
Şekil 5.1 Granit grubu örneklerinde kalınlığa bağlı kırılma yükü değişimi.

Değişik numune kalınlığına bağlı olarak 2 cm, 3 cm ve 5 cm kalınlığında kırılma yükü en yüksek Balaban Green örneği olurken, 4 cm kalınlıkta Bergama örneğinde elde edilmiştir.

5.1.2 Kırılma Yükü – Kırığın Kenara Olan Mesafesi (b_A) Değişiminin İncelenmesi

Kırılma yükü ile kırığın kenara olan en uzun mesafe (b_A) arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla basit doğrusal regresyonlar incelenmiştir (Şekil 5.2). Kırılma yükü ile kırığın kenara olan en uzun mesafe (b_A) arasında anlamlı bir korelasyon değerinin olmadığı gözlenmiştir.

Örneğin, 3 cm kalınlığındaki Balaban Green örneğinin kırılma yükü değeri 4025 N iken, kırığın kenarına olan en uzun mesafesi 50 mm'dir. Aynı kalınlıktaki Roza Beta örneğinin kırılma yükü değeri 3000 N iken kırığın kenarına olan en uzun mesafesi 54 mm'dir. Buna bağlı olarak, deneysel bulgular dikkate alındığında, kırılma yükü değeri ile kırığın kenara olan en uzun mesafesi arasında doğrusal bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir.

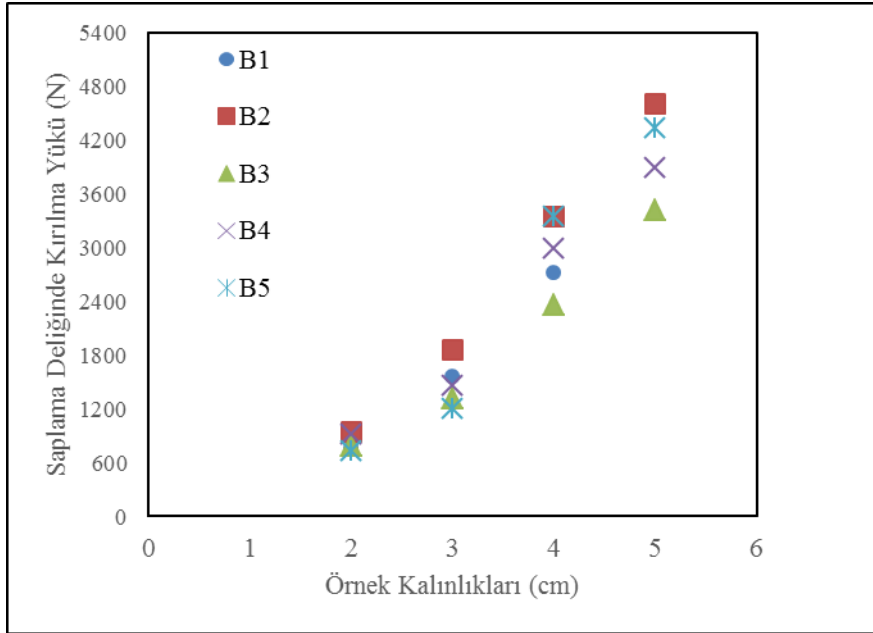


Şekil 5.2 Granit grubu örneklerine ait Kırılma Yükü – b_A değişimi.

5.2 Kireçtaşı Grubu Doğaltaşlar

5.2.1 Kireçtaşı Grubu – Kırılma Yüğü Değişiminin İncelenmesi

Kireçtaşı örneklerinde kırılma yüğü değerleri incelendiğinde, kırılma yükünün 5 cm kalınlığa sahip örneklerde 3420,7 N ile 4608,6 N arasında değiştii gözlenmiştir (Şekil 5.3). Diğer kalınlıklardaki kırılma yükleri sırası ile, 4 cm kalınlığa sahip örneklerde 2358 N ile 3350 N, 3 cm kalınlığa sahip örneklerde 1202,2 N ile 1844,7 N ve 2 cm kalınlığa sahip örneklerde ise 727,9 N ile 938,5 N arasındadır.

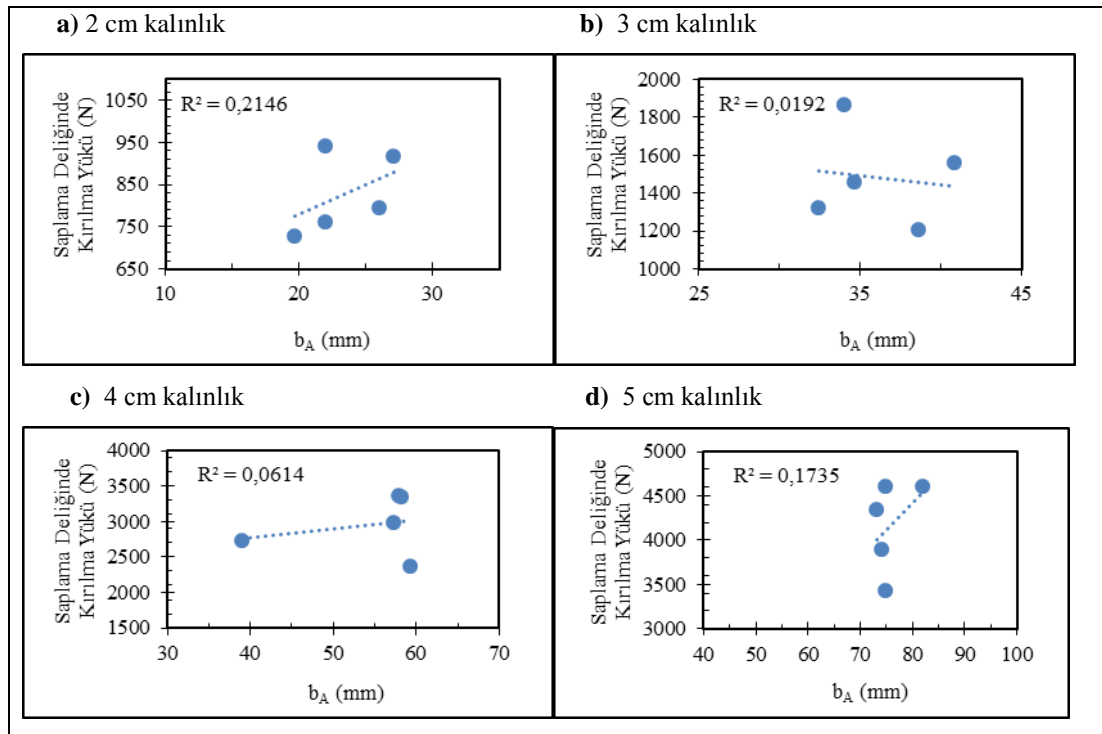


Şekil 5.3 Kireçtaşı grubu örneklerinde kalınlığa bağlı kırılma yüğü değişimi.

Tüm kalınlıklarda en yüksek kırılma yüğü değeri Korkuteli Bej örneğinde elde edilmiştir. Korkuteli Bej örneğinin çalışmada kullanılan kireçtaşı örneklerinden en yüksek kırılma yüğü değerlerine sahip oluşunun nedeninin, diğer örneklere göre daha az miktarda gözlenen kırık ve çatlaklar ve herhangi bir fosil izine rastlanmamasının olduğu düşünölmektedir.

5.2.2 Kırılma Yüğü – Kenarın Kırığa Olan Mesafe (b_A) Değişiminin İncelenmesi

Kireçtaşı örneklerine ait kırılma yüğü değerleri ile kırığın kenara olan en uzun mesafesindeki (b_A) değerlerinin bulunduğu grafik Şekil 5.4’de verilmiştir. Tüm kalınlıklar için R^2 incelendiğinde, kırılma yüğü ile (b_A) değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı görülmektedir. Kırığın kenara olan en uzun mesafesi (b_A) kalınlık artışına bağılı olarak arttığı için, (b_A) değerinin örneklerin kalınlıkları ile ilişkili olduğu söylenebilir.

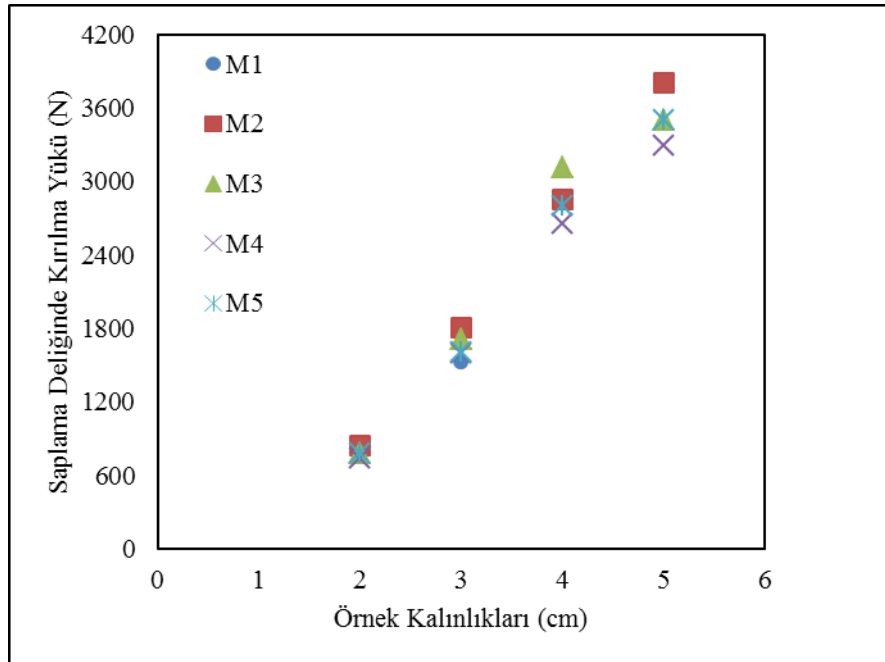


Şekil 5.4 Kireçtaşı grubu örneklerine ait Kırılma Yüğü – b_A değişimi.

5.3. Mermer Grubu Doğaltaşlar

5.3.1 Mermer Grubu – Kırılma Yüğü Değişim İncelenmesi

Mermer örneklerinde kalınlığa bağlı olarak elde edilen kırılma yüğü değişimi Şekil 5.5’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm mermer örneklerinin kalınlık-kırılma yüğü ilişkilerinin verildiği Şekil 5.5 incelendiğinde, mermer grubu örneklerinde, numune kalınlığı arttıkça kırılma yüğü değerinin arttığı gözlenmiştir. 5 cm kalınlığa sahip mermer örneklerinin kırılma yüğü değerlerinin 3296,4 N ile 3817,5 N arasında değiştiiği görülmektedir. Diğer kalınlıklardaki kırılma yüğüleri sırası ile, 4 cm kalınlığa sahip örneklerde 2658,5 N ile 3110,5 N, 3 cm kalınlığa sahip örneklerde 1522,8 N ile 1804,5 N ve 2 cm kalınlığa sahip örneklerde ise 735 N ile 922,8 N arasındadır. Şekil 5.5’e göre en yüksek kırılma yüğü değerine sahip mermer örneği Afyon Menekşe’dir. En düşük kırılma değerine sahip örnek ise Muğla Beyaz mermeridir. Muğla Beyazı’nın kırılma yükünün düşük olmasının nedeninin, kalsit minerallerinin iri taneli, özşekilli ve kristal sınırlarının düzgün olmasıyla ilişkili olduğu düşünölmektedir.

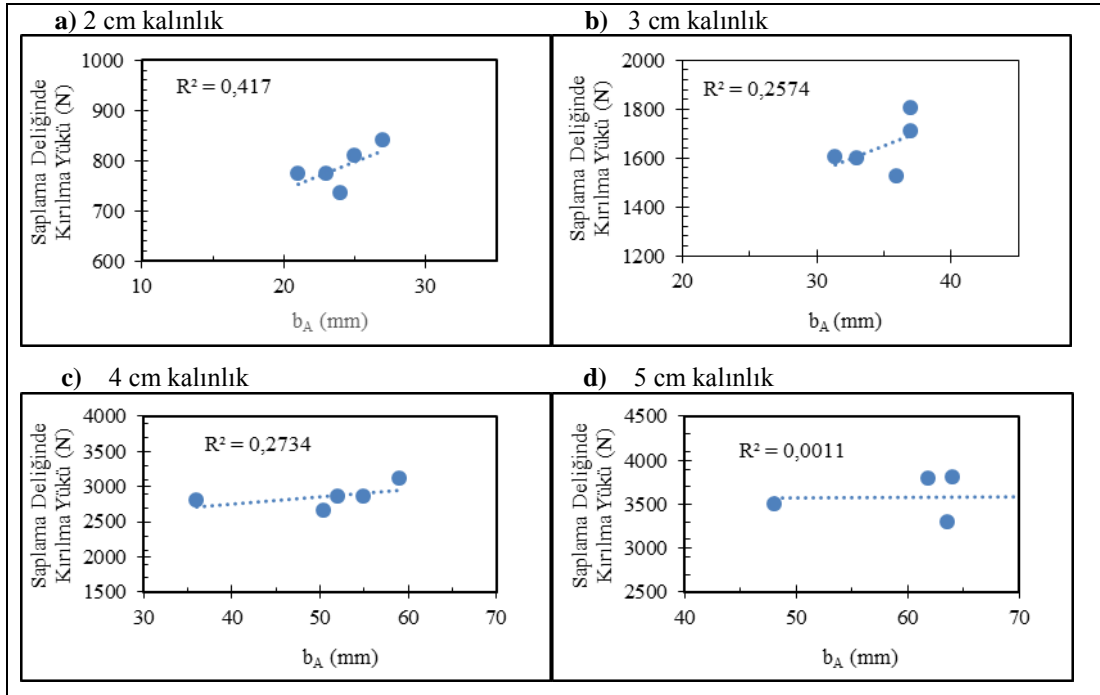


Şekil 5.5 Mermer grubu örneklerinde kalınlığa bağlı kırılma yüğü değişimi.

5.3.2 Kırılma Yüğü – Kenarın Kırığa Olan Mesafe (b_A) Değişiminin İncelenmesi

Mermer grubu örneklerine ait kırılma yüğü ile kırığın kenara olan en uzun mesafe (b_A) arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla basit doğrusal regresyon grafikleri Şekil 5.6'da verilmiştir. Kırığın kenara olan en uzun mesafe değerleri aynı kalınlıktaki örnekler için çok değişiklik göstermemiştir. Örneklerin kalınlığı arttıkça (b_A) değerleri de artmaktadır. Örneğin 2 cm kalınlıktaki örnek için (b_A) değeri yaklaşık 22 mm iken, 5 cm kalınlıktaki örnek için (b_A) değeri yaklaşık 60 mm'dir.

Buna bağlı olarak, deneysel bulgular dikkate alındığında, kırılma yüğü değeri ile kırığın kenara olan en uzun mesafesi arasında doğrusal bir ilişki olmadığı mermer grubu örnekleri için de söylenebilir. Bunun nedeninin, kırığın kenara olan en uzun mesafesindeki değişimlerin, örneklerin mineralojik ve petrografik özellikleri ile fiziko-mekanik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.6 Mermer grubu örneklerine ait Kırılma Yüğü – b_A değişimi.

5.4 Kırılma Yüğü ile Fiziko-Mekanik Özelliklerin İstatistiksel Değerlendirmesi

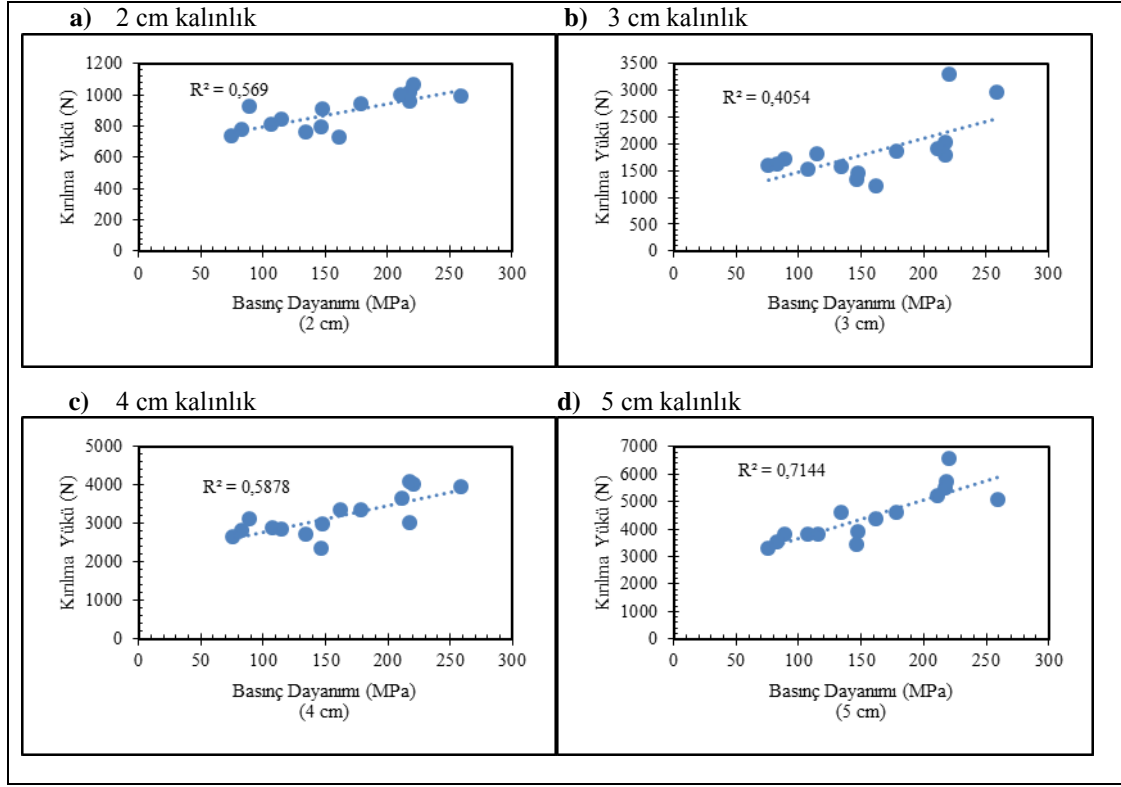
Çalışmada doğaltaşların kırılma yüğü değerlerinin yanında, mineralojik ve petrografik özellikler ve fiziko-mekanik özellikler de incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler basit regresyon analizleri ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulgular bölümünde yer verildiği fiziko-mekanik özelliklerden kırılma prensibine dayanan deney sonuçlarının yorumlanmasının uygun olacağı düşünölmüştür. Bu amaçla fiziko-mekanik testlerden; basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı, yoğun yük altında bükölme yüğü dayanımı tayini, sabit moment altında eğilme dayanımı tayini, nokta yükleme indeksi, knoop sertliği sonuçları değerlendirilmiştir. Diğer parametreler ile kırılma yüğü arasında anlamlı bir korelasyon değerinin olmadığı gözlenmiştir. Elde edilen korelasyon grafikleri Ek'ler de verilmiştir.

5.4.1 Kırılma Yüğü-Basınç Dayanımı İlişkisi

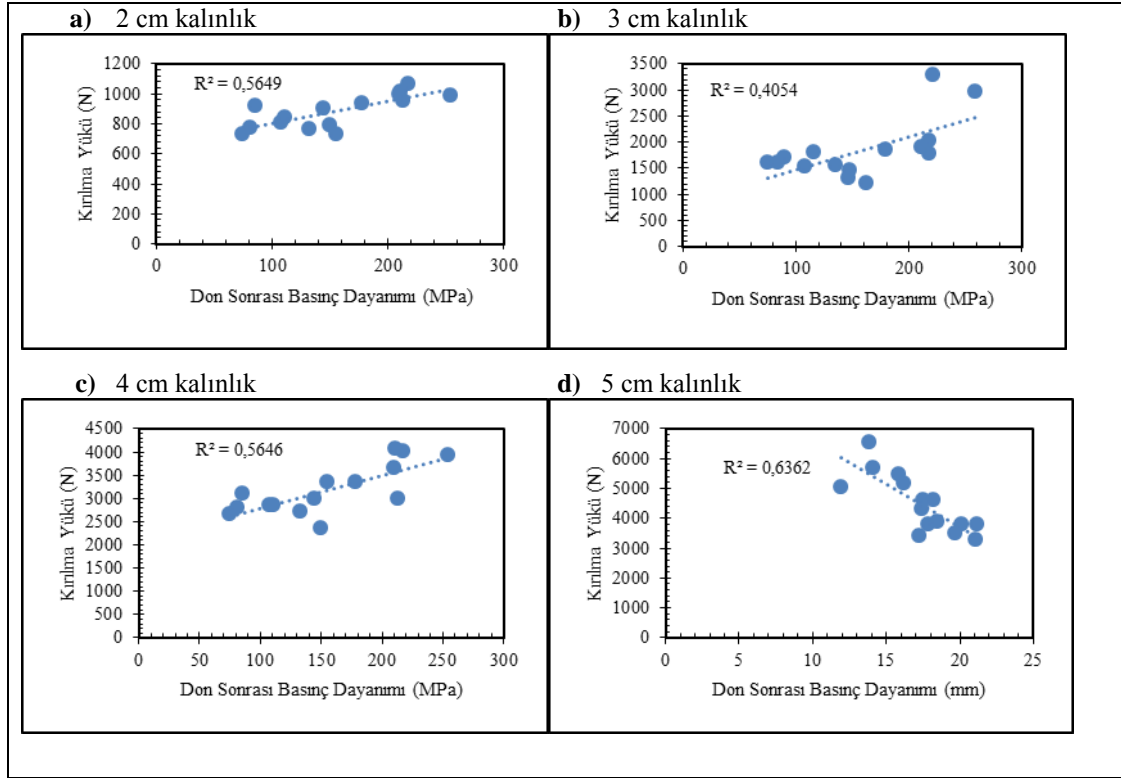
Doğaltaş örneklerinde kırılma yüğü ile basınç dayanımı arasındaki kalınlık değişimine bağlı ilişki göre şekil 5.7'de verilmiştir. Kırılma yüğü ile basınç dayanımı ilişkileri incelendiğinde, 5 cm kalınlığa sahip doğaltaş örneklerinde $R^2=0,71$ gibi doğrusal bir ilişkinin olduğu görölmüştür. Ancak, diğer kalınlık değerlerinde elde edilen R^2 değerlerinin lineer pozitif yönlü düşük ilişki sunduğu belirlenmiştir.

5.4.2 Kırılma Yüğü-Don Sonrası Basınç Dayanımı İlişkisi

Kırılma yüğü ile bağımsız değişkenlerden don sonrası basınç dayanımı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla basit doğrusal regresyonlar incelenmiştir (şekil 5.8). 5 cm kalınlığına sahip doğaltaş örneklerinde kırılma değeri ile don sonrası basınç dayanımı arasındaki ilişki incelendiğinde $R^2=0,70$ pozitif korelasyonlu lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Diğer kalınlık farklarında ise R^2 değerlerinin pozitif yönlü ancak düşük ilişki sunduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.7 Kırılma yükü- Basınç dayanımı ilişkisi.



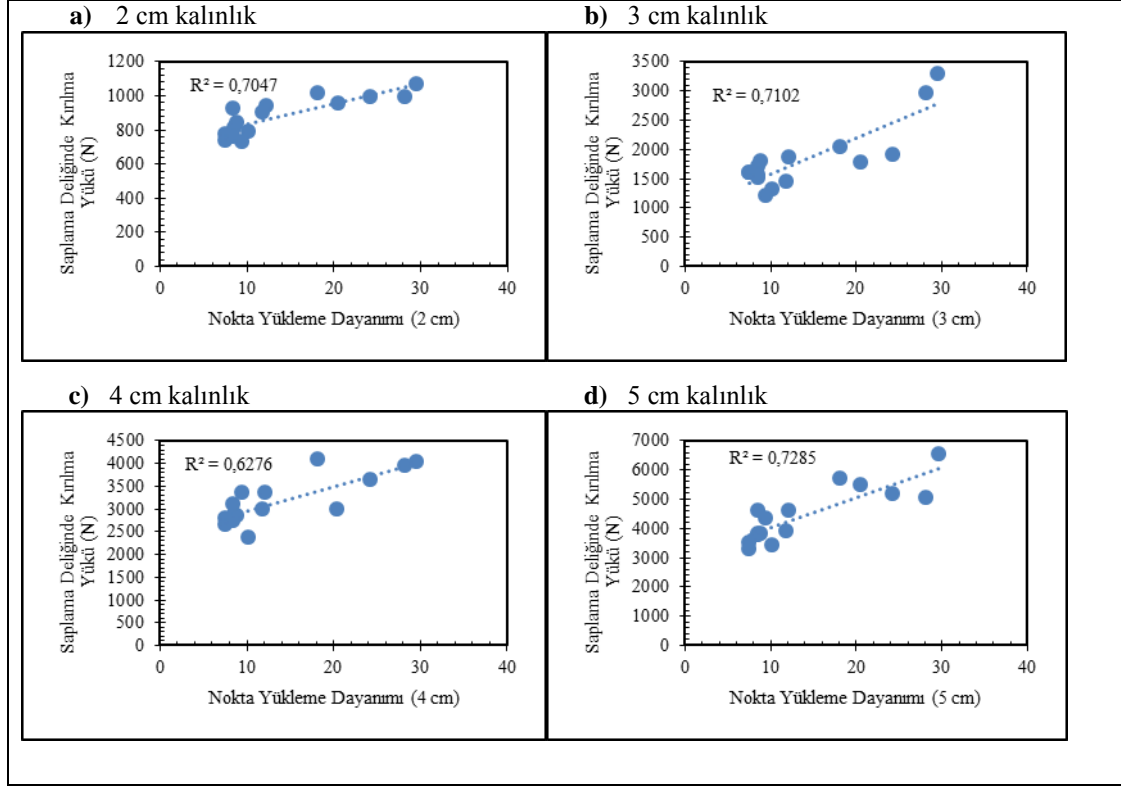
Şekil 5.8 Kırılma yükü- Don sonrası basınç dayanımı ilişkisi.

5.4.3 Kırılma Yüğü-Nokta Yükleme Dayanımı İlişkisi

Çalışmada kullanılan tüm örneklerin kırılma yüğü ile nokta yükleme dayanımı ilişkilerinin pozitif yönlü lineer bir ilişki sergilediğı görölmektedir (Şekil 5.9). Yine aynı şekilde, 5 cm kalınlığa sahip doğaltaş örneklerinin $R^2=0,73$ gibi yüksek korelasyonlu lineer bir ilişki sergilediğı görölmektedir. Nokta yük dayanım indeksi testi aslında kırılma yükünün belirlenmesindeki mekanizmasına benzerliğı dolayısıyla özel bir öneme sahiptir. Doğaltaşların nokta yük dayanım indeksi arttıkça kırılma yüğü doğrusal olarak artmaktadır. Bunun sebebi, malzeme üzerine doğrudan bir baskı kuvvetinin olmaması bu azalmaya neden olabilir.

5.4.4 Kırılma Yüğü-Yoğun Yük Altında Bükölme Dayanımı İlişkisi

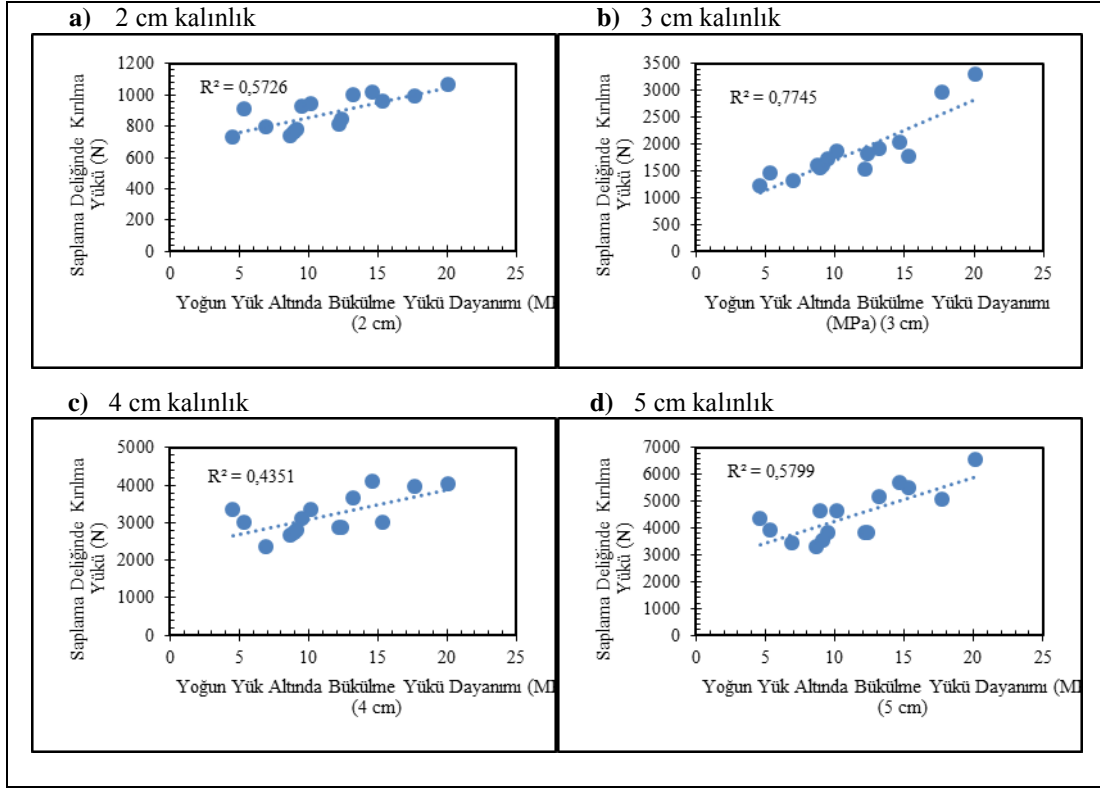
Doğaltaş örneklerinde kırılma yüğü ile yoğun yük altında bükölme dayanımı arasındaki ilişki kalınlık farkına göre Şekil 5. 10'de verilmiştir. Kırılma yüğü ile yoğun yük altında bükölme dayanımı ilişkileri incelendiğinde, 3 cm kalınlığa sahip doğaltaş örneklerinde $R^2=0,77$ gibi doğrusal bir ilişkinin olduğı görölmüştür. Ancak, diğör kalınlık değerlerinde elde edilen R^2 değerlerinin lineer pozitif yönlü düşük ilişki sunduğı belirlenmiştir.



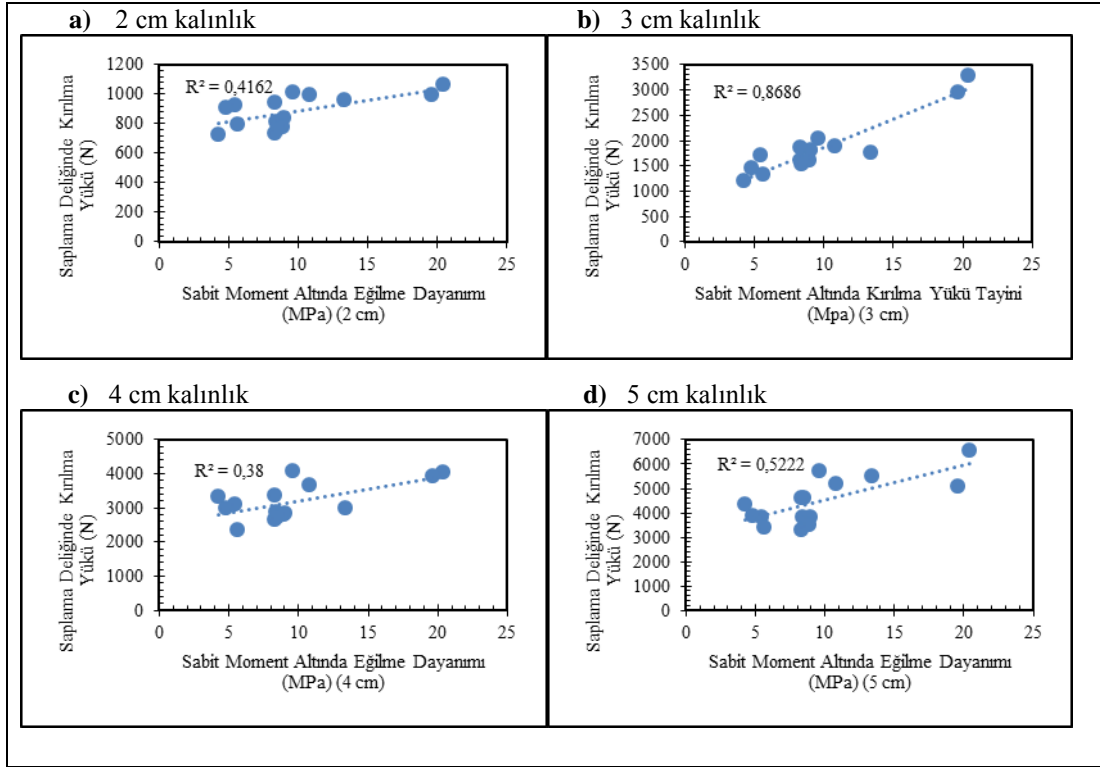
Şekil 5.9 Kırılma yükü - Nokta yükleme dayanımı ilişkisi.

5.4.5 Kırılma Yüklü-Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı İlişkisi

Bu çalışmada kullanılan doğaltaş örneklerinde kırılma yükü ile sabit moment altında eğilme dayanımı ilişkileri incelendiğinde, en yüksek lineer bir ilişkinin $R^2=0,87$ ile 3 cm kalınlığa sahip örnekte olduğu görülmüştür (Şekil 5.11). Bu özellik dikkate alındığında, söz konusu numune kalınlığında kırılma yükü ile sabit moment altında eğilme dayanımı arasında bir yaklaşımda bulunabileceği gözlenmiştir.



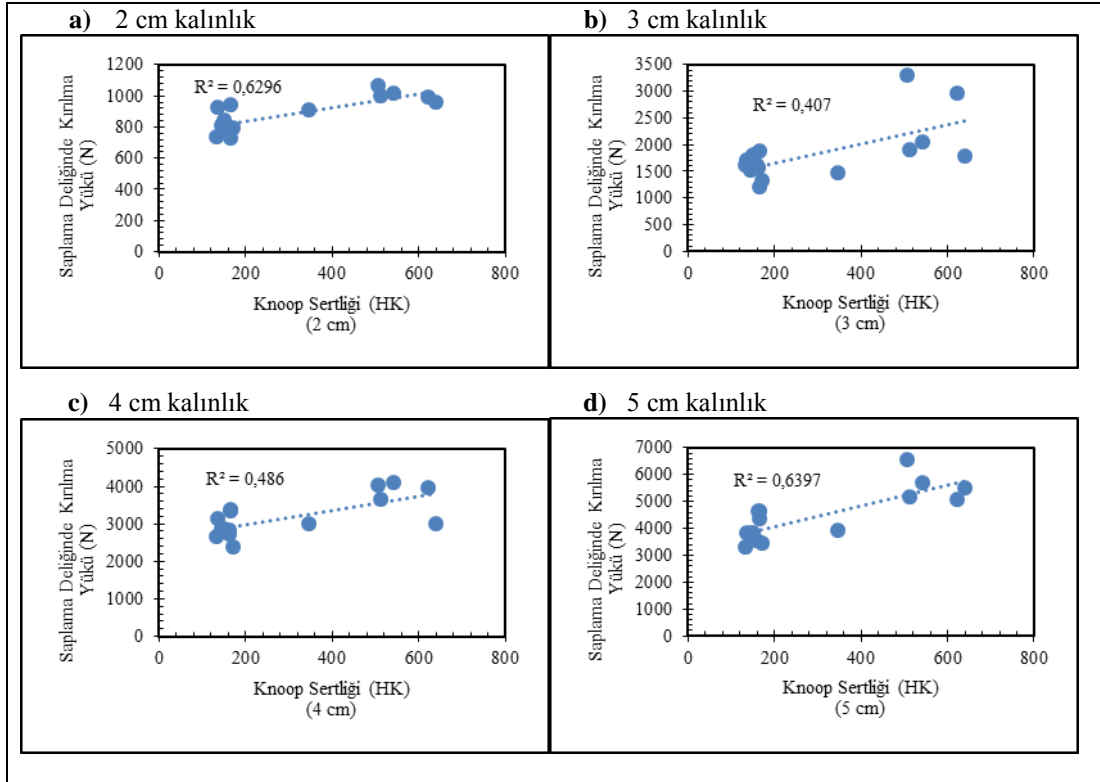
Şekil 5.10 Kırılma yükü - Yoğun yük altında bükülme dayanımı ilişkisi.



Şekil 5.11 Kırılma yükü - Sabit moment altında eğilme dayanımı ilişkisi.

5.4.6 Kırılma Yüğü-Knoop Sertliği İlişki

Şekil 5.12’de örneklere ait kırılma yüğü ile knoop sertliği ilişkileri incelendiğinde, en yüksek lineer bir ilişkinin $R^2=0,64$ ile 5 cm kalınlığa sahip örnekte olduğu görölmüştür. Şekil 5.12’deki grafikler dikkate alındığında, söz konusu numune kalınlığında kırılma yüğü ile knoop sertliği arasında azda olsa doğrusal bir ilişki olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.12 Kırılma yüğü – Knoop sertliği ilişkisi.

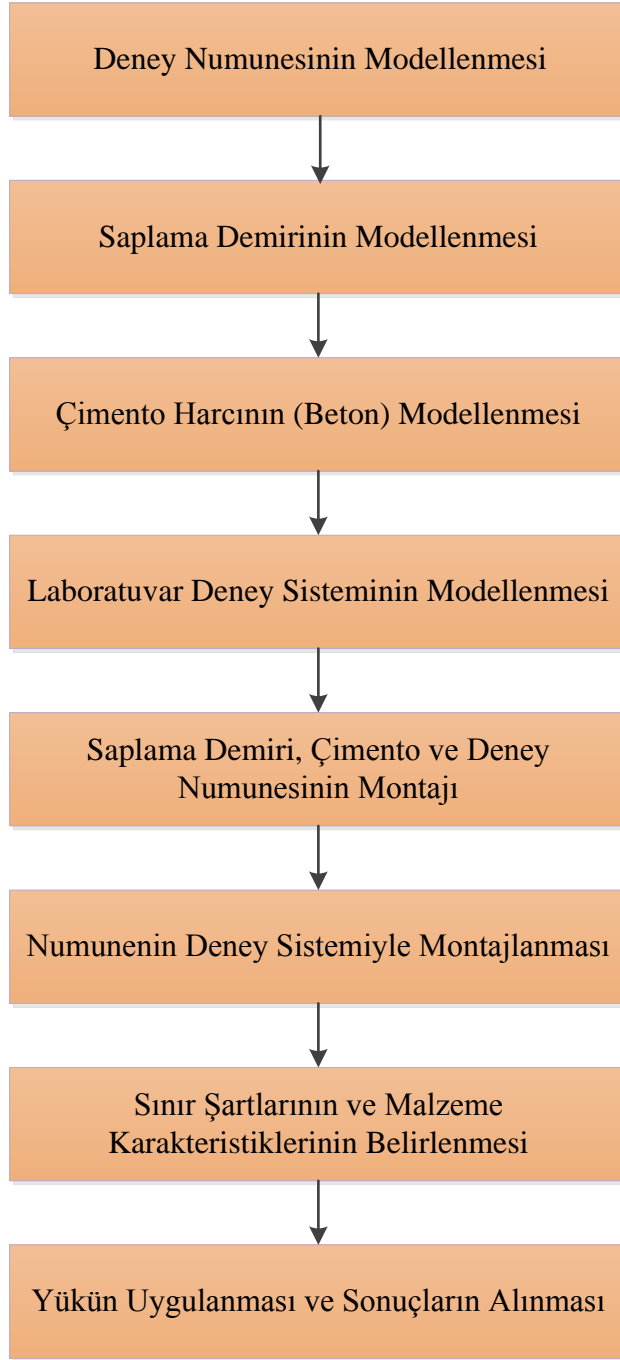
5.5 Sonlu Elemanlar Yardımıyla Kırılma Yüğü Değerlerinin İncelenmesi

Sonlu Elemanlar Yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan ilk kullanımı 1950'li yıllarda başlayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Bu yöntem karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde çok daha düşük maliyetli ve etkin çözüm yolları sunmaktadır.

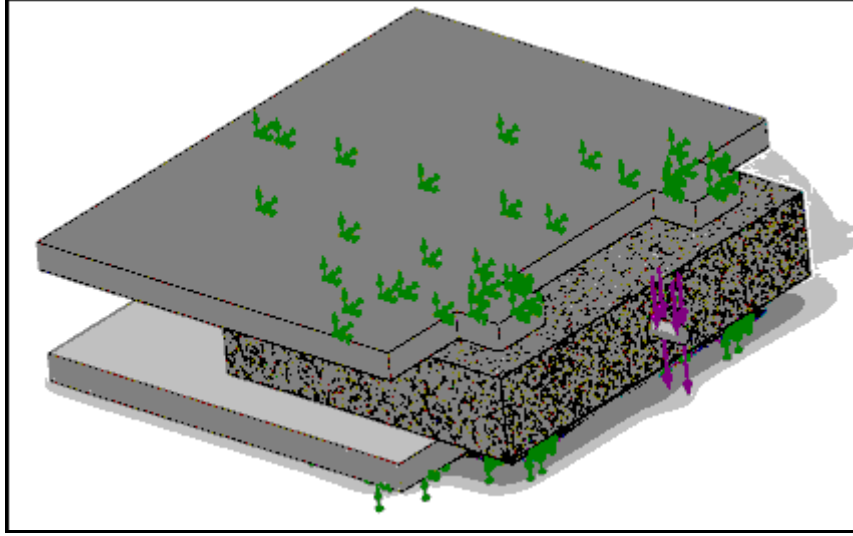
Sonlu elemanlar yöntemi, sürekliliğe sahip bir yapının çok sayıda elemana bölünerek incelenmesini mümkün kılmaktadır. Mühendislik problemlerinde, teorik hesaplamaların karmaşık yapıdaki modellere uygulanmasının zorluğundan dolayı, inceleme (kabul gören tolerans sınırları içindeki hassasiyete) modelin belirli sayıdaki elemanlara bölünmesi ile yapılır. Değişik yükleme durumlarındaki mukavemet analizleri incelenerek cephe kaplamada kullanılacak doğaltaş çeşitlerinin yönlendirilmesi yapılabilir. Bu sayede çeşitli yükleme ve ortam şartlarında emniyetli bir biçimde, kullanılacak örnekler belirlenebilir. Modelleme çalışmasında öncelikle kırılma yükünün tespit edilebilmesi için laboratuvardaki deney düzeneği ve numuneler SolidWorks programında üç boyuttu olarak modellenmiştir. Modelleme işlemi aşağıdaki akış şemasına (Şekil 5.13) göre yapılmıştır.

Bu yöntemin uygulanması için basit yaklaşım fonksiyonları oluşturulmalıdır. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle, katı mekaniği, sıvı mekaniği, akustik, elektromanyetizma, biyomekanik, ısı transferi gibi alanlardaki problemler çözülebilir. Ayrıca; karmaşık sınır koşullarına sahip sistemlere, düzgün olmayan geometriye sahip sistemlere, kararlı hal, zamana bağlı ve öz değer problemlerine, lineer ve lineer olmayan problemlere uygulanabilir (İnt.Kyn.5).

Bu tez çalışmasında, SolidWorks programı kullanılarak deney sisteminin modellemesi yapılmıştır (Şekil 5.14). Sistemin modellenmesinde ve analizinde TS EN 13364 standardında belirtilen malzeme özellikleri ve yükleme hızları göz önüne alınmıştır.



Şekil 5.13 Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerin akış şeması.



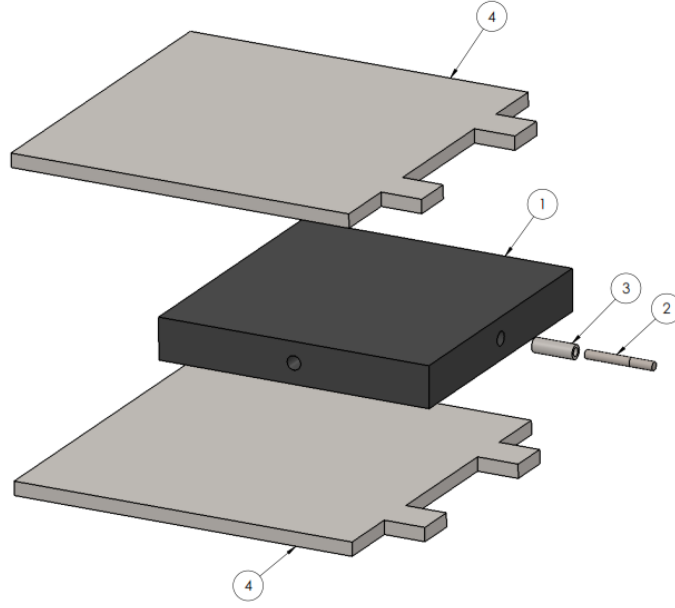
Şekil 5.14 SolidWorks programı kullanılarak deney sisteminin modellenmesi.

Deney numunesinin modellenmesi işlemi: Deney numunesinin modellenmesi TS EN 13364 standardında verilen ölçülerde 200mm x 200mm x 30mm (genişlik, uzunlu, kalınlık) olarak modellenmiştir. Saplama delikleri, merkezi diğer kenarlardan 100 mm uzakta, çeperleri ve iki yüzey arasındaki taşın kalınlığının 10 mm olacak şekilde modellenmiştir. Yine standardın verdiği ölçülere göre numune üzerinde delinen delik çapı 10 mm, delik derinliği ise 30 mm olarak modellenmiştir.

Saplamaların (Saplama demirlerinin) modellenmesi işlemi: Saplamalar EN 10088-1'e uygun 1,4571 tipinde paslanmaz çelik malzemeden, standart ölçüleri olan 6 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda modellenmiştir.

Çimento harcının (beton) modellenmesi işlemi: Çimento standartta belirtilen özelliklerine (CEM I 52,5 R) uygun olarak saplama deliği ve saplamalar arası boşluğu dolduracak hacimde modellenmiştir.

Laboratuvar deney sisteminin modellenmesi işlemi: Numuneleri x, y ve z eksenlerinde sabitlemek için kullanılan alt ve üst metal plakalar standartta belirtilen geometriye uygun olarak modellenmiştir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Modellenmiş deney sisteminin montajlanmamış görüntüsü; 1. Numune, 2. Saplama, 3. Çimento 4. Alt ve üst sabitleme tablaları

Saplama, çimento ve deney numunesinin montajı: Modelleme işlemleri tamamlanan saplama, çimento ve deney numunesi aralarında boşluk olmayacak şekilde birbirleriyle montajlanır. Bu montajlama işleminden sonra numune, saplama ve çimento harcından (beton) oluşan tek bir parça haline gelmektedir.

Numunenin deney sistemi ile montajı: Saplama ve beton ile montajlama işlemi tamamlanmış numune, alt ve üst metal plakalarla boşluk oluşmayacak şekilde montajlanmıştır. Bu montajlama işlemi plakaların numuneyi x, y ve z eksenlerinde hareket etmeyecek şekilde sıkıştırmasını sağlamaktadır.

Sınır Şartları ve malzeme karakteristiklerinin belirlenmesi: Modellenen malzemelerin birbirleri ile ilişkilendirirken deney şartları göz önünde bulundurulmaktadır. Buna göre parçaların montajlanmasında gerçek deney şartlarına uygun kontak yöntemleri kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemiyle kırılma yükü değerlerini elde edebilmek için, fiziko-mekanik özelliklerden basınç dayanımı, çekme dayanımı, özgül ağırlık, ses ilerleme hızı

yardımla dolaylı olarak elde edilen elastisite modülü ve poisson oranları değerleri sisteme tanımlanmıştır.

Yükün uygulanması ve sonuçların alınması: Yükleme işlemi, saplama üzerine düşey yönde ve numunenin kenarından 2 mm uzaklıkta uygulanmıştır. Uygulanan yük doğrultusunda analiz sonuçlarına göre sistem üzerindeki maksimum Von Mises eşdeğer gerilmeleri kayaç, çimento ve saplamanın birleştiği yüzeylerin alt ve üst çeperlerinde meydana gelmiştir. Tanımlanan yük, sınır değerleri ve malzeme karakteristiklerine göre sonlu elemanlar yöntemiyle oluşturulan deney düzeneğinde lejantlarda gösterilen maksimum Von Mises eşdeğer gerilme değerleri, malzemeye ait kompresyon değerinin üzerine ulaşması durumunda kayaç hasara uğramaktadır. Tablolardaki renk lejantları incelendiğinde en yüksek yük değerinin kırmızı, en düşük değer ise mavi renk olarak belirtildiği görülmektedir. Doğaltaşların mineralojik ve petrografik özelliklerindeki farklılıklardan dolayı delik çeperlerinde oluşan gerilme alanları farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, gerilme alanlarının bazı doğaltaşlarda bölgesel bir dağılım, bazı doğaltaşların ise noktasal bir dağılım sergilediği gözlenmiştir (Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4).

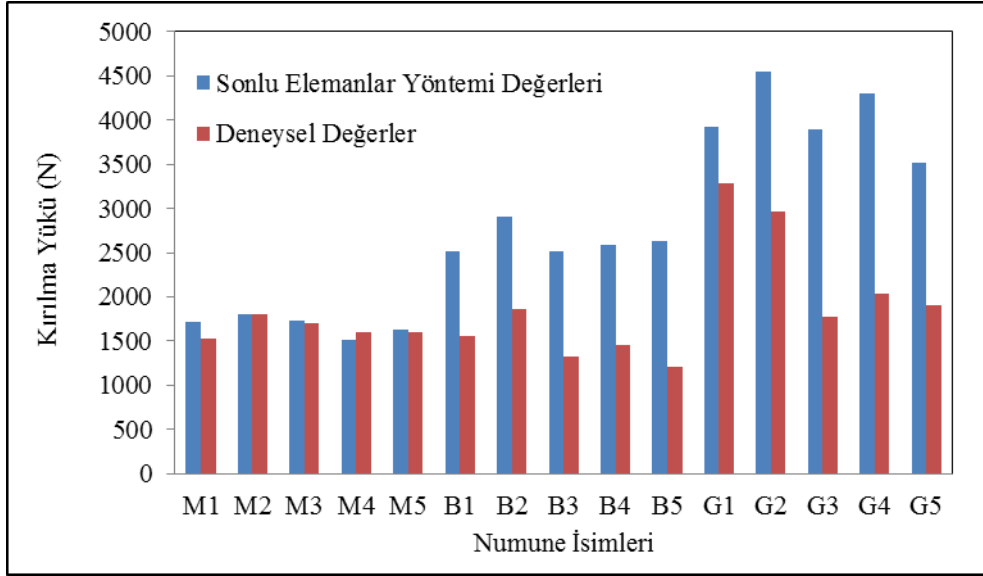
Bu çalışma kapsamında kullanılan doğaltaş örneklerine ait saplama deliğinde kırılma yükü değerleri dikkate alınarak sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sayısal değerler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneysel değerler ve sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen değerler.

Numune İsimleri	Deneysel Değerler	Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Elde Edilen Değerler
M1	1523	1517
M2	1804	1810
M3	1708	1730
M4	1600	1515
M5	1603	1625
B1	1556	2510
B2	1865	2905
B3	1318	2515
B4	1454	2505
B5	1206	2425
G1	3287	3925
G2	2961	4550
G3	1773	3895
G4	2033	3895
G5	1899	3510

Elde edilen veriler ile deney sonrası elde edilen verilere ait grafikler Şekil 5.16'de verilmiştir. Şekil 5.16 incelendiğinde, mermer grubu örneklerinde elde edilen deneysel değerler ile sonlu elemanlar ile elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Mermer grubu gerek kalsit minerallerinin öz şekilli olmasından gerekse diğer gruplara oranla karbonat dışı mineraller içermemesinden dolayı sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen değerlerde uyumluluk gösterdiği düşünülmektedir. Ancak kireçtaşı grubuna ait örnekler ile granit grubu örneklerinde farklılıklar tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise, gerek mineralojik-petrografik özellikler gerekse fiziko-mekanik özelliklerden dolayı farklılığın olabileceği, ayrıca seçilen örneklerin farklı bölgelerden temin edilmesinden dolayı değerler arasında sapmaların olabileceği düşünülmektedir.

Kırığın kenara olan en uzun mesafesinin (b_A), kırılma değeri ile doğrudan bir ilişkisi olmadığından, bu değer sonlu elemanlar yöntemiyle kırılma değerlerinin belirlenmesi esnasında kullanılmamıştır.



Şekil 5.16 Deneysel değerler-sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Afyon Şeker örneğinde yapılan modellemede, saplamanın delik çeperiyle temas ettiği alanlarda gerilmelerin bölgesel olarak yayıldığı görülmektedir. Aynı şekilde, Afyon Menekşe, Kaplan Postu, Muğla Beyazı ve Uşak Beyazı örneklerine ait modellemelere ait görüntüler incelendiğinde, bu doğaltaşların delik çeperlerinin alt ve üst kısımlarında yüksek gerilme dağılımı belirgin olarak görülmektedir. Bununla birlikte, Muğla Beyaz ve Afyon Menekşe örneklerine göre Uşak Beyaz ve Kaplan Postu örneklerinde noktasal dağılım daha yoğun bir şekilde gözlenmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 Mermer Grubu Örnekleri Saplama Deliginde kırılma yükünün sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi.

Numune Adı	Saplamada oluşan Gerilmeler	Kırılma sonrası delik çeperlerinde oluşan yük dağılımları
Afyon Şeker	<p>Model name: AFYON_SEKER_Rev00 Study name: Static_1715N-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometri) = 0.97 %/0.02 %</p>	<p>Model name: AFYON_SEKER_Rev00 Study name: Static_1715N-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1</p>
Afyon Menekşe	<p>Model name: AFYON_MENEKSE_Rev00 Study name: Static_1810Q-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometri) = 0.99 %/0.02 %</p>	<p>Model name: AFYON_MENEKSE_Rev00 Study name: Static_1810Q-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1</p>
Kaplan Postu	<p>Model name: KAPLAN_POSTU_Rev00 Study name: Static_1720N-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometri) = 1.22 %/0.02 %</p>	<p>Model name: KAPLAN_POSTU_Rev00 Study name: 1720N-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1</p>
Muğla Beyaz	<p>Model name: Mugla_Beyaz_Rev01 Study name: Static_1515N-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometri) = 1.85 %/0.04 %</p>	<p>Model name: Mugla_Beyaz_Rev01 Study name: Static_1515N-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1</p>
Uşak Beyaz	<p>Model name: USAK_BEYAZ_Rev00 Study name: Static_1625E-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometri) = 1.30 %/0.03 %</p>	<p>Model name: USAK_BEYAZ_Rev00 Study name: 1625E-Varsayilan-1 Plot type: Static nodal stress Stress1</p>

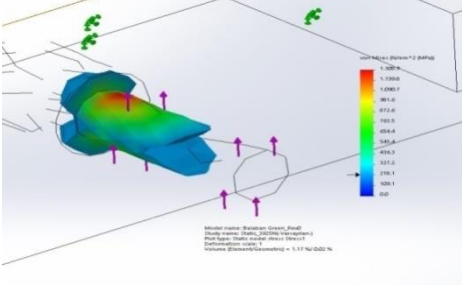
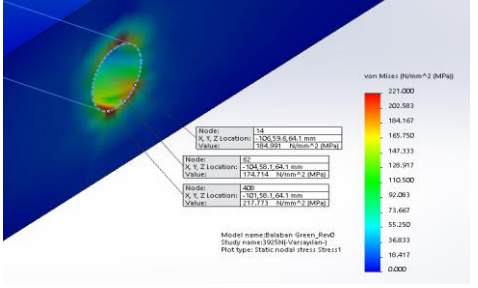
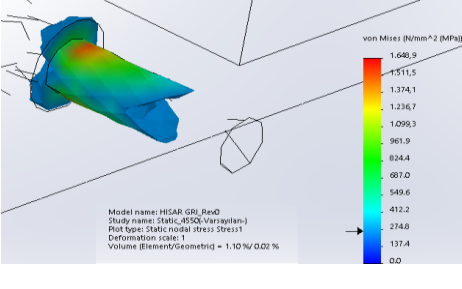
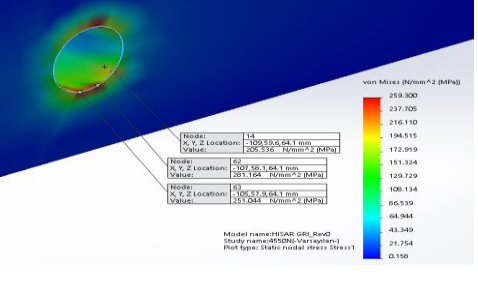
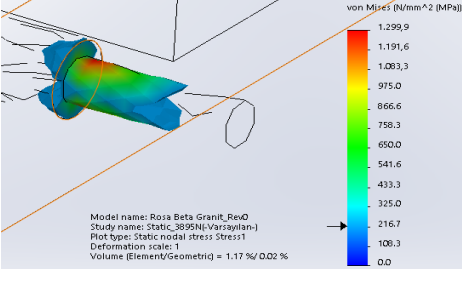
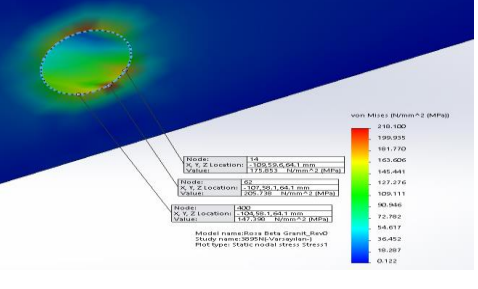
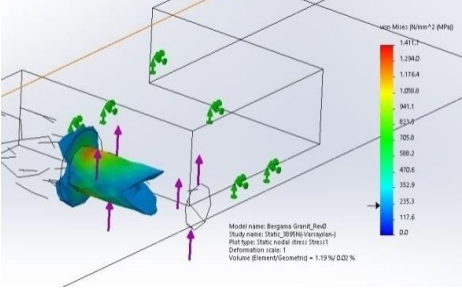
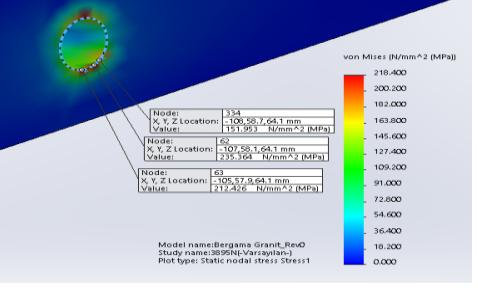
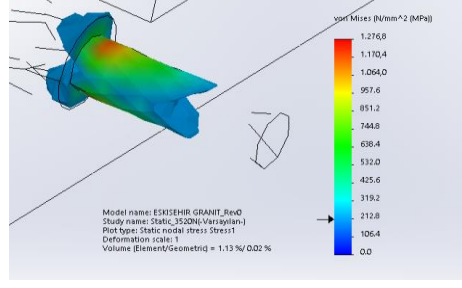
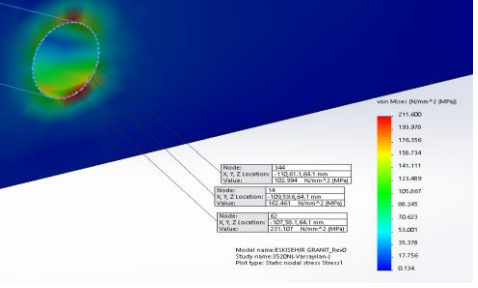
Yapılan modelleme sonucunda, genel bir eğilim olarak, bej grubu örneklerinde de delik çeperlerinin yüksek gerilmeler olduğu gözlenmiştir. Ancak, bej grubundaki bazı örneklerde bu genel eğilimin dışında davranışlar belirlenmiştir. Bilecik Bej, Light Emperor ve Silver Bej örneklerinde en fazla gerilmenin üst kısımda bölgesel olarak yayıldığı gözlenirken, Korkuteli Bej ve Burdur Bej örneklerinde gerilmenin delik çeperinin alt ve üst kısımlarında bölgesel olarak yayıldığı belirlenmiştir. Bu durumun, özellikle mineralojik ve petrografik incelemelerde elde edilen ikincil kalsit dolgulu çatlaklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Çizelge 5.3).

Granit grubu örneklerinde yapılan modelleme incelendiğinde ise, delik çeperinde oluşan gerilmelerin bölgesel olarak yayıldığı gözlenmiştir. Balaban Green, Hisar Gri, Roza Beta ve Eskişehir granit örneklerinde alt ve üst kısımlarda bölgesel gerilmenin olduğu görülmüştür. Ancak, Bergama Gri örneğinde en yüksek gerilmenin üst kısımda bölgesel olarak yayıldığı tespit edilmiştir. Deneysel bulgular dikkate alındığında, Bergama Gri örneğinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin diğer granit örneklerine göre daha düşük değerlere sahip olmasından dolayı nümerik analiz sonuçlarında farklılığa neden olduğu düşünülebilir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.3 Bej Grubu Örnekleri Saplama Deliğinde kırılma yükünün sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi.

Numune Adı	Saplamada oluşan Gerilmeler	Kırılma sonrası delik çeperlerinde oluşan yük dağılımları
Bilecik Bej	<p>Model name: BILECIK BEJ_Rev0 Study name: Static_2510(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometric) = 1.28 %/0.03 %</p>	<p>Model name: BILECIK BEJ_Rev0 Study name: Static_2510(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1</p>
Korkuteli Bej	<p>Model name: KORKUT ELI BEJ_Rev0 Study name: Static_2505(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometric) = 1.03 %/0.02 %</p>	<p>Model name: KORKUT ELI BEJ_Rev0 Study name: Static_2505(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1</p>
Burdur Bej	<p>Model name: BURDUR BEJ_Rev0 Study name: Static_2515(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometric) = 1.14 %/0.02 %</p>	<p>Model name: BURDUR BEJ_Rev0 Study name: Static_2515(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1</p>
Light Emperador	<p>Model name: LIGHT EMPERADOR_Rev0 Study name: Static_2505(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometric) = 1.19 %/0.02 %</p>	<p>Model name: LIGHT EMPERADOR_Rev0 Study name: Static_2505(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1</p>
Silver Bej	<p>Model name: SILVER BEJ_Rev0 Study name: Static_2505(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1 Deformation scale: 1 Volume (Element/Geometric) = 1.04 %/0.02 %</p>	<p>Model name: SILVER BEJ_Rev0 Study name: Static_2505(Varsayilan) Plot type: Static modal stress Stress1</p>

Çizelge 5.4 Granit Grubu Örnekleri Saplama Deliğinde kırılma yükünün sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi.

Numune Adı	Saplama Deliklerinde oluşan Gerilmeler	Kırılma sonrası delik çeperlerinde oluşan yük dağılımları
Balaban Green		
isar Gri		
Roza Beta		
Bergama		
Eskişehir Granit		

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada; farklı kökene sahip 15 adet doğaltaş türünün saplama deliğinde kırılma yükü değerleri araştırılmıştır. Ayrıca, doğaltaşların mineralojik-petrografik özellikleri, kimyasal bileşimleri ve fiziko-mekanik özelliklerinin kırılma yükü üzerindeki etkileri incelenmiş olup, çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Yapılan kırılma yükü deneyleri sonucunda, genel bir eğilim olarak, artan numune kalınlığına bağlı olarak kırılma yükü değerinin arttığı gözlenmiştir. Aynı kalınlığa sahip mermer ve granit örneklerine ait kırılma yükü değerleri birbirine yakın iken, kireçtaşı örneklerine ait kırılma yükü değerlerinde standart sapmanın daha yüksek olduğu görülmüştür.

Mermer grubuna ait örneklerde kalınlığa bağlı olarak elde edilen kırılma yükü değişimi incelendiğinde, yine bu grupta da, numune kalınlığı arttıkça kırılma yükü değerinin arttığı gözlenmiştir. Bu grupta en yüksek kırılma değerine sahip mermer örneği Afyon Menekşe, en düşük kırılma değerine sahip örnek ise Muğla Beyaz mermeridir. Muğla Beyaz mermerinin tüm kalınlık değerlerinde en düşük kırılma yüküne sahip olmasının nedeninin, kalsit minerallerinin iri taneli, özşekilli ve kristal sınırlarının düzgün olmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde bahsedildiği gibi iri taneli ve kristal sınırları düzgün olan örneklerin dayanım değerleri azalmaktadır. Bu grupta yer alan en düşük kırılma yükünün Muğla Beyaz örneğinde olması bu durum göz önüne alınarak değerlendirilebilir.

Kireçtaşı örneklerine ait kırılma yükü değerleri incelendiğinde, diğer örnek gruplarından farklı olarak aynı kalınlığa sahip örnek içerisinde oldukça farklı kırılma yükü değerleri elde edildiği görülmüştür. Kırılma yükü değerinde en düşük değer 2 cm ve 3 cm kalınlığında Silver Bej örneğinde, 4 cm ve 5 cm kalınlığında ise Burdur Bej örneğinde elde edilmiştir. Aynı kalınlığa ait örneklerde görülen farklı değerlerin kireçtaşı örneklerinin çatlaklı yapıya sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı kırılma yükü değerine ve çatlaklı yapıya sahip olmasından dolayı kireçtaşları ile

yapılacak cehpe kaplamalarında kalın plakaların kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Granitler silikat içerikli kayalar olduğundan dolayı daha masif yapıdadır. Bu nedenle granit örneklerine ait kırılma yükü değerleri, tüm kalınlıklarda mermer ve kireçtaşına göre daha yüksektir. Örneğin 5 cm kalınlıktaki granit örneklerinin ortalama kırılma yükü değeri 5670 MPa, 5 cm kalınlığındaki mermer örneklerinin ortalama kırılma yükü değeri 3580 MPa, 5 cm kalınlığındaki kireçtaşının kırılma yükü değeri 4172 MPa'dır. Bu nedenle granit örneklerinin kırılma yükü değerlerinin yüksek olması, bina cephe kaplamalarında granit örneklerinin seçiminde önem taşımaktadır.

Saplama deliğinde kırılma yükünün belirlenmesinin yanı sıra, numune yüzeyinde kırığın kenara olan en uzun mesafesi (b_A) ile delikten yüzeye olan mesafe (d_1) değerlerinin ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, artan kırılma yüküne bağlı olarak kırığın kenarına olan en uzun mesafe değerinin de arttığı belirlenmiştir. Ancak aynı kalınlığa sahip örnekler için kırılma yükü değerleri ile kırığın kenarına olan en uzun mesafe değeri arasında anlamlı bir ilişki görülmemekle birlikte, kalınlık arttıkça kırılma yükü değerleri ve kırığın kenarına olan en uzun mesafe değerleri arasında anlamlı bir ilişki ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada kullanılan örneklerinin kırılma yükü değerleri üzerinde mineralojik-petrografik ve kimyasal özelliklerinin etkisi değerlendirildiğinde, örneklerin tane boyutu dağılımları ve örneklerin bileşimindeki karbonat dışı minerallerin miktarı kırılma yükü üzerinde olumsuz yönde etkili olduğu gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçların istatistiksel değerlendirmesinde kırılma yükü ile fiziko-mekanik deneylerden basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, yoğun yük altında bükülme dayanımı ve sabit moment altında eğilme dayanım sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre, tüm örnek gruplarında kırılma yükü ile basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı arasında pozitif korelasyonlu lineer bir ilişkinin olduğu, yoğun yük altında bükülme dayanımı ve sabit

moment altında eğilme dayanım deneyleri ile kırılma yükü değeri arasında ise 3 cm'de yüksek korelasyonlu lineer ilişki bulunmuştur.

Cephe kaplamalarında kullanılacak plakalar binalara ek bir yük getirmektedir. Bundan dolayı plaka kalınlığının minimum olması istenmektedir. Tüm örnek gruplarının kırılma yükü dayanımları ve fiziko-mekanik dayanımları incelendiğinde granit grubu örneklerinin yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Bunun için granitler, mermer ve kireçtaşlarına göre cephe kaplamalarında daha düşük kalınlıklarda uygulanabilir. Yapılan bu çalışmaya ve literatür araştırmalarına göre cephe kaplamalarında granit ve mermer plakaların 2 cm ile 3 cm kalınlığa sahip olması yeterli görülmektedir. Çatlaklı yapıya sahip olmasından dolayı kireçtaşları ile yapılacak cephe kaplama uygulamalarında daha kalın plaka kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan doğaltaş örneklerine ait kırılma yükü değerleri ile modellemesi yapılan ve sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlar incelendiğinde, mermer grubu örneklerinde elde edilen deneysel değerler ile sonlu elemanlar ile elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, doğaltaşların kırılma yükünün ve kalınlık değerinin önceden belirlenmesiyle, bina cephe kaplamasında kullanılacak doğaltaşların seçiminde ve mimarların tasarıma yön vermesi açısından verimli olacağı anlaşılmıştır. Bu tür bir yaklaşım, özellikle uygulamada önemli yararlar sağlayacaktır. Buna göre, ileride yapılacak çalışmalarda, bu sonuçların bina kaplamalarında kullanılacak doğaltaşların seçiminde rehber olacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Arıkan, M. (1968). Mermer ve Mermercilik, Ankara Basımevi, Ankara.
- Camposinhos, R.S.,(2011). “Undercut anchorage in dimension Stone cladding”, *Construction Materials*, <http://dx.doi.org/10.1680/coma.11.00050>
- Calapkulu, F., Özkan, Ş.G. (2012). “Doğal Yapı Taşları ve Mermer Semineri”, 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi Bildiriler Kitabı, Afyonkarahisar.
- Çelik, M.Y.(2007). Mermer Jeolojisi Ders Notları, Afyonkarahisar, 1-9.
- Çelik, M.Y. (2004). Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, (Yayımlanmamış).
- Çelik, M.Y. (2003). Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri, Afyonkarahisar.
- Dal, M., Artık, K., (2008) “Geleneksel Mimaride Taş Alterasyonu”, VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyonkarahisar, 59-63.
- Duvara Doğal ve Yapay Taş Kaplama, (2010). İnşaat Teknolojisi, Megep Modülü, M.E.B., Ankara.
- Gökten, R.M., Yılmaz, N. (2006). Mermer Üretim ve İşleme Teknikleri. Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, (Yayımlanmamış).
- Görgülü, K. (1994). Bazı Mermer Ocaklarında (Isparta-Burdur-Sivas) İşletme Sistemlerinin İncelenmesinin ve Öncelikli Kaya Madde/Kütle Özellikleri ile İlişkilendirilmesi Araştırmaları. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 95.
- Görhan, G., Kürklü, G. (2012). “Duvarlarda Doğal ve Yapay Taş Kaplamalar”, 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi Bildiriler Kitabı, 639-646
- Gürani, Y., Canbolat, T.(2012). “Geçmişten Günümüze Mekan Ölçeğinde Doğaltaş Kullanımındaki Farklı Yaklaşımlar”, Doğal Yaşam Doğal Taş Sempozyumu, İstanbul.
- Hasol, D.(1988) Mimarlık Sözlüğü, 3, İstanbul, Yem Yayınevi.

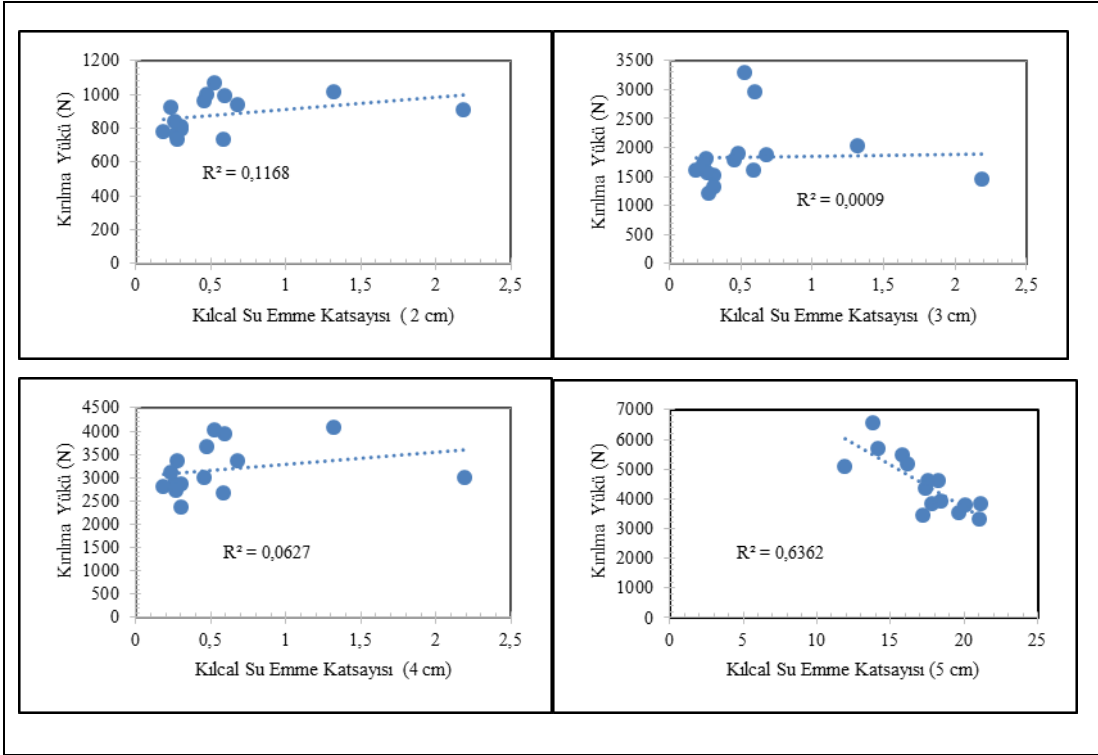
- Karaca, Z., Öztank, N. (2003).“Mermerin Mimari Tasarımı”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Afyonkarahisar, 379-386
- Karaca, Z., Öztank, N., Gökçe, V.M., Elçi, H., Pekin, A. (2012). “Mimaride Taş Kaplamaların Kullanım Ömrünü Etkileyen Faktörler”, 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi Bildiriler Kitabı. Afyonkarahisar, 721-726
- Kibici, Y. (2006). Doğaltaş Atlası. Kubilay Ofset Repro, İzmir.
- Koçu, N., Dereli, M.(2003).“Mermerin Günümüz Mimarisinde Kaplama (Duvar-Döşeme) Elemanı olarak Kullanılması ve Uygulama Sorunları”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyonkarahisar.
- Koçu, N. (1990). “Yapılarda Uygulanan Kaplama Hataları ve Nedenlerinin Analizi”, S.Ü. Fen Bil. Enst. (Yayınlanmamış Yük. Lis. Tezi),. Konya, 217.
- Kun, N. (2000). Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi., KKK: DPT, Madencilik Endüstriyel Hammaddeler (Yapı Malzemeleri), Özel İhtisas Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, İzmir.
- López Rivadulla, F.J. ve Alanso, P. (2010) Global Stone Congress 2010 Ventilated Façade Of Stone: Factors That Influence In The Colonization Of Granite
- Mas, A., Gutierrez, J., Gil, E., Gil, A., Galvan, A.(2013). “Design and construction recommendations to improveim permeability in rainscreen walls built with natural Stone coverings”, *Construction and Building Materials*, **42**: 1753–1761.
- Marini, P., Bellopede, R. (2009).“Bowling of marbleslabs: Evolution and correlation with mechanical decay”, *Construction and Building Materials*, **23**: 2599–2605.
- Öcal, A. D., Dal, M. (2012). Doğal Taşlardaki Bozulmalar, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, Kırklareli.
- Öztank, N., Türkmen, F. (2001).).“Mermer - Kireçtaşı ve Konglomeraların Yapılarda Kullanımını Denetleyen Parametreler”, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildirimleri Kitabı, Afyonkarahisar, 123-130
- Pires, V., Amaral, P.M., Rosa, L.G., Camposinhos, R.S. (2011). “Slate flexural and anchorage strength considerations in cladding design”, *Construction and Building Materials*, **25**: 3966–3971.
- Siegsmund, S., Ruedrich, J., Koch, A.(2008). “Marble bowing: comparative studies of three different public building facades”, *Environmental Geology*. **56**: 473–494.

- Silva, A., Brito, J., Gaspar, P.L., (2012). “Application of the factor method to maintenance decision support for Stone cladding”, *Automation in Construction*, **22**: 165–174.
- Spagnoli, A., Ferrero, A.M., Migliazza, M. (2011). “A micromechanical model to describe thermal fatigue and bowing of marble”, *International Journal of Solids and Structures*, **48**: 2557–2564.
- Tekmen T. (2006) “Kireçtaşlarından üretilen kilitli beton parke bloklarının mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 17-18.
- Tutuş, M. (2007). “Çukurova Yöresinde Bulunan Bazı Mermerlere Ait Fiziko-Mekanik Özelliklerin İstatistiksel Analizi”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 12-13.
- Yüzer, E., Angı, S., Güngör, Y., (2008). “Doğal Taş Deyince”, Granitaş Taş Kültürü Yayını, İstanbul, 9-12
- Yıldız, A. (2010). Endüstriyel Hammadde Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, (Yayımlanmamış).
- Yılğör, T. (2006). Doğaltaş Dış Cephe Kaplamalarında Ankrajlı Montaj Teknikleri.

7.1 İnternet Kaynakları

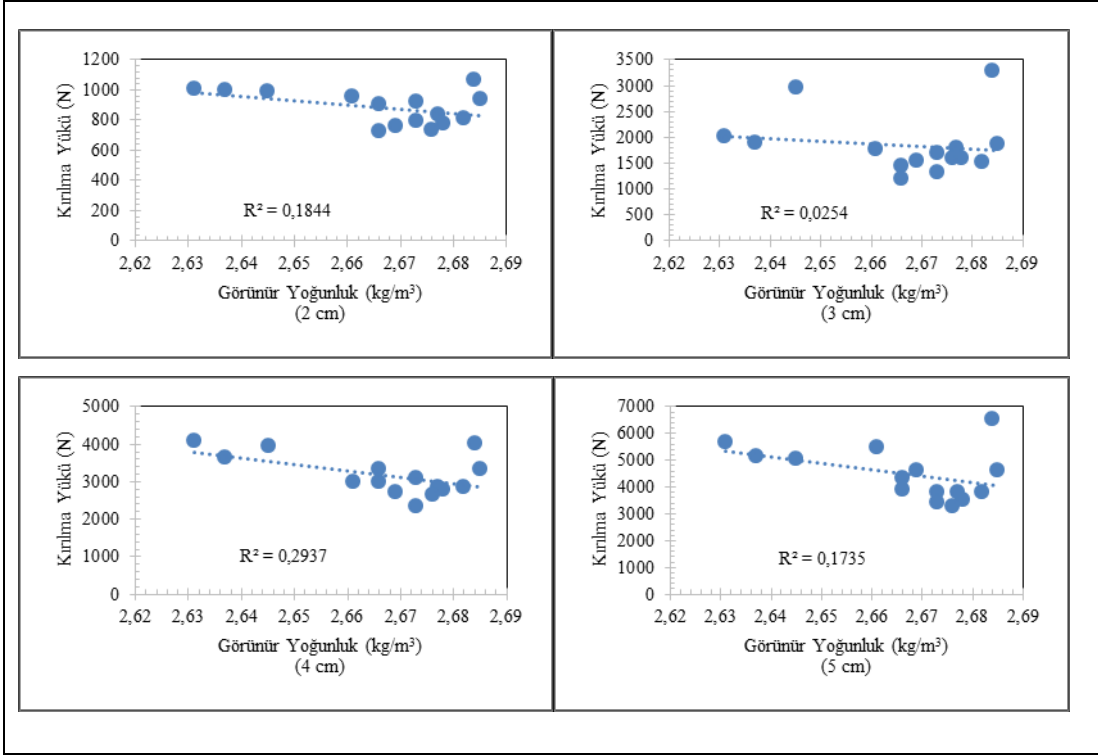
- 1 - http://v1.raf.com.tr/urun_1433_dogaltaslarda-renk-farki-olusturmayan-ardurapid-efekti.htmlErişim tarihi (12.03.2014)
- 2 - http://www.fixkim.net/htmldocs/urunler/tr/urundetay68/Cift_Bilesenli_Dekoratif_ve_Dogal_Tas_Yapistirma_H.html).....Erişim tarihi (24.03.2014)
- 3 - <http://www.mermerankraj.netolusturmayan-ardurapid-efekti.html> Erişim Tarihi (28.03.2014)
- 4 - <http://www.pinargranit.com/1/30/mekanik--cephe-ankraj-malzemesi/1.html> Erişim tarihi (03.04.2014)
- 5 - http://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_y%C3%B6ntemi Erişim tarihi (12.04.2014)

EK-1



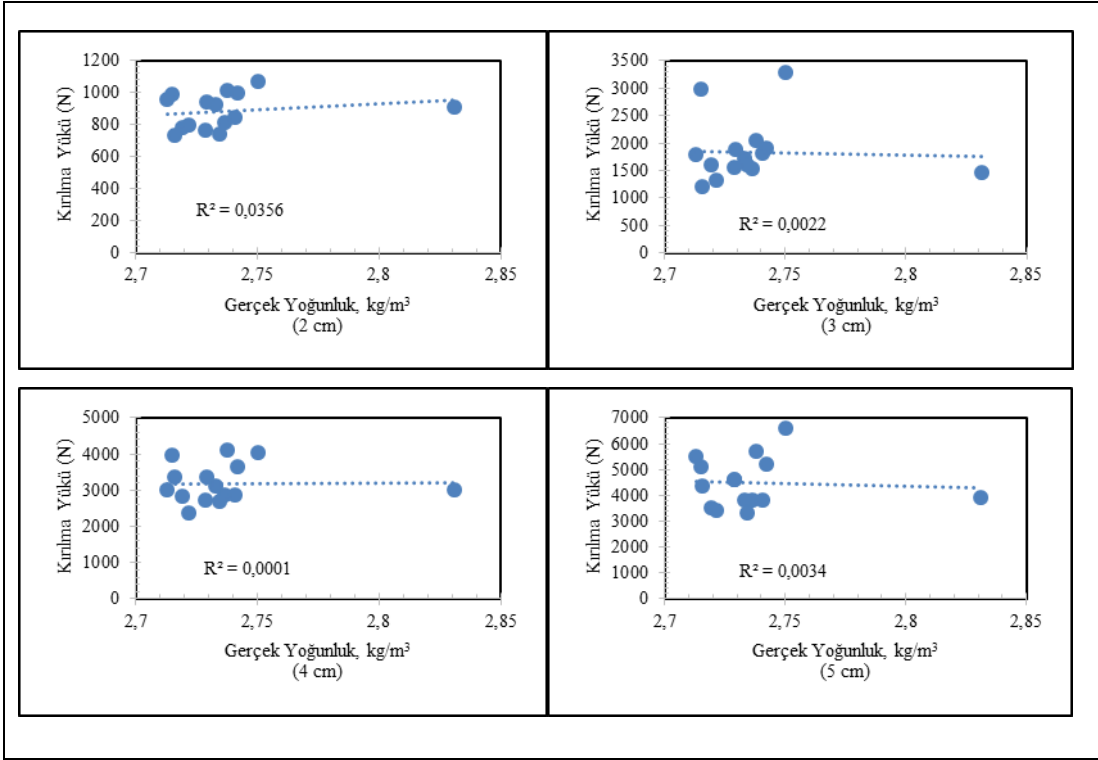
Kırılma yükü - Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini ilişkisi.

EK-2



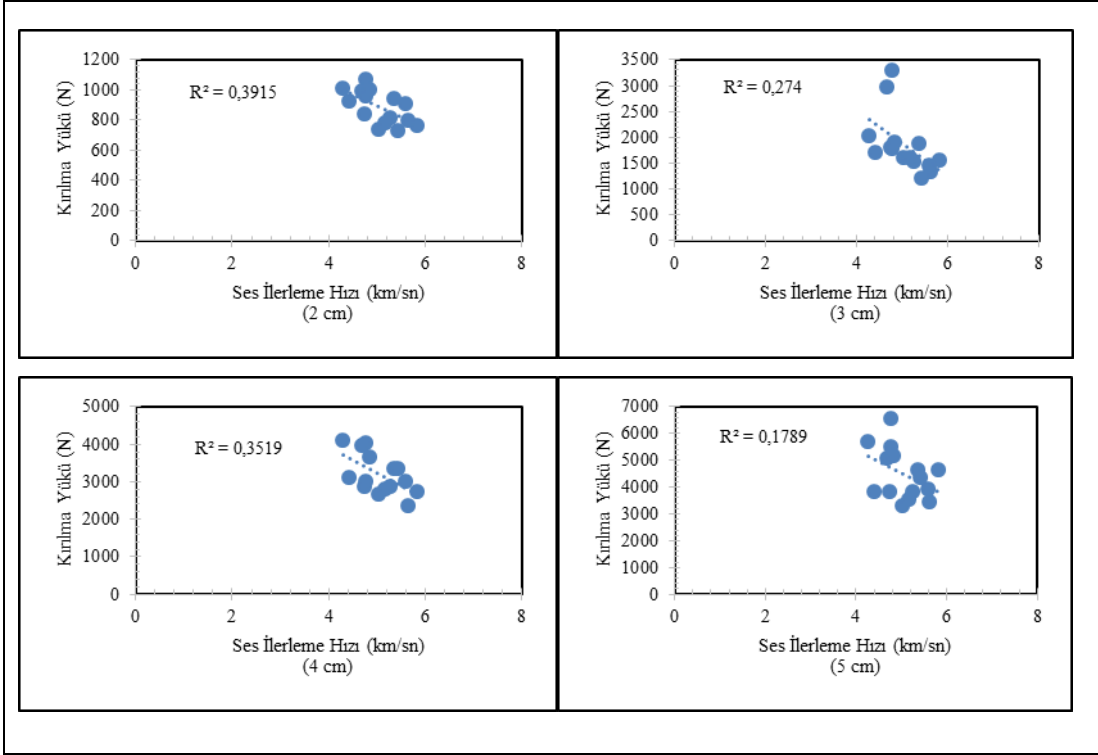
Kırılma yükü - Görünür yoğunluk tayini ilişkisi.

EK-3



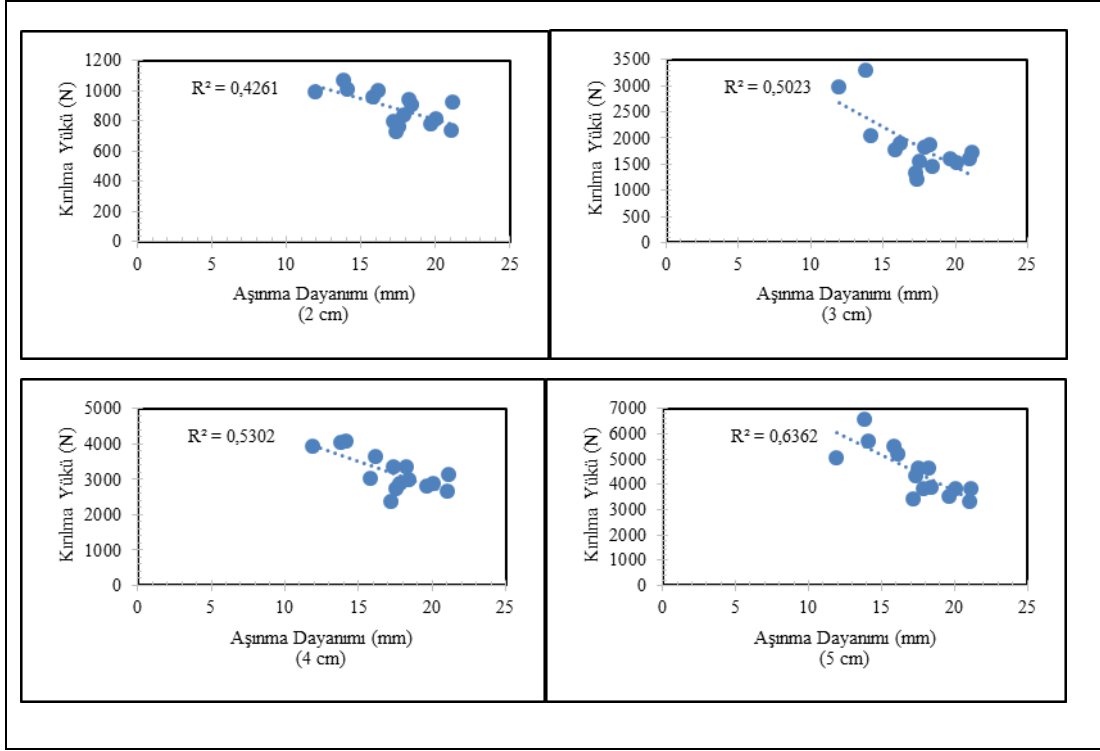
Kırılma yükü – Gerçek yoğunluk tayini ilişkisi.

EK-4



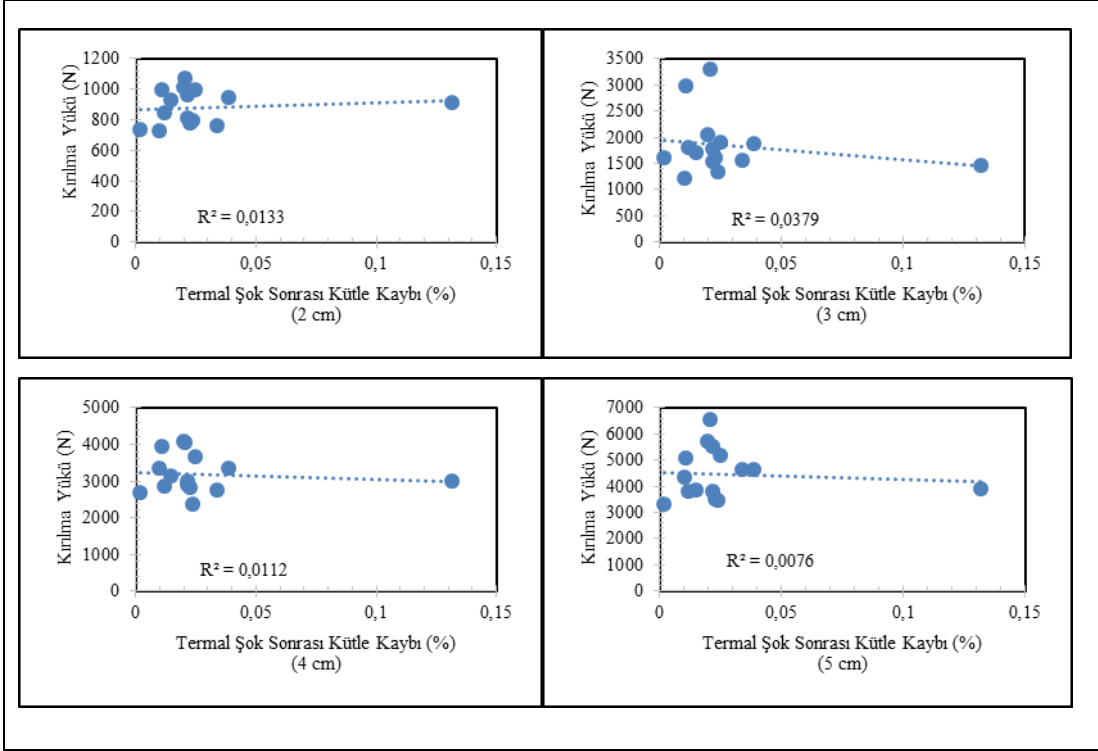
Kırılma yükü – Ses ilerleme hızı ilişkisi.

EK-5



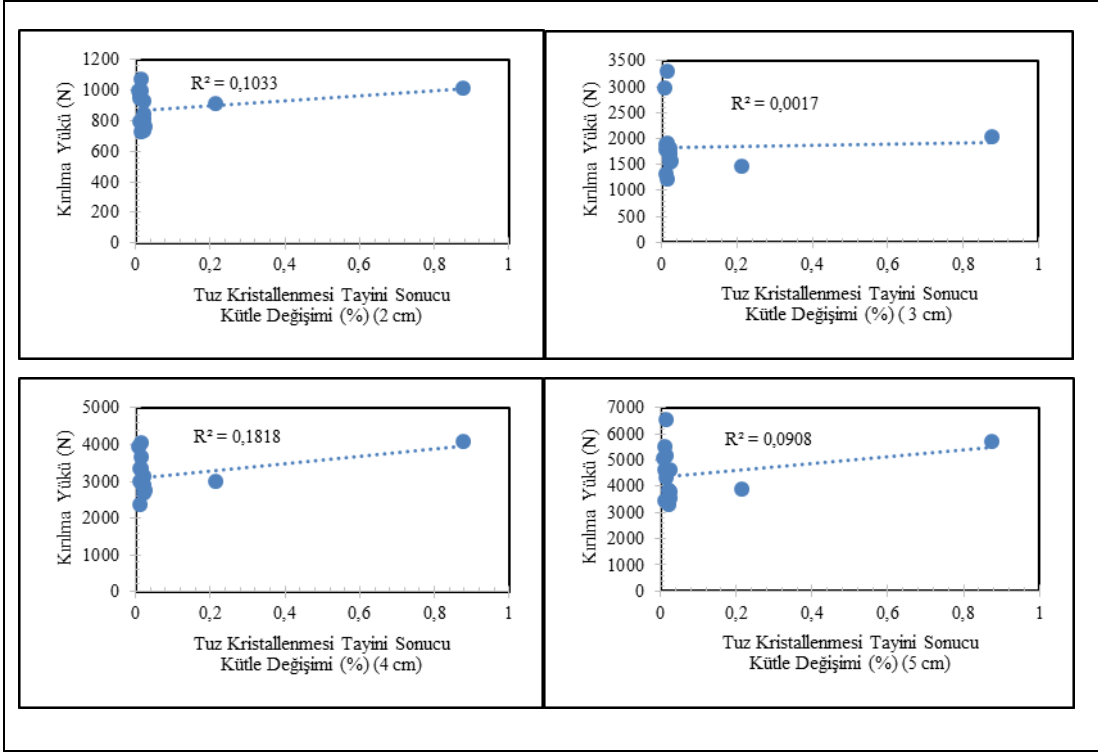
Kırılma yükü – Aşınma dayanımı ilişkisi.

EK-6



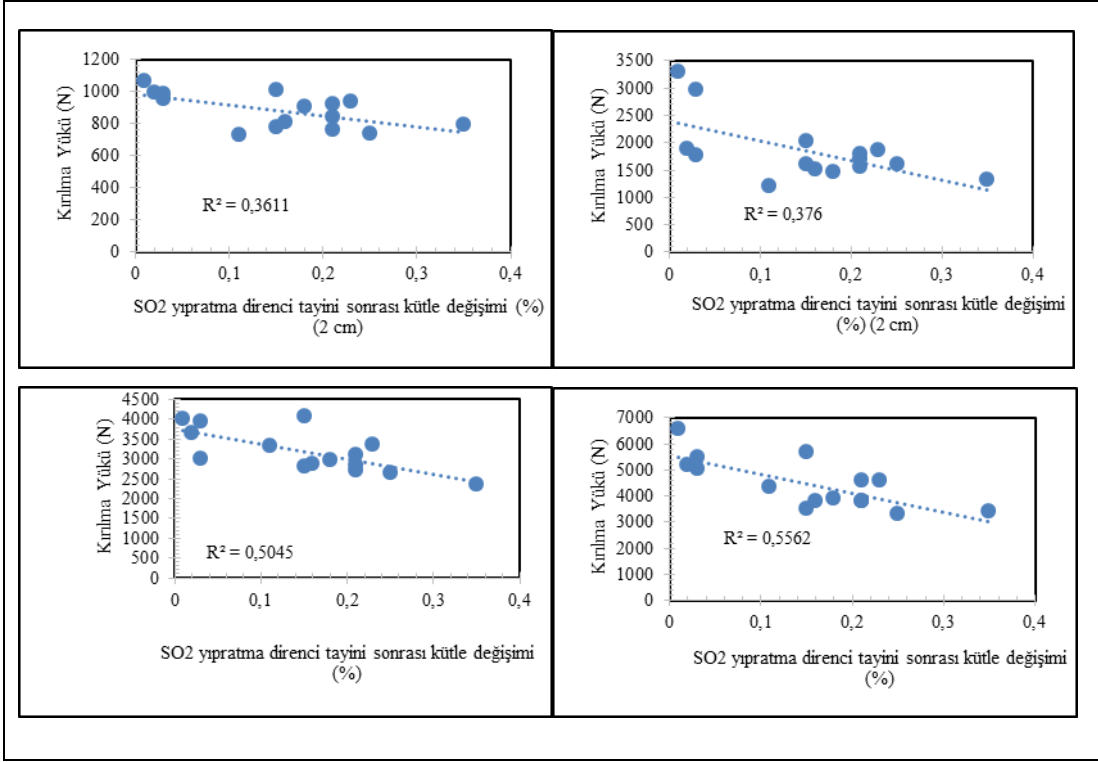
Kırılma yükü – Termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini ilişkisi.

EK-7



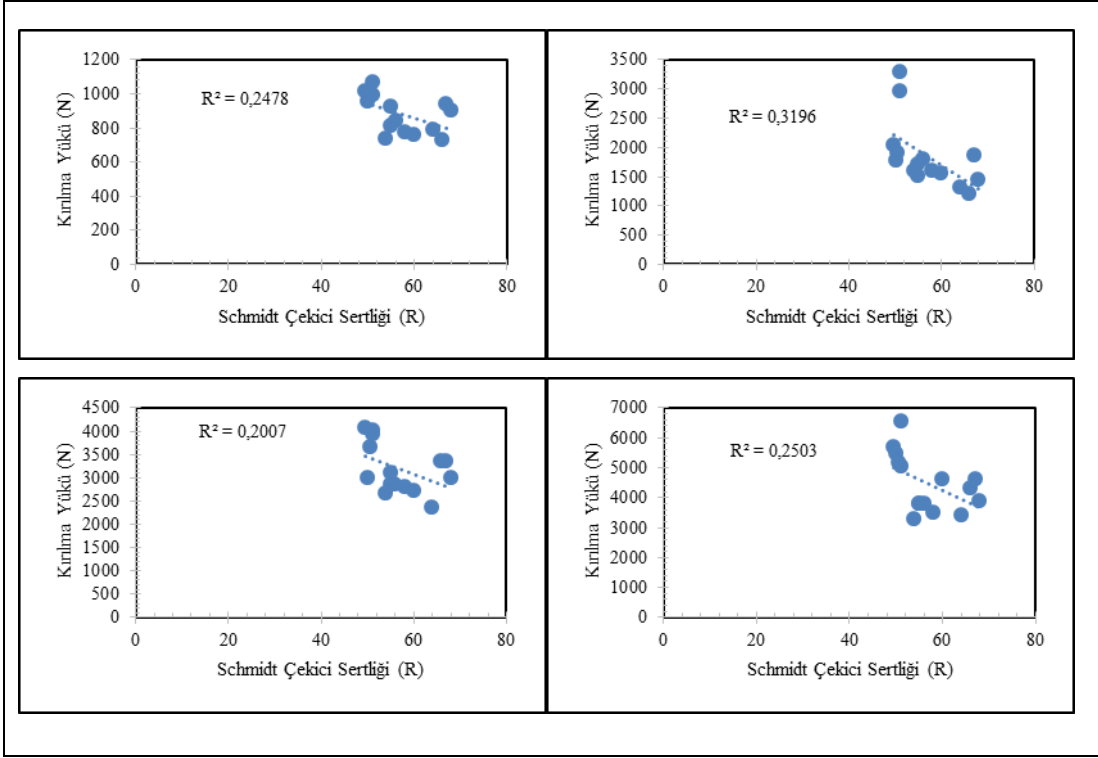
Kırılma yükü – Tuz kristallenmesine direncin tayini ilişkisi.

EK-8



Kırılma yükü – SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini ilişkisi.

EK-9



Kırılma yükü – Schmidt çekici sertlik ilişkisi.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gediz EMEK
Doğum Yeri : Sivas
Tarihi : 27.09.1981
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (e-posta) : gediz@aku.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Sivas Lisesi – Sivas (1996-2000)
Lisans : Çukurova Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi – Adana
(2000-2004)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi – Afyonkarahisar (devam ediyor)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Şentaş Madencilik (2006-2009)
: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği
Bölümü, Doğaltaş Analiz Laboratuvarı