



**KARBONATLI DOĞAL TAŞLARDA
DONMA-ÇÖZÜLMENİN
SAPLAMA DELİĞİNDE KIRILMA YÜKÜNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat KAPTANLAR

Danışman

Doç. Dr. Fatih BAYRAM

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2025

Bu tez çalışması 23. FEN. BİL.28 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARBONATLI DOĞAL TAŞLARDA DONMA-ÇÖZÜLMENİN
SAPLAMA DELİĞİNDE KIRILMA YÜKÜNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

Murat KAPTANLAR

Danışman

Doç. Dr. Fatih BAYRAM

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Murat KAPTANLAR tarafından hazırlanan “Karbonatlı Doğal Taşlarda Donma-Çözülmenin Saplama Deliğinde Kırılma Yüküne Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca **GG / AA / YYYY** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği / oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Fatih BAYRAM

Başkan : Prof. Dr. Melih İPHAR
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Erkan ÖZKAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Fatih BAYRAM
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

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

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

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

12 / 06 / 2025

Murat KAPTANLAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARBONATLI DOĞAL TAŞLARDA DONMA-ÇÖZÜLMENİN SAPLAMA DELİĞİNDE KIRILMA YÜKÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Murat KAPTANLAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih BAYRAM

Bu çalışmada, bina dış cephe kaplamalarında kullanılan karbonatlı doğal taşların soğuk bölgeler için don etkisindeki fiziksel dayanıklılıkları değerlendirilmiştir. Bu amaçla, doğal taşlar üzerinde TS EN 12371 "Dona Dayanım Tayini" ve TS EN 13364 "Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini" standartlarına uygun deneyler gerçekleştirilmiştir. Saplama deliğinde kırılma yüğü deneyine uygun şekilde numuneleri hazırlanmış üç farklı doğal taş, 5 ile 40 döngü arasında sekiz farklı kategoride donma-çözölmeye maruz bırakılmıştır. Donma-çözölme döngülerinden önce ve sonra olmak üzere kırılma yükleri ve her döngü için kırılma yük kayıpları hesaplanmıştır. Deney sonuçlarının analizinde, ilk etapta kırılma yük kayıplarıyla donma-çözölme döngülerinin grafiksel ilişkileri incelenmiştir. Sonraki aşamalarda ise, her doğal taş için kırılma yük kayıplarıyla deney parametreleri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiş, kırılma yük kayıplarının ileriye dönük tahminleri yapılmıştır. Doğal taşların dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği, donma-çözölme süreçleriyle kırılma yük kayıpları ve kullanım ömürleri hakkında değerlendirmeler ortaya konmuştur. Bu açıdan araştırma sonuçları, doğal taş kaplama malzemelerinin soğuk bölgelerde kullanımına yönelik önemli bir ön çalışma niteliğinde literatüre katkı sağlamaktadır.

2025, x + 65 sayfa

Anahtar Kelimeler: Karbonatlı doğal taşlar, donma-çözölme deneyi, saplama deliğı kırılma yüğü deneyi, kırılma yük kayıpları, regresyon analizi

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FREEZE-THAW ON THE BREAKING LOAD AT DOWEL HOLE IN CARBONATED NATURAL STONE

Murat KAPTANLAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih BAYRAM

The present study evaluated the physical strength of carbonated natural stones used in building facade cladding under the frost effect for cold regions. The tests were carried out by combining the TS EN 12371 (Determination of Frost Resistance) and TS EN 13364 (Determination of Breaking Load at Dowel Hole) standards. Specimens of three different natural stones prepared according to the breaking load at dowel hole test were subjected to freeze-thaw between 5 and 40 cycles in eight categories. The breaking loads were measured both before and after the freeze-thaw cycles, and the loss of breaking load for each cycle was calculated. In the analysis of the experimental results, the graphical relationships between the loss of breaking load and the freeze-thaw cycles were studied in the first step. In the subsequent steps of the analyses, regression analysis was conducted to ascertain the relationship between the loss of breaking load and the experimental parameters for each natural stone. Forecasts of the loss of breaking load were also made. Assessments were presented on the usability of natural stones as facade cladding materials, the loss of breaking load through freeze-thaw processes and their lifetime. In this respect, the research results contribute to the literature as a significant preliminary study for the use of natural stone cladding materials in cold regions.

2025, x + 65 pages

Keywords: Carbonated natural stone, freeze-thaw test, breaking load at dowel hole test, loss in breaking load, regression analysis

TEŞEKKÜR

Araştırmanın konusunun belirlenmesi, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Fatih BAYRAM'a teşekkür ederim. Ayrıca tezle ilgili görüş ve önerileri ile katkı sağlayan jüri üyeleri Prof. Dr. Melih İPHAR, Doç. Dr. Erkan ÖZKAN hocalarıma içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması 23. FEN. BİL.28 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Beni bu süreçte yalnız bırakmayan ve her türlü desteklerini hissettiren annem Saygı KAPTANLAR ve babam Alaattin KAPTANLAR'a çok teşekkür ederim.

Murat KAPTANLAR
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Çalışmaları	4
2. DOĞAL TAŞLAR.....	12
2.1 Doğal Taşların Sınıflandırılması.....	12
2.1.1 Magmatik Kayaçlar	13
2.1.2 Sedimanter Kayaçlar	14
2.1.3 Metamorfik Kayaçlar	15
2.2 Doğal Taşların Kullanım Alanları	16
2.2.1 Doğal Taşların Kaplama Malzemesi Olarak Kullanımı.....	17
2.3 Dış Cephe Kaplama Yöntemleri	18
2.3.1 Harçlı Yöntem.....	19
2.3.2 Ankrajlı Yöntem.....	22
3. MATERYAL ve METOT	26
3.1 Çalışmada Kullanılan Doğal Taşlar	27
3.2 Deneysel Çalışmalar	29
3.2.1 Numunelerin Hazırlanması	29
3.2.2 Donma-Çözülme Döngüleri	33
3.3 Donma-Çözülme Döngüleri Öncesi ve Sonrasında Saplama Deliğinde Kırılma Yükü Tayini	36
3.3.1 Kırılma Yüklerinin ve Parametrelerinin Belirlenmesi	39
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	41
4.1 Kırılma Yükü Kayıpları ile Donma-Çözülme Döngüleri İlişkileri.....	41
4.2 Donma-Çözülme Sonrası Kırılma Yükü Kaybının Belirlenmesine Yönelik	

İstatistiksel Çalışmalar.....	44
4.2.1 En İyi Alt Kümeler Regresyonu.....	46
4.2.2 LE Doğal Taşı İçin Regresyon Modeli	50
4.2.3. DR Doğal Taşı İçin Regresyon Modeli.....	52
4.2.4 CB Doğal Taşı İçin Regresyon Modeli	54
4.3 Donma-Çözülme Sonrası Kırılma Yüğü Kaybının İleriye Yönelik Tahminini İçeren İstatistiksel Çalışmalar	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
6. KAYNAKLAR.....	60



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\hat{\sigma}^2$	Tüm modelin tahmin edilen hata varyansı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
a	Saplama deliğinin oluşturulacağı yatay uzunluk
b	Numune kalınlığı
b_A	Delik merkezi ile kırığın kenarı arasındaki en büyük mesafe
BL	Kırılma yükü
BL _c	Donma-çözülme döngülerinden sonra ölçülen kırılma yükü
BL _o	Donma-çözölmeye tabî tutulmadan ölçülen kırılma yükü
cm	Santimetre
C_p	Mallows' C_p katsayısı
d	Numune kalınlığı
d_1	Delikten kırılmanın olduğu yüzeye olan mesafe
kg	Kilogram
kg/m^3	Kilogram bölü metreküp
kN	Kilonewton
L	Numunenin boyu
L _{BL}	Kırılma yükü kaybı
m^3	Metreküp
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
n	Toplam veri sayısı
N_c	Donma-çözülme döngü sayısı
p	Modelde kullanılan değişken sayısı
R	Korelasyon katsayısı
R^2	Regresyon katsayısı
s	Standart sapma
T	Sıcaklık
t_0	Başlangıç zamanı
v	Varyasyon katsayısı
$\bar{x}$	Ortalama
Y_i	Gerçek değer
$\hat{Y}_i$	Tahmin edilen değer
$\hat{Y}_{i(i)}$	Veri setinde her gözlemin birer birer ihmal edilerek n-1 gözlemle kurulan regresyon modelinden ihmal edilen gözlem parametreleri kullanılarak hesap edilen tahmini değer

Kısaltmalar

ANOVA	Analysis of variance
CB	Crema Bella
CEM	Avrupa Standardı EN 197-1'e göre tanımlanmış bir çimento türüdür
DR	Diana Royal
EN	Avrupa Normu

LE	Light Emperador
MAD	Ortalama mutlak sapma
MAPE	Ortalama mutlak hata yüzdesi
MSD	Ortalama karesel sapma
MSE	Ortalama karesel hata
RH	Bağıl nem
RSS _p	P sayıda parametre ile oluşturulan modelin artık kareler toplamı
SRI	Güneş Işığı Yansıtma İndeksi
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
VIF	Varyans şişme faktörü



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Harçlı yöntem (İnt. Kyn. 2).....	21
Şekil 2.2 Noktasal ankraj (İnt. Kyn. 4)	23
Şekil 2.3 Profilli ankraj (İnt. Kyn. 6)	24
Şekil 3.1 Çalışmada izlenen yöntem	27
Şekil 3.2 Anizotropi düzlemi bulunmayan numune için deney düzeneği (TSE 2003)..	30
Şekil 3.3 Anizotropi düzlemine dik yönde uygulanmış yüke ait numune için deney düzeneği (TSE 2003).....	30
Şekil 3.4 Anizotropi düzlemine paralel yönde uygulanmış yüke ait numune için deney düzeneği (TSE 2003).....	30
Şekil 3.5 Anizotropi düzlemine paralel yönde uygulanmış yüke ait numune için deney düzeneği (TSE 2003).....	31
Şekil 3.6 Numunelerin saplama deliği merkezlerinin belirlenmesi (TSE 2003).....	31
Şekil 3.7 Numuneyi yerinde tutmak için sıkıştırma cihazının alttan görünümü ve uygulanan ölçüler (TSE 2003).....	38
Şekil 4.1 LE kırılma yük kayıpları ile döngü sayıları ilişkileri.....	42
Şekil 4.2 DR kırılma yük kayıpları ile döngü sayıları ilişkileri	43
Şekil 4.3 CB kırılma yük kayıpları ile döngü sayıları ilişkileri.....	43
Şekil 4.4 LE doğal taşı için ölçülen ve tahmini kırılma yükü kaybı arasındaki ilişki....	51
Şekil 4.5 DR doğal taşı için ölçülen ve tahmini kırılma yükü kaybı arasındaki ilişki ...	53
Şekil 4.6 CB doğal taşı için ölçülen ve tahmini kırılma yükü kaybı arasındaki ilişki ...	55
Şekil 4.7 DR doğal taşı için trend analizi	56
Şekil 4.8 CB doğal taşı için trend analizi	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Jeolojik sınıflamaya göre doğal taşlar	13
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan doğal taşlar	27
Çizelge 3.2 Kullanılan doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	28
Çizelge 3.3 Deneyde uygulanan döngü parametreleri.....	36
Çizelge 3.4 Deney sonuçlarının ortalama, standart sapma ve varyasyon sonuçları.....	40
Çizelge 4.1 Kırılma yüklerinin yüzdesel kayıpları.....	41
Çizelge 4.2 LE doğal taşı için istatistiksel analiz girdi parametreleri	44
Çizelge 4.3 DR doğal taşı için istatistiksel analiz girdi parametreleri	44
Çizelge 4.4 CB doğal taşı için istatistiksel analiz girdi parametreleri	45
Çizelge 4.5 LE doğal taşı için en iyi alt kümeler regresyonu.....	48
Çizelge 4.6 DR doğal taşı için en iyi alt kümeler regresyonu	48
Çizelge 4.7 CB doğal taşı için en iyi alt kümeler regresyonu	49
Çizelge 4.8 Doğal taşlarda kırılma yükü kayıpları için en uygun model ve değişkenler	50
Çizelge 4.9 LE doğal taşı 5 nolu çoklu regresyon analizi istatistikleri	50
Çizelge 4.10 Kırılma yükü kaybı için kurulan regresyon denkleminin varyans analizi (LE)	51
.....	51
Çizelge 4.11 DR doğal taşı 11 nolu çoklu regresyon analizi istatistikleri	52
Çizelge 4.12 Kırılma yükü kaybı için kurulan regresyon denkleminin varyans analizi (DR).....	53
Çizelge 4.13 CB doğal taşı 5 nolu çoklu regresyon analizi istatistikleri.....	54
Çizelge 4.14 Kırılma yükü kaybı için kurulan regresyon denkleminin varyans analizi (CB)	54
Çizelge 4.15 MAPE değerlerinin yorumlanması	57

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 1.1 Dış cephe kaplamalarında meydana gelen düşmeler (Sousa ve Sousa 2019). 3	
Resim 2.1 Yerkabuğunda kayaçların oluşumu sırasında meydana gelen jeolojik süreçler (İnt. Kyn. 1).....	13
Resim 2.2 Harçlı yöntem (İnt. Kyn. 3).....	22
Resim 2.3 Noktasal ankraj (İnt. Kyn. 5)	24
Resim 2.4. Profilli ankraj (İnt. Kyn. 7)	25
Resim 3.1 Çalışmada kullanılacak doğal taşlara ait görüntüler	28
Resim 3.2 Doğal taş numune hazırlama süreci	32
Resim 3.3 Saplama delikleri yerleştirilmiş numuneler	33
Resim 3.4 Saplama yerleştirilen doğal taş numunelerinin etüv işlem süreci.....	34
Resim 3.5 Su doldurulacak kaba yerleştirilmiş numuneler.....	35
Resim 3.6 Donma-çözülme ekipmanına yerleştirilmiş numuneler	36
Resim 3.7 Saplama deliğinde kırılma yükü tayini cihazında sabitlenen numune görünümü	37
Resim 3.8 Numunelerin kırılma şekillerinin belirlenmesi	38

1. GİRİŞ

Farklı jeolojik kökene (sedimanter, magmatik, metamorfik) sahip, maden ocaklarından çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak bloklar halinde çıkarılıp kesme-işleme çalışmalarıyla birlikte son ürün halinde kullanıma sunulan, ticari anlamda getiri sağlanabilen kayalar doğal taş denmektedir.

Doğal taşlar, eski çağlardan beri süsleme ve yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. İnsanlığın başlangıcından günümüze kadar çeşitli medeniyetlerde doğal taşlar kullanılmış ve insanlığın adım adım ilerlemesine katkı sağlamıştır. Hatta bu ilişkinin kanıtı olarak, insanlık tarihindeki iki çağın adında da doğal taşların yer alması örnek gösterilebilir (Hartman 1987). Aswan granitlerini Eski Mısırlılar, bazalt taşlarını Hititliler, volkanik tüfleri Urartular, mermerleri ise Helenistik dönem uygarlıkları doğal taş olarak yoğun şekilde kullanmışlardır. Eski Yunan, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinden günümüze kadar gelen tarihi yapılara bakıldığında doğal taşların sıkça kullanıldığı görülmektedir (Çelik 2003). Yakın tarihe baktığımızda, başkent ilan edildikten sonra Ankara'nın kamu binalarında ve Anıtkabir'de çeşitli renklerde traverten, mermer, serpantin, Ankara andezitleri ve kireçtaşları kullanılmıştır. Günümüzde de inşaat sektöründen dekorasyona, heykelticilikten süs eşyalarına kadar pek çok alanda doğal taşlar kullanılmaktadır. Bu yönüyle doğal taşlar, beşikten mezara kadar kullanılan bir hammadde olarak değerlendirilebilir.

Doğal taşlar, bulundukları maden ocaklarından yarı şekilli veya şekilli bloklar halinde üretilmekte, çok çeşitli doğal taş işleme yöntemleriyle son ürün haline getirilmektedir. Böylelikle doğal taşlar çeşitli işlemlerden geçerek insanların kullanımına sunulmaktadır.

Doğal taşların kullanım alanlarına bakıldığında inşaat sektörü, sanatsal faaliyetler ve dekorasyon amaçlı kullanım ön plana çıkmaktadır. Merdiven basamakları, şömineler, mutfak tezgâhları, sütunlar, banyolar, heykeller, binaların iç-dış kaplamaları, yol ve kaldırım döşemeleri, duvar malzemesi, bordur taşı, çatı örtüsü, dalgakıran, baraj inşaatı gibi iç ve dış mekanlarda doğal taşlar kullanılmaktadır (Çelik 2003).

Doğal taşların kullanım alanlarının belirlenmesinde veya kullanılacak alana göre doğal taş seçiminde, kayaçların teknolojik özellikleri önem arz etmektedir. Bu kayaçların kullanımına yönelik teknolojik testlerin yapılması, kullanım ömürlerinin belirlenmesi açısından da önemlidir. Bu amaca yönelik pek çok araştırmacı çalışmış ve çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Alan bazında geliştirilen bu standartlara TS EN 1341 Dış zemin döşemeleri için tabii kaplama taşları - Özellikler ve deney metotları, TS EN 1343 Dış zemin döşemeleri için tabii bordür taşları - Özellikler ve deney metotları, TS EN 12057 Doğal taş mamuller - Modüler karolar- Gerekler, TS EN 12058 Doğal taş mamuller - Döşeme ve merdiven kaplama plakları - Özellikler örnek verilebilir ve bu standartlar TS EN temel standartlar olarak kullanılmaktadır. Bu standartlardan çeşitli teknolojik özelliklere bağlı olarak bazı alt standartlar da oluşturulmuştur.

Özellikle dış cephe kaplaması olarak doğal taş kullanımında, teknolojik özelliklerin belirlenmesi ve kullanıma yönelik kayaç davranışlarının tespiti önemlidir. Bu davranışlara göre dış cephe kaplamalarının kullanım ömürleri de değişebilmektedir. Dış cephe kaplamalarında doğal taşların kaplama malzemesi olarak kullanılması için çeşitli montaj yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden öne çıkanları mekanik montaj ve harçlı kaplama yöntemleridir. Çeşitli duvar tiplerine ve proje özelliklerine göre mekanik montaj yöntemleri bulunmaktadır. Ankraj adı verilen paslanmaz çelik veya galvanizden üretilmiş kanca sistemleri ile doğal taş kaplamalarının bina yüzeyine tutturulması, mekanik montaj yönteminin genel özelliğidir (Karaca vd. 2012). Harçlı kaplama yönteminde ise çimento veya yapıştırıcı ile kaplamalar duvara tutturulur. Yaygın olarak kullanılan ankrajlama yönteminde doğal taşları kancada askıda tutan, kaplamalara yerleştirilen saplama adı verilen metal çubuklardır. Doğal taş kaplamalarına yerleştirilen saplamaların kullanım ömürleri boyunca sağlam bir şekilde işlev görmesi ve doğal taşın da saplamaların yerleştirildikleri deliklerde herhangi bir deformasyon ve yenilme olmadan ayakta kalması gerekmektedir. Dolayısıyla, özellikle dış cephe kaplamalarında saplama deliğindeki kırılma yükünün belirlenmesi kullanılan doğal taşlar için önemlidir. Saplama deliğinde kırılma dayanımının ölçülmesinde de TS EN 13364 Saplama Deliğinde Kırılma Yükünün Tayini standardı kullanılmaktadır.

Dış cephe kaplamaları, yılın belli dönemlerinde farklı sıcaklıklar, donma-çözülme, asit yağmurları gibi dış faktörlere maruz kalmaktadır. Bu maruziyetler, özellikle dış cephe ankrajlama yöntemi kullanılan doğal taşların kaplamalarında bozulmalara, deformasyonlara ve kırılmalara, aynı zamanda kullanılan saplamaların dayanımlarının düşmesine neden olmaktadır. Donma-çözülme olayının çok görüldüğü soğuk bölgelerde yapılan dış cephe kaplamaları, yıl içerisinde çeşitli donma-çözülme döngülerine uğradığından daha kısa sürelerde kullanım ömürlerini yitirmektedir.

Dış cephe kaplamalarında önemli bir teknolojik özellik olan saplama deliğindeki kırılma yükünün donma-çözülme sonrasında azaldığı bilinmektedir. Bu ve benzeri nedenlerle (sıcaklık, asit yağmurları vb.) dayanımın azalması ile birlikte özellikle dış cephe doğal taş yüzey kaplamalarının düşmesi şeklinde kazalar meydana gelmektedir. Bu kazalar sonucu yaralanma, ölüm ve maddi kayıplar oluşmaktadır. Resim 1.1’de ankrajlama yöntemiyle yapılan dış cephe kaplamasında gerçekleşen düşmeler verilmiştir.



Resim 1.1 Dış cephe kaplamalarında meydana gelen düşmeler (Sousa ve Sousa 2019)

Dış cephe kaplamalarında meydana gelebilecek bu tür kazaların önüne geçilebilmesi için, belli bir dış etken maruziyeti sonrasında kaplamaların saplama deliklerindeki kırılma yüklerinin belirlenmesi önemlidir. Özellikle donma-çözülme sonrasında saplama deliği dayanım değişimlerinin izlenmesi gereklidir. Bu değişimler gözlenerek saplama deliğinde kırılma yükünün istenilen seviyenin altına düşmesinden önce, dış yüzey kaplamalarında yapılması gereken bakım zamanları planlanabilir. Böylece yüzey kaplamalarının düşmesi ile oluşan kazalar önlenabilir.

1.1 Literatür Çalışmaları

Yapılan çalışmada, dış cephe kaplaması olarak kullanılan kireçtaşı doğal taş numunelerinin donma-çözülme döngüleri sonrasında saplama deliklerinin dayanımlarındaki değişimlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. İlgili literatür incelendiğinde, doğal taşların donma-çözülme sonrası dayanımları, donma-çözülme mekanizmaları, bunların kayaç özellikleriyle ilişkileri konularında oldukça fazla çalışma bulunduğu görülmektedir. Son yıllarda bu konular dünyada kaya mekaniği ile uğraşan tüm araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bunun yanında, saplama deliğinde kırılma yükü ile ilgili çalışmalar ise kısıtlıdır. Literatürde donma-çözülme sonrası saplama deliğinde kırılma yükü ile ilgili çalışmaya rastlanılmamaktadır.

Son yıllarda doğal taşların donma-çözümleri üzerine yapılmış bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Karaca vd. (2010) mermer, kalker, traverten, oniks ve granit olmak üzere on farklı ticari yapı taşının donma-çözülme döngülerine karşı aşınma dayanımını incelemiştir. Numuneler, 28 döngü boyunca -20 °C’de dondurulmuş ve ardından 20 °C’de deiyonize suda çözündürülmüş; her döngü 18 saat donma ve 6 saat çözülme süresi içermiştir. Donma-çözülme öncesi ve sonrası Böhme ve geniş diskli aşınma testleri uygulamışlardır. Çalışmada, taşların mineralojik yapısı ve mekanik özelliklerinin (kuru birim ağırlık, gözeneklilik, basınç dayanımı, P-dalgası hızı) bu süreçlerden nasıl etkilendiği değerlendirilmiştir. Aşınma dayanımı, yapı taşlarının özellikle yoğun trafik alanlarında kullanım performansı açısından kritik bulunmuş ve donma-çözülme sürecinin taşların dayanıklılığı üzerindeki etkisi vurgulanmıştır. Yapılan araştırma, kayaçların dayanıklılık değerlendirmelerine daha kapsamlı bir yaklaşım sunarak bu etkilerin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bayram (2012) kireçtaşlarındaki tek eksenli basma dayanım kayıplarının bazı kayaç özellikleriyle tahminine yönelik bir istatistiksel model geliştirmiştir. Seçilen kireçtaşlarından alınan karot numuneleri üzerinde yapılan donma-çözülme deneyleri öncesi ve sonrasında tek eksenli basma dayanımları belirlenmiştir. Darbe dayanımı,

elastisite modülü ve ağırlıkça su emme testlerinden, tek eksenli basma dayanımındaki yüzdesel kayıpları tahmin etmek için geliştirilen çok değişkenli istatistiksel modelin benzer kayalar için oldukça güvenilir ($R^2=0.95$) olduğu vurgulanmıştır.

Jamshidi vd. (2013) 14 farklı doğal taş seçmiş ve bu taşların petrografik özellikleri ile bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini (yoğunluk, gözeneklilik, su emme, Dolaylı çekme dayanımı ve nokta yük dayanımı) belirlemişlerdir. Ardından, 30 döngüye kadar donma-çözölme testi gerçekteştirilmiş ve her 5 döngüden sonra taşların Dolaylı çekme dayanımı ve nokta yük dayanımı ölçölmüştür. Her bir taşın donma-çözölme etkisine karşı uzun vadeli dayanıklılığı, bozulma fonksiyonu modelinin parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu modelle, bütönlük kaybı oranının farklı kayalar için farklılık gösterdiğini ve taşların donma-çözölmeye karşı dayanıklılığının yüksek doğrulukla tahmin edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Martínez vd. (2013) karbonat temelli yapı taşlarının donma-çözölme dayanıklılığını ve ayrılma sürecindeki petrografik ve fiziksel değişimlerini incelemişlerdir. 102 numune, farklı sayıda döngü (0, 12, 24, 48, 96) sonrasında hacim kaybı, açık gözeneklilik değişimi, görsel hasar, mekanik özellikler (dayanım ve elastik modöl) ve ultrasonik dalga yayılımı gibi parametrelerle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, %10'dan fazla açık gözenekliliğe sahip taşların düşük dayanıklılık sergilediğini, uzun süreli stabilite dönemlerini ani bozulma süreçlerinin izlediğini göstermiştir. Mikroskobik incelemelerde, mikro çatlakların zamanla büyüyerek kritik bir eşiğin aşılmasıyla taşların hızla parçalandığı gözlemlenmiştir. Çoğu petrografik ve fiziksel parametre bu ani çöküşü öngöremezken, ultrasonik dalgaların uzaysal sönömlemesi kritik bozulma eşiğini tespit etmede en duyarlı yöntem olarak öne çıkmıştır. Bulgular, mevcut dayanıklılık testlerinin yetersiz olduğunu ve daha fazla döngü içeren testlerle birlikte ultrasonik ölçömlerle izleme yapılmasının önemli olduğunu göstermiştir.

Çelik (2019), Afyonkarahisar ili İscehisar ilçesinde çıkarılan andezitin donma- çözölme sürecindeki fiziksel özelliklerinin değişimlerini incelemiş, çalışma sonucunda su emme oranlarında ve gözeneklilikte artış meydana gelmediğini, ultrasonik dalga hızında ve yoğunlukta azalma meydana geldiğini tespit etmiştir.

Çelik ve Sert (2021), Afyonkarahisar ili İscehisar ilçesinde çıkarılan hakiki mermerin tuz kristalleşmesi ve karakterizasyonunu incelemiş, donma-çözülme testlerini yaparak ilgili mermerin dayanıklılığını değerlendirmişlerdir. Deneyler sonucunda tek eksenli basınç dayanımı değerinin kristallendirmede % 15,97, donma-çözülme deneyinde % 20,11 azaldığı gözlemlenmiştir. Ultrasonik dalga hızının ise kristallendirmede % 23,83, donma-çözülme deneyinde % 13,3 azaldığı gözlemlenmiştir.

Özdemir (2021a), travertenlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine, donma-çözülmenin ve farklı pH çözeltilerinin etkisini araştırmıştır. P dalga hızı, Schmidt çekici, tek eksenli basma dayanımı sonucunda sertliğin düşüşünün artmasının sebebi olarak pH değerinin azalması ve donma-çözülme döngü sayısının artmasını sebep olarak öne sürülmüştür.

Özdemir (2021b), mermerlerde donma-çözülme işleminde soğuma biçiminin fiziksel ve mekanik özelliklere etkisini incelemiş ve kullanılan numune üzerinde yavaş soğumanın ani soğumaya kıyasla daha az tahribat yaptığı sonucuna varmıştır.

Sert ve Altındağ (2024), termal şok yaşlanması ve donma-çözülme döngülerine maruz bırakılan doğal taşların güneş ışığı yansıtma indeksini (SRI) incelemiştir. Çalışma sonucunda kentsel ısı adasının etkisinin azalması sebebi olarak ilgili indeks değerinin artışını öne sürmüştür.

Mutlu ve Kalkan (2024), Denizli bölgesindeki travertenleri fiziksel ve mekanik özellikler bakımından araştırmışlardır. Donma-çözülme döngüsü sonrasındaki tek eksenli basma dayanımı kaybını tahmin etmeye yarayan model geliştirmişlerdir. Böylece ilgili testler yapılmadan tahminler yürütülmüş, bu bağlamda maliyetin düşürüldüğü belirtilmiştir.

Jamshidi (2024), soğuk bölgelerde yapı taşı seçiminde dayanıklılığın önemli bir parametre olduğunu vurgulamaktadır. Çünkü bu parametrenin göz ardı edilmesi, taşın zamanla bozulmasına ve binanın dış cephesinde estetik kayıplara yol açabilir. Çalışmasında, yapı taşlarının donma-çözülme sürecine karşı dayanıklılığını değerlendirmek için üç ana faktörün dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir: Donma-çözülme test planı, taşın dayanıklılığını değerlendiren özellik türü ve test parametreleri.

Bu faktörler, bölgenin iklim koşulları ve taşın binadaki kullanım yeriyle ilişkilidir. Çalışmada taş dayanıklılığını doğru şekilde değerlendirmek için donma-çözülme test kurulumuna dair yaklaşımlar önerilmekte, bu sayede taşların hizmet ömrünün artırılmasını ve donma-çözülme etkilerine karşı dayanıklı taşların seçilmesini sağlanabilmektedir.

Vercher vd. (2024), inşaatta doğal yapı taşlarının doğru seçiminin ve yapılarının tahmin edilmesinin önemli olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle donma-çözülme etkisinin bozulmanın başlıca nedenlerinden biri olduğunu belirtmektedir. Donma-çözülme dayanıklılık testlerinin emek yoğun ve zaman alıcı olması, çoğu zaman inşaat takvimleriyle çelişmektedir. Bu bağlamda, doğal taşların donma hasarına karşı davranışını daha hızlı laboratuvar testleri (örneğin, kapiler su emilimi) kullanarak tahmin etmeyi öneren bir yöntem sunulmaktadır. Ayrıca, açık porozitesi %2'yi aşan doğal taşların kullanılmasının tavsiye edilmediğini, bu eşiğin aşılmasının 168 donma-çözülme döngüsünden sonra basınç dayanımında %10'dan fazla kayıplara yol açtığı ifade edilmektedir. Kapiler su emilimi yöntemiyle yapılan alternatif değerlendirme, donma-çözülme dayanıklılığının doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlamak ve doğal taşların seçiminde mimarlar için önemli bir araç olmaktadır.

Son yıllarda saplama deliğinde kırılma yükü tayini ile ilgili yapılan çalışmalar ise aşağıda sunulmuştur.

Camposinhos vd. (2008), doğal taş kaplama sistemlerinin tasarımına ve bu sistemlerde kullanılan saplama bağlantılarının önemine odaklanmışlardır. Çalışmada, doğal taş kaplamalarının güvenli ve dayanıklı bir şekilde yerleştirilmesi için uygun bağlantı ve ankraj sistemlerinin seçilmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır. Saplama ankrajlarının, taşların yapıya etkili bir şekilde bağlanmasını sağlayarak, kaplamaların hem mekanik yükler hem de çevresel koşullardan kaynaklanan hareketlere karşı dayanıklı olmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda, bağlantı sistemlerinin doğru tasarımının, doğal taş kaplamaların uzun ömürlü ve güvenli olmasını sağlamak için kritik olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, uygun ankraj tasarımının taşıyıcı yapının performansını artıracak ve taş kaplamaların dış etmenlere karşı dayanıklılığını yükselteceği sonucuna varılmıştır.

Pires vd. (2011), doğal arduvaz taşlarının cephe kaplamalarında kullanımına yönelik mekanik performanslarını değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmalarında, özellikle arduvazın eğilme dayanımı ile bağlantı elemanlarıyla olan etkileşimi üzerine odaklanmışlardır. Portekiz kökenli arduvaz örnekleri üzerinde gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalar aracılığıyla, taşın yönlenme özellikleri, doğal çatlak yapısı ve mineralojik bileşiminin mekanik davranış üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Yapılan eğilme dayanımı testleri ile bağlantı sistemlerine uygulanan saplama deliğinde kırılma yükü deneyleri, arduvazın dayanımında önemli düzeyde varyasyonlar bulunduğunu ve bu değişkenliğin büyük ölçüde taşın doğal yapısal özelliklerinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Çalışma sonuçları, cephe tasarımlarında yalnızca ortalama dayanım değerlerinin değil, aynı zamanda taşın en zayıf bölgelerine göre yapılacak güvenlik analizlerinin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, yazarlar arduvaz kaplamaların mühendislik tasarımında performansa dayalı bir yaklaşım benimsenmesini önermiş ve mevcut standartların bu yaklaşıma göre güncellenmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Camposinhos (2013), kökenlerine göre üç magmatik, iki sedimanter, bir metamorfik doğal taşı bir dizi mekanik teste tabi tutmuştur. Birçok fiziksel ve mekanik karakterizasyon testleri ile 6 ve 8 mm konik cıvatayla 130 saplama testini, saplama yükü hasarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirmiştir. Sonlu eleman gerilme analizleri ve test sonuçları ile taşın saplama deliği kırılma yükünü tahmin etmek için kullanılabilecek eşitlik geliştirmiştir.

Patronis vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, doğal taşların konsantre yük altındaki kırılma yükleri incelenmiştir. Çalışmada, saplama deliğindeki kırılma yükünün (EN 13364) ve konsantre yük altında eğilme dayanımının (EN 12372) ilişkisi araştırılmıştır. Eğilme dayanımı değerleriyle saplama deliğindeki kırılma yükleri arasında kabul edilebilir bir korelasyon bulunmuştur. Ayrıca, çalışma bu iki tür kırılma mekanizmasının taşların kullanım alanlarında önemli etkiler yarattığını göstermektedir. Doğal taşların dayanıklılığını değerlendirmek için kırılma momentlerinin belirlenmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Pires vd. (2013), granit kaplama elemanlarının saplama sabitleme koşullarının temas davranışını incelemek üzere gerçekleştirdikleri çalışmada, Portekiz granitlerini normal plastik kapaklı ve hızlı kürlenene harçlı olmak üzere iki farklı ankraj sistemiyle donatmışlardır. ANSYS yazılımı kullanılarak geliştirilen sonlu elemanlar modeliyle yapılan temas analizleri, her iki granit malzeme için farklı saplama sabitleme koşullarının gerilme dağılımlarında belirgin farklılıklar yarattığını ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, söz konusu temas koşullarının taş panel-sabitleme elemanı-dübel sisteminin genel sertliğini önemli ölçüde etkilediğini, dolayısıyla ankraj dayanım testlerindeki performans farklılıklarını açıklamıştır.

Camposinhos (2014), dış cephe kaplamalarının estetik ve işlevsellik açısından gereksinimlerini karşılamaya yönelik yenilikçi teknolojileri ve yöntemleri ele almıştır. Hava koşullarına karşı koruma sağlanırken, yapıların uzun ömürlü ve dayanıklı olması amacıyla farklı malzemelerin kullanımını incelemiştir. Özellikle, cephe kaplamalarında modern yapısal tasarım kuralları ve teknolojileri, doğru kurulum prosedürlerinin önemini vurgulamış, bu bağlamda dübel ankraj sistemlerine odaklanılması gerektiğini belirtmiştir. Çalışma, alttan kesme ankraj teknolojisinin ve çentik ankraj sistemlerinin doğal taş kaplamaların modern cephe tasarımlarında nasıl uygulanabileceğine dair önemli detaylar sunmuştur. Bu sistemlerin hem estetik hem de işlevsel gerekliliklere uygun çözümler sunduğu, güvenlik ve dayanıklılık standartlarını karşıladığı vurgulanmıştır. Yeni tasarım ve hesaplama yöntemleri ile sektördeki ilerlemeler, taş kaplama uygulamalarında daha verimli ve güvenli süreçlerin önünü açmıştır.

Emek (2015) cephe kaplamada kullanılan doğal taşların montajında saplama deliğinde kırılma yükünün belirlenmesini araştırmış, 15 farklı doğal taş numunesi üzerinde kalınlığı değişken olarak kullanmıştır. Artan kalınlık değerine bağlı olarak, kırılma yükü değerinin arttığını gözlemlemiştir.

Huang vd. (2020) çalışmaları, doğal taş kaplama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan granit panellerin çelik saplamalarla yapı elemanlarına bağlantısında ortaya çıkan mekanik davranışları, özellikle kırılma yükü kapasitesini deneysel yöntemlerle incelemiştir. Farklı çaplarda (6 mm, 8 mm, 10 mm) paslanmaz çelik saplamalar ve değişken gömme

derinlikleri (15 mm, 30 mm) ile kenar mesafeleri dikkate alınarak gerçekleştirilen deneylerde, saplama çapı ve gömme derinliğinin artmasının bağlantının kırılma yükünü olumlu yönde etkilediği; buna karşılık, yetersiz kenar mesafesinin taşıma kapasitesini belirgin şekilde azalttığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar, güvenli ve dayanıklı bağlantılar için en az 30 mm saplama gömme derinliği ve minimum 40 mm kenar mesafesi önerisinde bulunmuş; 10 mm çapındaki saplamaların en yüksek taşıma kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Wang vd. (2021) çalışmalarında, 72 doğal taş plaka üzerinde yapılan deneylerle, alttan kesme ankraj sisteminin performansını etkileyen temel faktörleri incelemişlerdir. Araştırmada, taşın türü, deliğin kenara olan mesafesi, delik derinliği ve ankraj çapı ile tipi gibi unsurları değerlendirmişlerdir. Taş türü, fiziksel özellikleri nedeniyle ankrajın dayanıklılığı üzerinde önemli bir rol oynamıştır. Delik yerleşimi ve kenar mesafesinin, çatlamanın önlenmesi için kritik olduğu bulunmuştur. Ayrıca, delik derinliği ve ankraj tasarımı plakanın stabilitesini ve güvenliğini sağlamada etkili parametreler olarak öne çıkmıştır. Sonuçlar, ankraj sistemlerinin doğal taş kaplamalarında güvenli ve estetik bir çözüm sunması için yol gösterici bilgiler sağlanmıştır.

Şengün (2021), karbonatlı kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini kullanarak, bu tür malzemelerin kaplama taşı olarak kullanıldığında ankraj kopma yük değerlerini tahmin etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, kayaçların yoğunluğu, su emme oranı, basınç dayanımı ve çekme dayanımı gibi özellikler incelenmiş ve bu parametrelerin ankraj performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, fiziksel ve mekanik özelliklerin ankrajın yük taşıma kapasitesini anlamada önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Çalışma, mühendislik uygulamalarında güvenli ve dayanıklı tasarımlar için rehber olabilecek veriler sunmuştur.

Şimşek (2022) yaptığı çalışmada, Nevşehir (Kavak) yöresi ignimbiritinin duvar kaplamasında kullanılabilirliğini araştırmış ve saplama deliğinde kırılma yükü özelliklerini belirlemiştir. Bu yönüyle taşın kaplama için uygun olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Aghayeva (2022), Bakü Aqlay (Gülbağ) kayacının yapı malzemesi olarak çevreyle uyumluluk performansını incelediği çalışmasında, taşın fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini analiz ederek, çevresel etmenlere karşı dayanıklılığını değerlendirmiştir. Çalışma, taşın çevresel sürdürülebilirlik açısından uygunluğunu ve yapı içindeki performansını ele alarak, taşın uzun vadeli dayanıklılığı, ısı yalıtımı, su geçirmezlik gibi çevresel faktörlerle uyumunu incelemiştir. Özellikle Bakü'nün iklim koşulları ve çevresel gereksinimleriyle uyumlu olduğuna dair bulgular sunan bu çalışma, Gülbağ taşının mimari projelerde sürdürülebilir bir seçenek olarak kullanımını önermektedir. Ayrıca, kayaç örneklerinin saplama deliğinde kırılma yükünün belirlenmesinde 30x200x200 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılan deneyde, TS EN 13364'e uygun olarak saplama deliğinde kırılma yükü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. TS EN 1469'a göre, saplama deliğinde kırılma yükünün en az 800 N ve standart sapmasının 190 N olması gerektiği belirtilmişken, yapılan deneyde en düşük kırılma yükü 803.3 N, standart sapma ise 225.3 N olarak bulunmuştur. Bu yüksek standart sapmanın, numunelerin homojen olmamasından kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Yukarıdaki literatüre bakıldığında, genel olarak doğal taşlarda saplama deliğindeki kırılma yükü tayinleri, bu kırılma yüklerinin kayaç özellikleriyle ilişkilerinin incelenmesine yönelik çalışmaların olduğu görülmektedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, donma-çözülme döngülerinin saplama deliğindeki kırılma yüküne etkisinin araştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Dış cephe kaplaması olarak kullanılan doğal taşların bu özelliklerinin araştırılması, kaplama malzemesi olarak kullanılan malzemenin kullanım ömrü açısından önemli bir konudur. Bu tez çalışmasında da temel amaç, donma-çözülme döngülerinin dış yüzey kaplamalarında saplama deliklerinin kırılma yüklerine etkisinin incelenmesidir. Bu inceleme, literatürde önemli bir eksikliğin giderilmesine öncülük edecektir. Elde edilen sonuçlar, özellikle soğuk bölgelerde kullanılan doğal taş dış cephe kaplamalarının saplama deliklerindeki kırılma yüklerinde meydana gelen değişimlerin ortaya konması açısından önemlidir. Bu tür kaplamalarda, kullanım ömrü veya bakım koşulları açısından bilgiler edinilmesi de çalışmanın ayrı bir önemini oluşturmaktadır.

2. DOĞAL TAŞLAR

Doğal taşlar, jeolojik süreçler sonucunda oluşmuş ve çeşitli yapısal, estetik ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan bir malzeme grubudur. Magmatik, sedimanter ve metamorfik kayalar gibi farklı jeolojik kökenlere sahip olan doğal taşlar, fiziksel ve mekanik özellikleriyle geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Doğal taşlar, yer kabuğunda meydana gelen çeşitli jeolojik süreçlerin ürünüdür. Doğal taşlar, çıkarıldıktan sonra işlenerek yapı malzemesi, dekoratif eleman ve sanatsal ürün olarak değerlendirilmektedir (Öz 2019).

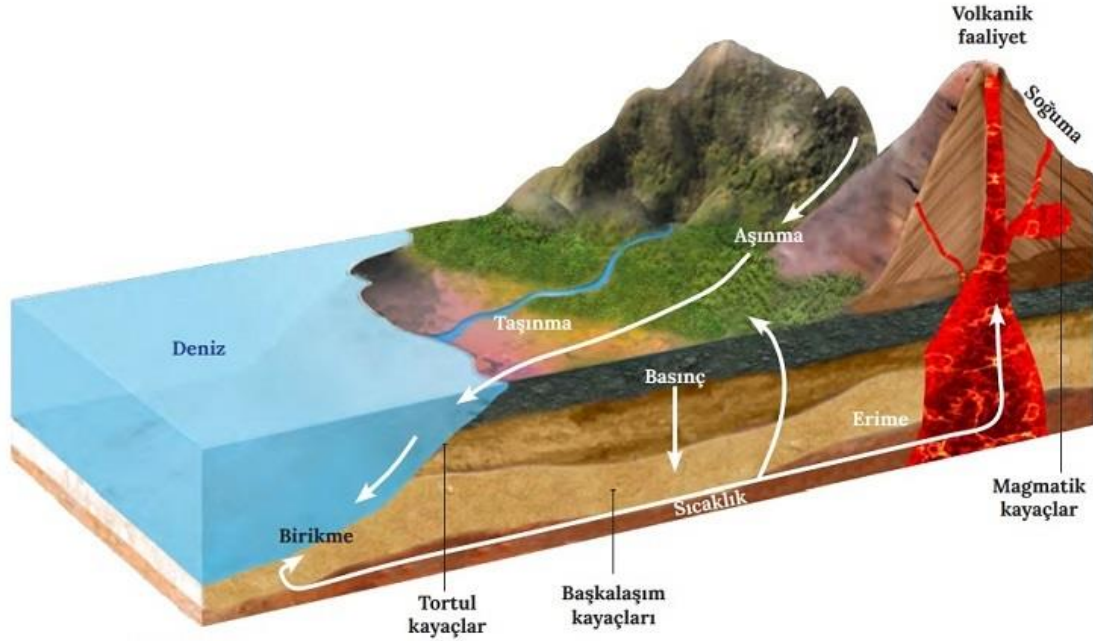
Doğal taş kavramı, geniş bir alanı kapsayan çok yönlü bir malzeme grubunu ifade etmektedir. Genel olarak, doğal taşlar; jeolojik süreçler ile yer kabuğunda meydana gelen, çıkarıldıktan sonra çeşitli işlemlerden geçirilerek yapı uygulamalarında kullanılabilecek hale getirilen taşlardır. Bu tanım, taşların kullanım amaçlarına göre farklı şekillerde genişletilebilmektedir (Güngör ve Aydoğan 2016). Doğal taşlar, genellikle yapı taşları olarak bilinse de aslında bu kavram daha kapsamlı bir anlama sahiptir. Magmanın katılaşması, tortul süreçler veya metamorfik dönüşümlerle oluşan tüm malzemeler doğal taş kapsamına girmektedir (Orhan ve Arık 2019). Bu bağlamda, granit, mermer, kireçtaşı, traverten, kumtaşı ve kayrak taşı gibi taşlar, bu grubun yaygın örnekleridir.

Sanat ve mimarlık gibi alanlarda da sıkça kullanılan doğal taşlar, insanoğlunun bilinen en eski yapı malzemelerinden biridir. Kullanım amaçlarına göre estetik, dayanıklılık ve işlenebilirlik özellikleri taşıyan doğal taşlar, tarih boyunca yapısal ve dekoratif işlevlerle insan yaşamında önemli bir yer tutmuştur (Karahana 2018). Doğal taşlar, bu özellikleriyle zemin kaplaması, duvar süslemeleri ve sanatsal üretim gibi alanlarda kullanılır. Örneğin; granit ve mermer, yüksek dayanıklılığı ve çekici görünümüyle bina kaplamalarında yaygın şekilde tercih edilmektedir (Öz 2019).

2.1 Doğal Taşların Sınıflandırılması

Doğal taşlar çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Jeolojik oluşumlarına göre doğal taşlar üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar magmatik, sedimanter (tortul) ve metamorfik

(başkalaşım) kayaçlar olarak adlandırılmaktadır. Resim 2.1’de yerkabuğunda kayaçların oluşumu sırasında meydana gelen jeolojik süreçler gösterilmiştir.



Resim 2.1 Yerkabuğunda kayaçların oluşumu sırasında meydana gelen jeolojik süreçler (İnt. Kyn. 1)

Çizelge 2.1’de jeolojik sınıflamaya göre doğal taşlara örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.1 Jeolojik sınıflamaya göre doğal taşlar

Magmatik Kayaçlar	Metamorfik Kayaçlar	Sedimanter Kayaçlar
Granit	Mermer	Kalker
Siyenit	Gnays	Traverten
Diyorit	Arduvaz	Konglomera
Gabro	Mikaşist	Kiltaşı
Volkanik	Serpartin	Alçıtaşı
Porfirler	Fillit	Oniks
Andezit	Kuvarsit	Tüf
Bazalt		
Lavlar		

2.1.1 Magmatik Kayaçlar

Magmanın soğumasıyla birlikte mineraller kristalleşir ve minerallerin bir araya gelerek bir kayaç oluşturduğu gözlenir. Eğer soğuma süreci yeryüzünün altında yavaş bir şekilde gerçekleşirse, derinlik (plütonik) kayaçları olarak bilinen sokulum kayaçları oluşur.

Magmanın yüzeyde hızlı bir şekilde soğuması halinde ise yüzey, volkanik ya da püskürük kayalar meydana gelir. Damar kayalar, plütonik ve volkanik kayalardan yapı, doku ve jeolojik konumları ile ayırt edilebilmektedirler. Bu sınıflandırma, oluşum yerlerine bağılı olarak belirlenmiştir (Genç 2015, Kulaksız 2021).

Magmatik kayalar, jeolojik konumları, yapı ve mineralojik özellikleri dikkate alınarak üç ana gruba ayrılır:

- a) Derinlik (plütonik) kayalar: Magmanın yerkabuğunun derinliklerinde yavaşça soğuyup kristalleşmesi sonucu oluşan kayalardır.
- b) Yüzey (volkanik, püskürük) kayalar: Magmanın değişik yüzey koşullarında soğuması ile oluşurlar.
- c) Damar (melez, hibrit) kayalar: Magmanın yerkabuğunun çatlaklarında soğumasıyla oluşan küçük ölçekli kayalardır. Damar kenarına doğru tane boyutları, ortadan inceye doğru olup kayaç holokristalin (tamamen kristalleşmiş) bir dokuya sahiptir.

Bu kayalar, iç ve dış püskürük kayalar olarak da sınıflandırılabilir. İç püskürük kayalar, genelde magmanın derinlikte soğumasıyla meydana gelirken, dış püskürük kayalar yüzeyde oluşur (Genç 2015).

2.1.2 Sedimanter Kayalar

Sedimanter (tortul) kayalar, yeryüzünde farklı süreçlerle meydana gelen tortullaşma olayları sonucunda oluşmuş kayaç türleridir. Sedimanter (tortul) kayalar, yeryüzündeki ortamlarda düşük sıcaklık ve basınç altında kırıntılı taneciklerin (sedimanların) belli bir ortamda taşınması, yığılması ve pekişmesi sonucu oluşurlar. Çoğunlukla tabakalı bir yapıya sahip olup fosil içerirler. Erozyon, taşınma, birikme ve sıkışma süreçleri tortul kayaların oluşumunda temel rol oynar (Kulaksız 2021).

Bu süreçler;

- a) Erozyon: Ana kayaların dış faktörlerce aşındırılmasıdır.
- b) Taşınma: Rüzgâr, su ve diğer doğal güçlerle malzemelerin taşınmasıdır.

- c) Birikme: Taşınan malzemelerin okyanus, göl ve deniz gibi çukur alanlarda toplanmasıdır.
- d) Sıkışma ve çimentolanma: Biriken malzemelerin üzerlerindeki yük nedeniyle sıkışarak sertleşmesi ve minerallerin bağlayıcı etkisiyle kayaç hâline gelmesidir (Kaya 2009).

Tortul kayaçlar genellikle tabakalı yapılarıyla dikkat çeker. Çoğunlukla fosil içermeleri, bu kayaçların biyolojik geçmiş hakkında önemli bilgiler sunmasını sağlar. Malzemelerin birikme alanlarında boşluklu bir yapıya sahip olduğu; ancak zamanla basınç etkisiyle sıkışarak dayanıklı bir yapıya dönüştüğü gözlemlenir (Gürcan 2006).

Jeologlar, tortul kayaçları genellikle iki ana gruba ayırır.

- a) Kimyasal kökenli kayaçlar: Minerallerin kimyasal süreçlerle çökmesi sonucu oluşur.
- b) Kırıntılı kayaçlar: Farklı boyutlardaki kayaç parçalarının birikmesiyle meydana gelir (Genç 2015).

2.1.3 Metamorfik Kayaçlar

Yer kabuğunda köken kayaç ne olursa olsun belli basınç ve sıcaklıkta kayaçların, belirgin yapısal ve dokusal özellikleriyle birlikte mineralojik yönden değişikliğe uğramalarına metamorfizma (başkalaşım) bunun sonucunda oluşan kayaçlara da metamorfik (başkalaşım) kayaçlar adı verilmektedir. Metamorfik kayaçlar, yerkabuğunun yaklaşık %27'sini oluşturur. Bu kayaçlar, daha önce var olan kayaçların sıcaklık, basınç ve kimyasal olaylar sonucu başkalaşmaya uğraması ile oluşur. Metamorfizma derecesi, bu başkalaşım olayının şiddetine ve kayaçların kimyasal bileşenlerine göre değişiklik gösterir. Metamorfizma süreci, her kayaç türüne farklı derecelerde etki eder, bu nedenle metamorfik kayaçların çeşitliliği de farklılık gösterir. Örneğin; düşük dereceli metamorfizmada kayacın yapısı az değişirken, yüksek dereceli metamorfizmada daha belirgin değişiklikler gözlemlenir (Hozatlıoğlu 2018, Kulaksız 2021).

Metamorfik kayaçlar, genellikle fosil içermezler. Bu durum, metamorfizma sırasında fosillerin bozulması veya yok olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, bu kayaçlar kristal yapıdadır ve içinde silikat mineralleri bulunabilir. Metamorfik kayaçlar, genellikle tabakalı bir yapıya sahip olup, bu özellikleriyle tortul kayaçlara benzerlik gösterir. Metamorfik kayaçlar, genellikle içeriklerindeki hâkim mineraller ve yapı-dokularına göre isimlendirilir. Örneğin; mermer, kalker kayaçlarının metamorfizması sonucu oluşurken, şist ve gnays gibi kayaçlar da farklı metamorfik süreçlerin ürünleridir. Bu kayaçlar, mineral bileşimleri dikkate alınarak daha da spesifik bir şekilde tanımlanabilir (Hozatlıoğlu 2018).

2.2 Doğal Taşların Kullanım Alanları

Doğal taşlar, yüzyıllardır inşaat, dekorasyon ve sanat gibi birçok alanda kullanılan dayanıklı ve estetik malzemelerdir. Özellikle mermer, traverten, granit gibi taşlar mimari ve dekoratif uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Doğal taşların fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre doğru şekilde kullanılması, estetik görünüm sağlamanın yanı sıra uzun ömürlü yapılar oluşturmayı mümkün kılar. Doğal taşların farklı alanlarda kullanımlarına yönelik açıklamalar aşağıda sırasıyla verilmiştir (Hasol 1988).

İnşaat sektöründe kullanımı: Doğal taşlar, inşaat sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir. Binaların iç ve dış kaplamaları, merdiven basamakları, sütunlar, şömineler, mutfak tezgâhları ve banyolar en sık kullanıldığı yerler arasındadır. Dış kaplamalarda kullanılan doğal taşların aşınmaya, donmaya ve atmosferik etkilere karşı dayanıklı olması gereklidir. Örneğin, renkli mermerlerin dış mekânda kullanımı uygun seçim yapılmadığında zamanla renk solması ve ayrışma gibi sorunlara yol açabilir. İç mekânda ise dekoratif görünüm ön plandadır. Beyaz veya desenli mermerler sıklıkla tercih edilir (Hasol 1988).

Yol ve kaldırım döşemesi, bordür taşı, duvar yapımı, çatı örtüsü, kıyı tahkimatı, dalgakıran ve baraj inşaatı gibi alanlarda da doğal taşların dayanıklılığı ve işlevselliği ön plana çıkar. Özellikle granit ve bazalt gibi sert taşlar, aşınmaya karşı dayanıklı olmaları nedeniyle bu tür yapılarda tercih edilmektedir (Hasol 1988).

Dekorasyon ve güzel sanatlar: Doğal taşlar, iç mekân dekorasyonunda mobilya, masa, sehpa ve mutfak tezgâhı yapımında kullanılır. Hediyeelik eşya ve el sanatları alanında ise vazo, biblo, avize, şekerlik ve kül tablası gibi ürünlerde özellikle desenli ve renkli taşlar tercih edilir. Güzel sanatlarda anıt ve heykel yapımı gibi alanlarda da estetik ve dayanıklılığı nedeniyle mermer önceliklidir (Hasol 1988).

Peyzaj ve çevre düzenlemeleri: Bahçe peyzajında, doğal taşlar estetik ve işlevsel unsurlar olarak kullanılır. Kaldırımlar, yürüyüş yolları ve adım taşlarında kaymayı önlemek için cilasız yüzeye sahip taşlar tercih edilir. Kayrak taşı, arduvaz gibi doğal olarak pürüzlü yüzeye sahip taşlar, peyzaj düzenlemelerinde hem estetik hem de işlevsellik sağlar. Çin bahçelerinde feng shui felsefesine göre düzenlenen doğal taşlar, ortam enerjisini dengelemek için kullanılmaktadır (Hasol 1988).

Sağlık ve çevresel etkiler: Doğal taşların mikroorganizmalara karşı koruyucu özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle geçmişte olduğu gibi günümüzde de hijyenik mekânlarda doğal taşlar tercih edilmektedir. Ayrıca, doğal malzemelerin çevreye zararlı kimyasal bileşenler içermemesi, yapay malzemelere karşı bir avantaj sağlamaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde doğal taşların kullanımına olan talep giderek artmaktadır (Hasol 1988).

Sonuç olarak doğal taşlar, doğru şekilde seçilip kullanıldığında dayanıklılığı, estetik görünümü ve çevre dostu yapısıyla birçok alanda vazgeçilmez malzemeler arasındadır. İnşaat, dekorasyon ve güzel sanatlar gibi alanlarda doğal taş kullanımının artışı, bu malzemenin hem fonksiyonel hem de estetik değerini ortaya koymaktadır. Ancak, doğal taşların seçiminde fiziksel özelliklerine ve çevresel koşullara dikkat edilmesi, uzun vadede ekonomik ve estetik açıdan daha faydalı sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

2.2.1 Doğal Taşların Kaplama Malzemesi Olarak Kullanımı

Doğal taşlar, mimari ve inşaat alanlarında yüzyıllardır tercih edilen bir yapı malzemesidir. Dayanıklılığı, estetik özellikleri ve taşıyıcı gücü ile öne çıkan doğal taşlar, modern mimaride kaplama malzemesi olarak yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Doğal taşlar, yer kabuğunda bol miktarda bulunmaları ve sert hava koşullarına dayanıklı olmaları

nedeniyle mimarinin vazgeçilmez yapı malzemelerinden biridir. Tarih boyunca hiçbir bağlayıcı malzemeye gerek duyulmaksızın sağlam yapılar inşa etmeye olanak sağlamaları, doğal taşları diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özelliklerden biridir.

Günümüzde doğal taşlar, modern mimaride hem estetik hem de işlevsel yönleriyle ön plana çıkmaktadır. Özellikle kaplama malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmakta olup, yapıların iç ve dış yüzeylerine estetik bir görünüm kazandırmakta ve koruma sağlamaktadır (Hasol 1988).

Doğal taşların en belirgin özellikleri dayanıklılık, taşıyıcı güç ve uzun ömürlü olmalarıdır. Atmosfer koşullarına karşı yüksek direnç göstermeleri, bu malzemelerin dış cephelerde yaygın olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, renk ve doku çeşitliliği, homojen yapıları ve işlenebilirlik özellikleri doğal taşların mimari tasarımlarda çok yönlü olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Karaca ve Öztank 2003).

Kaplama, bir yüzeye estetik bir görünüm kazandırma veya koruma amacıyla uygulanan bir tabaka olarak tanımlanır (Hasol 1988). Doğal taş kaplamalar, yapıların estetik niteliklerini artırırken aynı zamanda dış etkilere karşı koruma sağlar. Doğru şekilde seçilen ve uygulanan doğal taş kaplamalar, yapıların ömrünü uzatır ve ekonomik bir çözüm sunar.

Kaplama malzemesi olarak kullanılan doğal taşlar arasında mermer ve traverten gibi türler öne çıkar. Bu malzemelerin seçiminde atmosfer koşullara dayanıklılık, taşın sertliği, homojenliği, işlenebilirliği, renk ve dokusunun yapı mimarisine uyumu gibi kriterler dikkate alınmalıdır (Gürani ve Canbolat 2012).

2.3 Dış Cephe Kaplama Yöntemleri

Doğal taşların yapı malzemesi olarak etkin bir biçimde kullanılabilmesi, malzemenin yapısal özelliklerinin ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesini gerektirmektedir. Doğal taşların sertlik, kırılma, kesilebilirlik ve cila alma gibi özellikleri kayacın iç yapısal

bileşenleriyle ilişkilidir (Koçu ve Dereli 2003). Bu nedenle, doğal taşların yapısal uygulamalara uygunluğunu belirlemek için öncelikle laboratuvar ortamında kapsamlı testler yapılmalı ve elde edilen veriler ışığında, malzemenin kullanılacağı alan ile işleme yöntemleri belirlenmelidir. Bu yaklaşım, malzemenin hem dayanıklılığını hem de performansını uzun vadeli bir şekilde en uygun hale getirmeyi sağlar.

Doğal taşların sertlik seviyesi arttıkça dış etkenlere karşı dayanıklılığı da artmaktadır. Buna karşılık üretim maliyetlerinde de yükseliş görülmektedir. Dış cephe kaplamaları gibi dayanımın öncelikli olduğu alanlarda sert doğal taşların tercih edilmesi gerekmektedir. Ancak, sert doğal taşların işlenmesi daha zor olduğu için, bu durum özellikle işçilik maliyetlerini artırmaktadır. Bununla birlikte, sert doğal taşlar yüksek cila tutma kapasitesine sahip olmaları sebebiyle estetik bakımdan öne çıkmaktadır ve bu da yapılarda kullanım oranını artırmaktadır (Koçu ve Dereli 2003).

Dış cephe kaplamaları, hassasiyet gerektiren uygulamalardan biridir ve bu kapsamda yapının arazi şartlarıyla kurduğu ilişkinin doğru bir biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, dış hava koşullarından kaynaklanabilecek genleşme ve büzülme etkileri, doğal taş paneller arasında uygun derz bırakılarak minimize edilebilir (Koçu ve Dereli 2003). Genellikle ısı farklılıkları nedeniyle $\pm 0,2$ mm genleşme payı bırakılması tavsiye edilmektedir. Tüm bu önlemler, doğal taşların hem estetik hem de yapısal ömrünü uzatarak uzun vadeli bir performans sağlar.

Doğal taşların dayanıklılık, estetik ve işlevsellik açısından sunduğu avantajlar göz önüne alınarak, dış cephe kaplamada iki farklı montajlama yöntemi vardır. Bunlar harçlı ve ankrajlı montaj yöntemleridir.

2.3.1 Harçlı Yöntem

Doğal taş kaplama sistemleri, estetik ve dayanıklılığı bir araya getirerek hem iç hem de dış mekân uygulamalarında tercih edilen bir yöntemdir. Bu sistemler arasında yer alan harçlı taş kaplama yöntemi, taşların yapıya güçlü bir şekilde bağlanmasını sağlayarak uzun ömürlü ve sağlam bir yüzey oluşturmalarını sağlar. Harçlı sistem, özellikle klasik ve

geleneksel mimari yaklaşımlar için uygun olup, aynı zamanda modern yapılarda da geniş kullanım alanına sahiptir.

Harçlı taş kaplama yöntemi, doğal taşların özel olarak hazırlanmış harç veya yapıştırıcı malzeme kullanılarak yüzeye sabitlenmesini içeren bir kaplama tekniğidir. Bu yöntem, taşları mekanik bağlantılara ihtiyaç duymadan doğrudan duvara yapıştırmayı sağlar ve genellikle taşıyıcı duvarlar, cephe kaplamaları, iç mekân dekorasyonları ve peyzaj uygulamalarında kullanılır (Oğan ve Erbaş 2021).

Harçlı taş kaplama yönteminde kullanılan başlıca malzemeler şunlardır;

- Doğal Taş: Granit, hakiki mermer, kireçtaşı, traverten ve bazalt gibi çeşitli taş türleri kullanılabilir.
- Harç: Çimento esaslı harçlar en yaygın kullanılan bağlayıcıdır. Bunun yanı sıra kireç veya polimer katkılı harçlar da uygulanabilir.
- Astar ve Su Yalıtımı Malzemeleri: Yüzeyin daha iyi tutunmasını sağlamak ve su geçirmezliği artırmak amacıyla özel astarlar ve su yalıtım malzemeleri uygulanabilir.

Harçlı taş kaplama yöntemi, belirli aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar; yüzey hazırlığı, harç hazırlığı, taşların yerleştirilmesi, derz dolgusu ve temizliktir. Kaplamanın uzun ömürlü olması için uygulanacak yüzeyin temiz, kuru ve sağlam olması gerekmektedir. Gerekirse yüzeydeki çatlaklar onarılır ve su yalıtım malzemeleri ile güçlendirilir. Aderansı artırmak amacıyla bir astar uygulanması önerilir.

Harç, üretici talimatlarına uygun olarak hazırlanır. Genellikle su, çimento ve kum karışımı ile oluşturulan harç, belirli bir kıvama getirilerek uygulanmaya hazır hale getirilir. Bazı durumlarda polimer katkılı harçlar, elastikiyeti ve yapışma gücünü artırmak amacıyla tercih edilebilir. Hazırlanan harç, mala veya spatula yardımıyla yüzeye uygulanır. Ardından taşlar belirlenen desen doğrultusunda dikkatlice yerleştirilir. Taşların arasında homojen bir mesafe bırakılması ve yüzeyin düz olması sağlanmalıdır. Gerekirse taşlar lastik çekiç yardımıyla yerine oturtulur (Oğan ve Erbaş 2021).

Kaplama tamamlandıktan sonra taşların arasındaki boşluklar özel derz malzemesi ile doldurulur. Bu, yüzeyin hem estetik hem de su geçirmez olmasını sağlar. Son aşamada fazla harç temizlenir ve yüzeyin görünümü iyileştirilir. Harçlı yöntemin çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar;

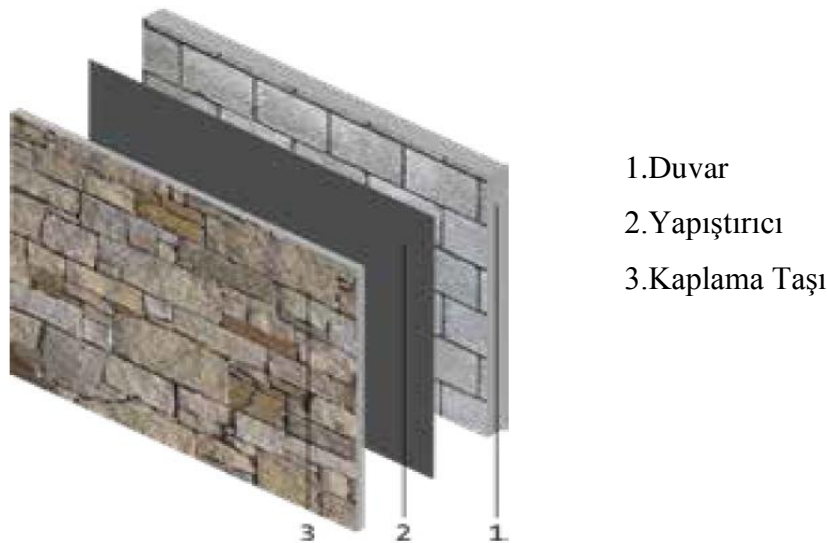
Yöntemin avantajları;

- Uygulama hızlı ve maliyeti düşüktür.
- Delme işlemi gerektirmediği için montaj daha kolaydır.
- Yüzey ile taş arasında mesafe olmadığından dış darbeye karşı dayanıklıdır.

Harçlı yöntemin dezavantajları ise;

- Yüksek binalarda (>7 m) önerilmez, çünkü taş ağırlığı zamanla duvarda hasara neden olabilir.
- Geniş boyutlu doğal taş plakalarının kullanımı sakıncalıdır.
- İklimsel genleşme farkları nedeniyle yapıştırıcı performansı etkilenebilir.
- Harç içerisindeki suyun taş yüzeyine geçmesi durumunda renk bozulmaları görülebilir (Güneri 2009).

Şekil 2.1 ve Resim 2.2’de harçlı yöntemin görselleri verilmiştir.



Şekil 2.1 Harçlı yöntem (İnt. Kyn. 2)



Resim 2.2 Harçlı yöntem (İnt. Kyn. 3)

Harçlı taş kaplama yöntemi, estetik ve dayanıklılığı birleştirerek uzun ömürlü yüzeyler elde etmek için tercih edilen bir tekniktir. Doğru malzeme seçimi, yüzey hazırlığı ve uygulama süreci ile bu yöntemin sağladığı avantajlardan maksimum düzeyde yararlanılabilir. Günümüz mimari trendlerinde doğal ve sürdürülebilir malzeme kullanımının önemi arttıkça, harçlı taş kaplama sistemlerinin de popülerliği artmaktadır (Koçu ve Dereli 2003).

2.3.2 Ankrajlı Yöntem

Ankrajlı yöntem, taşların çelik elemanlar yardımıyla bina cephesine monte edildiği bir uygulamadır. Malzeme taşıyıcı elemanlara mekanik bağlantılar ile sabitlenir ve bu yöntem genellikle yüksek katlı binalarda kullanılır. Ankrajlı yöntemin de avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır (Oğan ve Erbaş 2021).

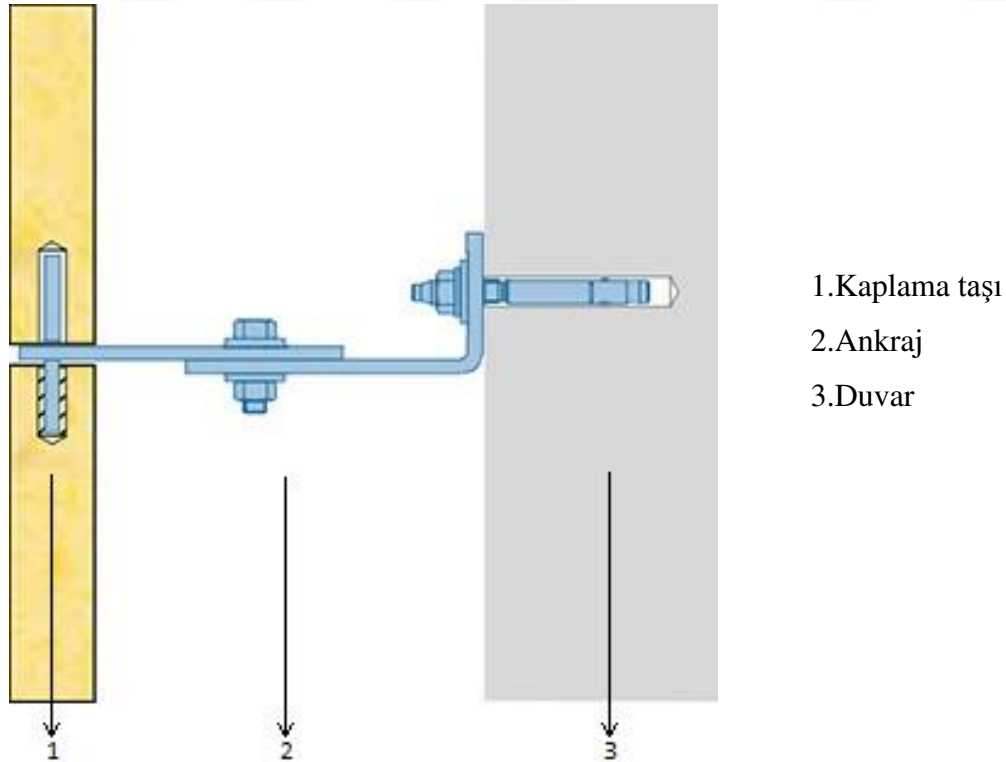
Avantajları;

- Her taş kendi yükünü taşıdığı için yapısal yük aktarımı minimize edilir.
- Yalnızca problemlı taşların değıştirilmesi mümkündür.
- Genleşme ve deprem hareketlerine dayanıklıdır.
- Isı yalıtımı ve doğal havalandırmaya olanak tanır.

Dezavantajı ise maliyetidir. Harçlı yöntemle göre maliyet daha yüksektir (Oğan ve Erbaş 2021).

Ankrajlı yöntemin iki türü bulunmaktadır:

Noktasal ankraj: Doğal taş plakasının cepheye Z ankraj elemanları ve paslanmaz pimlerle monte edilmesi yöntemidir. Bu sistem, taşıyıcı yüzeyin türüne göre H gövde, Z ankraj veya yaprak ankraj olarak alt gruplara ayrılmaktadır. Şekil 2.2 ve Resim 2.3'te noktasal ankrajlı yöntemin görselleri verilmiştir (Oğan ve Erbaş 2021).

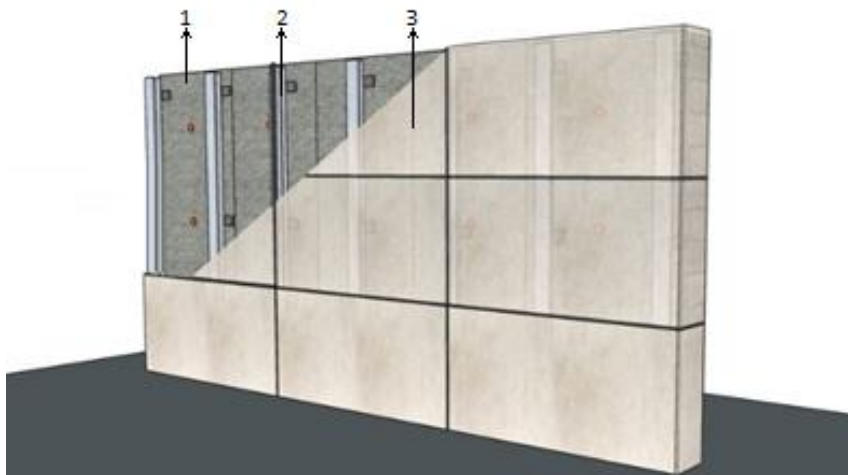


Şekil 2.2 Noktasal ankraj (İnt. Kyn. 4)



Resim 2.3 Noktasal ankraj (İnt. Kyn. 5)

Profilli ankraj: Taş plakaların metal profillere monte edildiği yöntemdir. Özellikle büyük boyutlu taşlar ve şakulü bozuk cepheler için uygundur. Profillerin ve bağlantı elemanlarının paslanmaz çelikten olması gereklidir. Aksi halde pas oluşumu taş yüzeyini etkileyebilir (Koçu ve Dereli 2003). Şekil 2.3 ve Resim 2.4’te profil ankrajlı yöntemin görselleri verilmiştir.



1. Duvar
2. Ankraj
3. Kaplama taşı

Şekil 2.3 Profilli ankraj (İnt. Kyn. 6)



Resim 2.4. Profilli ankraj (İnt. Kyn. 7)

Harçlı ve ankrajlı montaj yöntemleri, kullanım alanlarına ve yapı özelliklerine göre farklı avantajlar ve sınırlılıklar sunmaktadır. Harçlı yöntem daha ekonomik ve hızlı bir çözüm sağlarken, ankrajlı yöntem özellikle yüksek katlı ve karmaşık geometrilere sahip yapılarda güvenli ve uzun ömürlü bir uygulama olanağı sunmaktadır. Uygulama yönteminin seçimi sırasında bina yüksekliği, cephe malzemesi, taş özellikleri ve bütçe gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

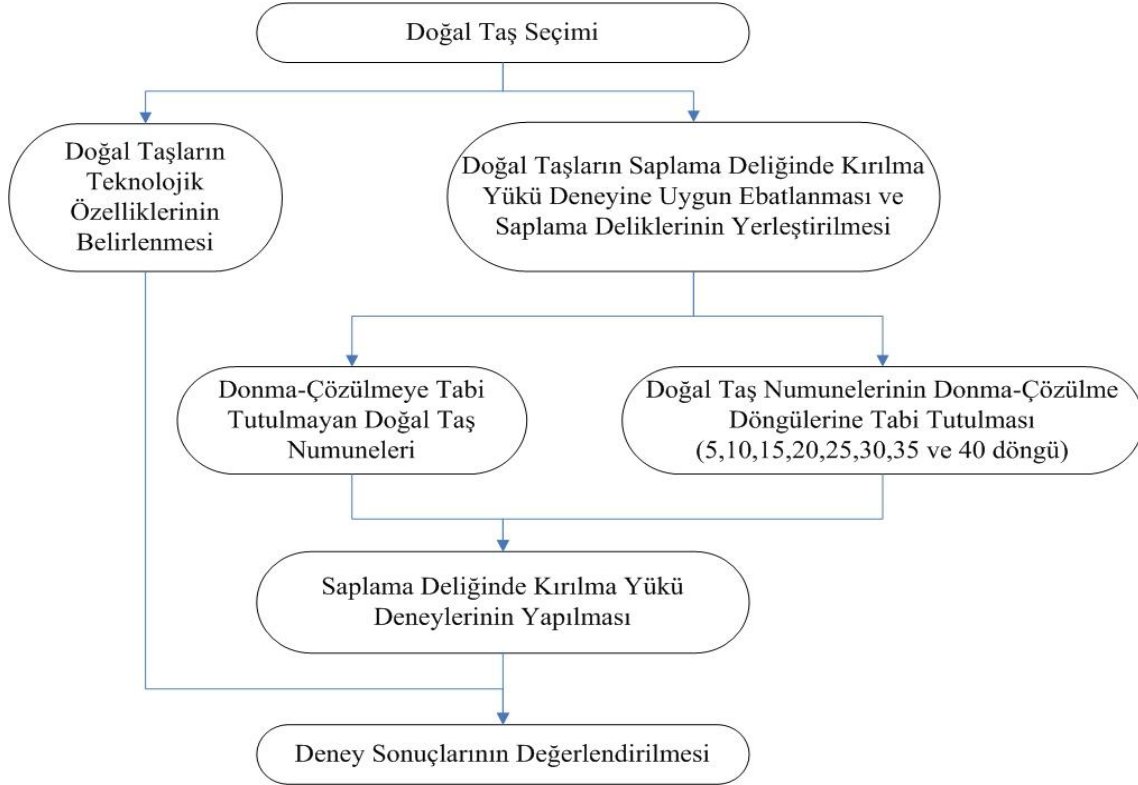
3. MATERYAL ve METOT

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak, doğal taşları kesen ve işleyen makinaların üretilmesi ile her türlü doğal taş kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle binaların dış cepheleri ve çevre düzenlemelerinde ebatlı ve şekilsiz taşların yanı sıra, yaya yolu ve kaldırımlarda da doğal taşlar başarı ile kullanılmaktadır. 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. Günümüz modern mimarisinde doğal taş, 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.

Bu çalışmada, bina dış cephe kaplamalarında kullanılan karbonat kökenli sedimanter doğal taşların, özellikle soğuk bölgelerde maruz kaldıkları don olayı etkisiyle saplama deliklerindeki kırılma yükleri değişimlerinin ve farklı donma-çözülme döngüleriyle kırılma yükleri ilişkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, farklı bölgelere ait karbonatlı doğal taşlar, Dona Dayanım Tayini (TS EN 12371) deney standardına göre farklı sayıda donma-çözülme döngülerine tabi tutulmuş ve farklı döngülerdeki doğal taşlara Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini (TS EN 13364) deneyi döngü öncesi ve sonrasında uygulanmıştır. Elde edilen kırılma yüklerinin hem donma-çözülme döngüleriyle hem de kırılma yüğü deney parametreleriyle ilişkileri incelenmiştir.

Gerek yapılan literatür incelemesinde gerekse kaplamada kullanılan doğal taş plakaları ile ilgili standartlarda donma-çözülme sonrasında dış cephe kaplama plakalarının saplama deliğinde kırılma yükleriyle ilgili bir çalışma ve bilgi bulunmamaktadır. Özellikle TS EN 1469 “Doğal Taş Mamulleri- Kaplamada Kullanılan Plakalar-Özellikler” standardında plakalarda don tesirlerinin etkisi dikkate alınmamıştır. Bunun yanında, TS EN 12371 Dona Dayanım Tayini standardında, Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini (TS EN 13364) standardında belirtilen numune ebatlarıyla dona dayanım deneylerinin yapılabileceğinden bahsedilmektedir. Yapılan çalışma, bu konuda mevcut eksikliğin giderilmesinde bir ön çalışma özelliğindedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, özellikle soğuk

bölgelerde dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılabilecek doğal taşlar, kullanılabilir dış cephe kaplama ömrü ya da bakım periyotları hakkında önemli tespitler içermektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmalar, bir akım şeması şeklinde Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışmada izlenen yöntem

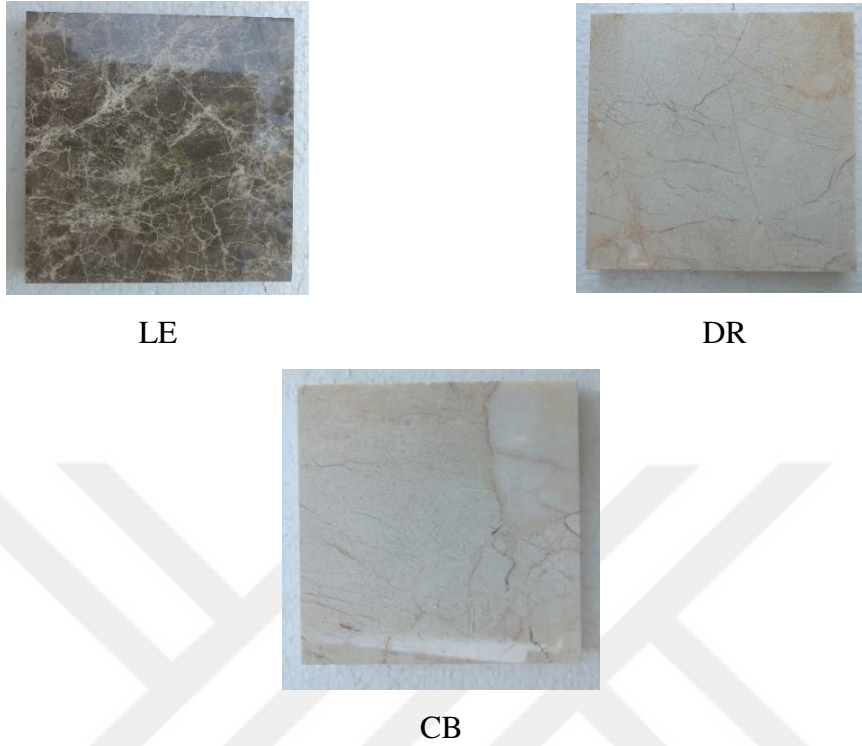
3.1 Çalışmada Kullanılan Doğal Taşlar

Çalışma kapsamında, ilk olarak doğal taşların seçimi ve istenilen ebatlara getirilmesi işlemleri yapılmıştır. Doğal taş seçiminde, bina dış cephe kaplamalarında kullanılan üç farklı sedimanter kökenli kireçtaşı tercih edilmiştir. Bu üç doğal taşın tercih edilme sebebi, dış cephe kaplamada sektörel bazda çoğunlukla kullanılan doğal taşlar arasında olmasıdır. Çizelge 3.1’de bu doğal taşlarla ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan doğal taşlar

Doğal Taş Ticari İsmi	Çıkarıldığı Bölge	Kayaç Türü	Örnek kodu
Light Emperador	Konya/Beyşehir	Kireçtaşı	LE
Diana Royal	Eskişehir/Sivrihisar	Kireçtaşı	DR
Crema Bella	Bilecik	Kireçtaşı	CB

Bu kayalara ait görünümler Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1 Çalışmada kullanılan doğal taşlara ait görünümler

Kullanılan doğal taşlara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler de Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kullanılan doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri (Anonim 2024)

Kayaç Özellikleri	LE	DR	CB
Görünür Yoğunluk (kg/m ³)	2722	2638	2667
Açık Gözeneklilik (%)	1,2	1,5	0,3
Atmosfer Basıncında Su Emme (%)	0,4	0,6	0,17
Eğilme Dayanımı (MPa)	6,4	11,1	8,6
Bükülme Dayanımı (MPa)	7,2	10,8	8,3
Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	122	149	142
Aşınma Direnci (mm)	17,92	17,4	17,04

Çizelge 3.2’de verilen teknolojik özelliklere bakıldığında, DR ve CB doğal taşlarının basma dayanımları birbirine yakinken, LE doğal taşının basma dayanımının diğerlerine oranla yaklaşık %20 düşük olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak aşınma değeri, bükülme dayanımı, eğilme dayanımı değerleri de aynı ilişkidir. Yoğunlukları birbirine

yakın olmasının yanı sıra, gözeneklilik ve su emme değerlerinde CB doğal taşı en düşük değerlere sahiptir.

3.2 Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar kapsamında, temel olarak Dona Dayanım Tayini (TS EN 12371) ve Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini (TS EN 13364) standartları takip edilmiştir. Deneyler, belirlenen her bir doğal taş için biri donma-çözölme öncesi, sekizi ise farklı donma-çözölme döngüleri sonrası olmak üzere toplam dokuz ayrı sette saplama deliğinde kırılma yüğü tayinlerini içermektedir.

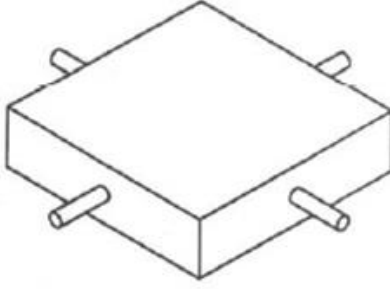
İlk etapta seçilen üç doğal taş numunesi, TS EN 13364 Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini deneyinin standardına uygun olarak $20 \times 20 \times 3$ cm ölçülerine göre ebatlanmıştır. Belirlenen her bir deney seti için üçer numune, toplam dokuz set deney için her doğal taştan 27 numune elde edilmiştir. Ebatlanan her bir numuneye Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini (TS EN 13364) deney standardına uygun olarak dört saplama deliğı açılıp standartta belirtilen şekilde saplama yerleştirilmiştir. Bu şekilde her doğal taş için toplam 108 saplama kullanılmıştır.

Saplama yerleştirilen doğal taş numunelerine Dona Dayanım Tayini (TS EN 12371) standardına uygun olarak sırasıyla 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 donma-çözölme döngüsü uygulanmıştır. Donma-çözölme öncesi ve yapılan döngüler sonrasında doğal taş numunelerinin saplama deliğinde kırılma yükleri belirlenmiştir.

3.2.1 Numunelerin Hazırlanması

İlgili standarda göre doğal taşların yapı özellikleri nedeniyle, deney yapılacak numune sayısında ve numunelere açılacak saplama deliklerinin yönünde değişiklikler olabilmektedir. Numune sayılarının tespiti için ilgili standartta taşın tabakalanma ve anizotropi düzlemlerinin varlıkları ve yönleri belirleyici olmaktadır. Şekil 3.2’de görölün anizotropi olmayan doğal taşlarda üçer numune kullanılır ve bu numuneler standartta tip0 olarak adlandırılmaktadır.

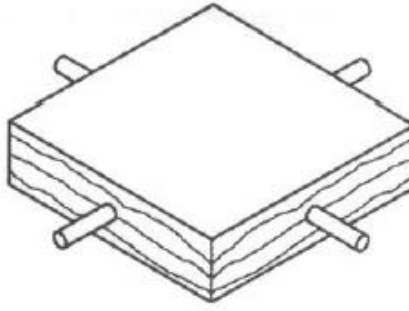
Tip 0



Şekil 3.2 Anizotropi düzlemi bulunmayan numune için deney düzeneği (TSE 2003)

Şekil 3.3'te belirtilen anizotropi düzlemine paralel olarak kesilmiş doğal taş çeşitlerinde üçer numune kullanılır ve bunlar standartta tip1 olarak geçmektedir.

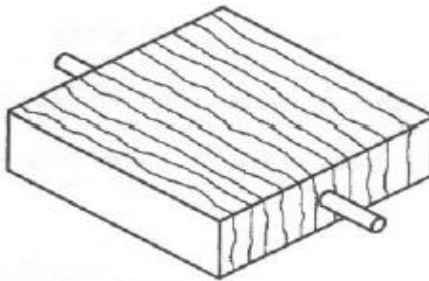
Tip 1



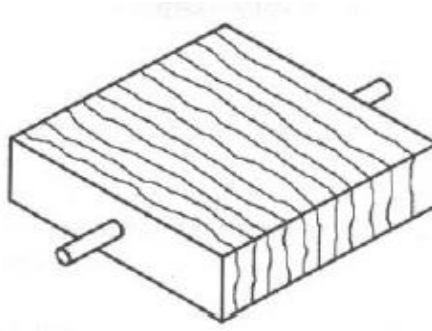
Şekil 3.3 Anizotropi düzlemine dik yönde uygulanmış yüke ait numune için deney düzeneği (TSE 2003)

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te belirtilen anizotropi düzlemine dik olarak kesilmiş doğal taş çeşitlerinde beşer numune kullanılır ve bunlar standartta tip2 olarak geçmektedir.

Tip 2



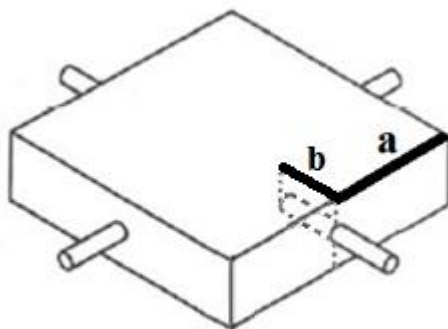
Şekil 3.4 Anizotropi düzlemine paralel yönde uygulanmış yüke ait numune için deney düzeneği (TSE 2003)



Şekil 3.5 Anizotropi düzlemine paralel yönde uygulanmış yüke ait numune için deney düzeneği (TSE 2003)

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan doğal taşlarda anizotropi düzlemi gözlemlenmediği için tip0'a göre donma-çözülme döngü öncesi ve her bir döngü için üçer numune hazırlanmıştır.

İlgili standarda göre, saplama deliklerinin yerleri, saplama boyutları-tolerans ve saplamanın oluşturulma yöntemi gibi özelliklerin üzerinde durulması gerekmektedir. Numunelere saplama deliği açılırken deliğin merkezi 0,5 mm hassasiyetle ölçülmüş ve diğer kenarlardan 98 mm ile 102 mm arasında bir uzaklık seçilerek saplama deliğinin oluşturulacağı yer (a) belirlenmiştir. Delik çeperi ve iki yüzey arasındaki taşın kalınlığı, 0,5 mm hassasiyetle ölçülerek $10 \pm 2,0$ mm olması sağlanmıştır. Oluşturulan deliklerin çapları standart gereği $10 \pm 0,5$ mm, derinlikleri (b) ise 30 ± 2 mm'dir. Saplama delikleri tungsten karbür uçlu darbesiz bir matkapla açılmıştır (Şekil 3.6).



$$98 \text{ mm} \leq a \leq 102 \text{ mm}$$

$$b \sim 30 \pm 2 \text{ mm}$$

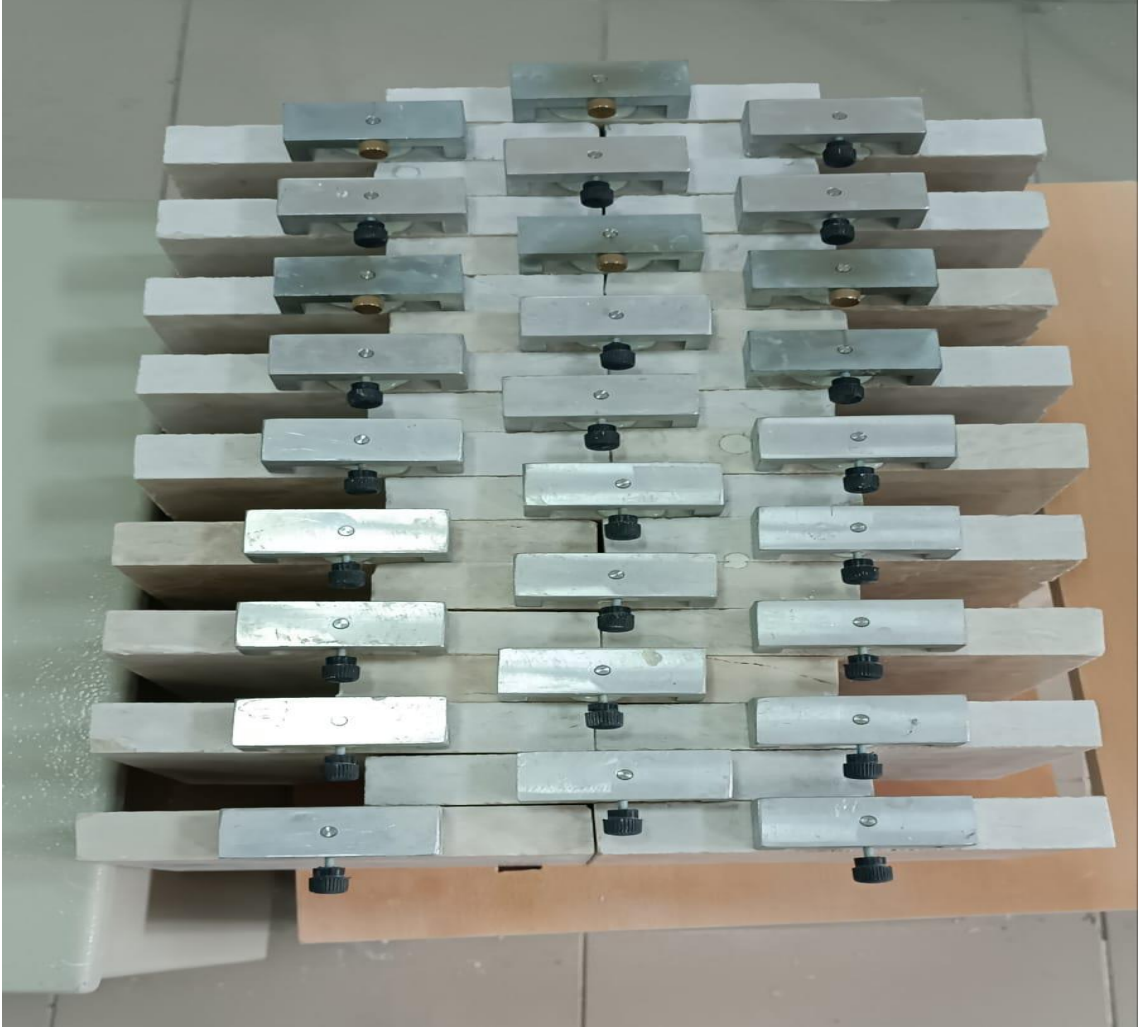
Şekil 3.6 Numunelerin saplama deliği merkezlerinin belirlenmesi (TSE 2003)

Deliklere saplamalar yerleştirilmeden önce numuneler etüvde 70 ± 5 C’de sabit kütleye ulaşılıncaya kadar kurutulmuş ve 20 ± 5 C sıcaklığa erişinceye kadar muhafaza edilmiştir. Numune hazırlama sürecine ait bir görüntü Resim 3.2’de verilmiştir.

apı $6,0 \pm 0,1$ mm, uzunluğu 50 mm olan saplamalar, EN 197-1’ e göre CEM I 52,5 R çimentosuyla kütlegece $0,6 \pm 0,1$ su/imento oranı ile hazırlanan harçla birlikte deliklere yerleştirilmiştir (Resim 3.3). Sonrasında deneylere başlamadan önce numuneler en az 20 ± 5 C’da muhafaza edilmiştir.



Resim 3.2 Doğal taş numune hazırlama süreci



Resim 3.3 Saplama delikleri yerleştirilmiş numuneler

3.2.2 Donma-Çözölme Döngüleri

TS EN 13364 Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini deneyinin standardına uygun olarak saplamaların yerleştirildiğı doğaı taş numuneleri üzerinde, TS EN 12371 (Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Dona dayanım tayini) standardına göre deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, standarda uygun şekilde ilk etapta numuneler $70\pm5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta sabit kütleye erişinceye kadar kurutulmuştur. 24 ± 2 saat arayla yapılan iki tartım arasındaki fark, ilk tartımın %0,1'inden daha büyük değilse, numunenin sabit tartıma eriştiğı kabul edilmiştir. Böylece, kuru numune ölçümünün ilk değeri tespit edilmiştir. Saplamaların yerleştirildiğı numunelerin etüve konulmuş görünümü Resim 3.4'te verilmiştir.



Resim 3.4 Saplama yerleştirilen doğal taş numunelerinin etüv işlem süreci

Etüvden alınan numuneler, birbirinden en az 15 mm uzaklıkta olacak şekilde su ilave edilecek kaba yerleştirilmiştir (Resim 3.5). Bu aşamada kademeli olarak numunelerin bulunduğu kaba su ilave edilerek örneklerin suya doymun hale gelmesi sağlanmıştır. İlk etapta numune yüksekliğinin yarısına kadar $20 \pm 10^\circ\text{C}$ 'deki su ilave edilmiştir [bu suyun ilave edildiği zaman başlangıç zamanı (t_0) olarak kaydedilmiştir]. Başlangıç zamanından 60 ± 5 dakika sonra numunelerin yüksekliğinin $\frac{3}{4}$ 'üne kadar su ilave edilmiştir. Başlangıç zamanından 120 ± 5 dakika sonra ortama su ilave edilerek numunelerin 25 ± 5 mm su altında kalması sağlanmıştır. Numuneler daha sonra başlangıç zamanına göre 48 ± 2 saat süreyle su içerisinde bırakılmıştır.



Resim 3.5 Su doldurulacak kaba yerleştirilmiş numuneler

Numuneler suya doygun hale geldikten sonra donma-çözülme döngülerine tabi tutulmuştur. Bunun için standartta belirtildiği gibi donma-çözülme deney ekipmanına yerleştirilmiştir (Resim 3.6). Bu ekipmanda bulunan donma-çözülme işlemlerinin gerçekleştiği tank içine sıcaklığı takip edilen ölçülen referans numune, deney numunelerinin ortasına yerleştirilmiştir. İstenen döngüde donma-çözülme deneyleri takip edilmiştir.

Donma-çözülme deney standardında belirtildiği şekilde her bir döngü, havada 6 saatlik donma periyodunu ve bunu takip eden suya daldırılmış durumda 6 saatlik çözülme periyodunu içermektedir. Buna göre çalışma kapsamında yapılması planlanan döngüler tamamlanmıştır. Her bir döngü standarda uygun şekilde Çizelge 3.3'te belirtilen başlangıç ve bitiş periyotlarına göre yapılmıştır.



Resim 3.6 Donma-çözülme ekipmanına yerleştirilmiş numuneler

Çizelge 3.3 Deneyde uygulanan döngü parametreleri

Deney aşamaları	Referans numune sıcaklığı	Süre
Döngü başlangıcı	$\geq +5^{\circ}\text{C} \leq +20^{\circ}\text{C}$	t_0
1. kademe	$\leq 0^{\circ}\text{C} \geq -8^{\circ}\text{C}$	$t_0 + 2$ saat
2. kademe	$\leq -8^{\circ}\text{C} \geq -12^{\circ}\text{C}$	$t_0 + 6$ saat
3. kademe	Tam daldırma	$t_0 + 6,5$ saat
4. kademe	$\geq +5^{\circ}\text{C} \leq +20^{\circ}\text{C}$	$t_0 + 9$ saat
5. kademe	$\geq +5^{\circ}\text{C} \leq +20^{\circ}\text{C}$	$t_0 + 12$ saat

Ekipman tankından çıkan 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 döngüsü tamamlanmış numunelerin döngü sonrasında etüvde sabit tartıma geldikten sonraki kuru ağırlıkları belirlenmiş olup, donma-çözülme işlemleri tamamlanmıştır.

3.3 Donma-Çözülme Döngüleri Öncesi ve Sonrasında Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini

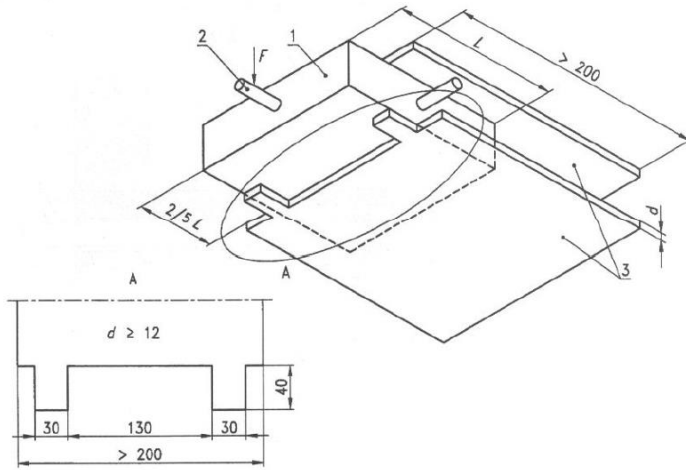
TS EN 13364 Saplama Deliğinde Kırılma Yüğü Tayini, binalarda döşeme veya kaplama olarak kullanılan doğal taşların saplama deliklerinde kırılma yüklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu deney, numunenin yan kenarlarında açılmış bir deliğe yerleştirilen saplamanın numune yüzeyine dik olarak kırılma yükünün belirlenmesi temeline dayanır. Tartımları alınan numuneler saplama deliğinde kırılma yükünün belirlenmesi için teste

tabi tutulmuştur. Bunun için test cihazında bulunan iki metal plaka arasına pabuçlarla numuneler sabitlenir (Resim 3.7).



Resim 3.7 Saplama deliğinde kırılma yükü tayini cihazında sabitlenen numune görünümü

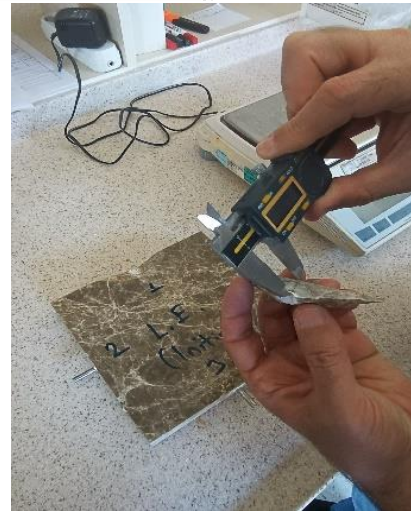
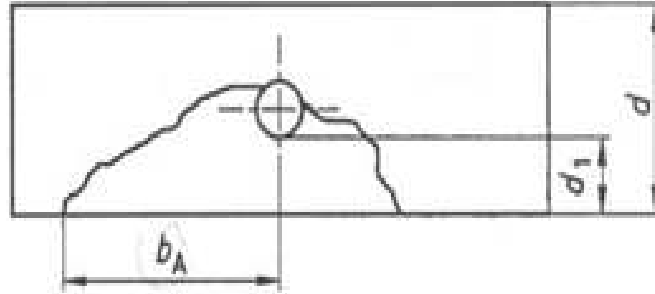
Numuneler sabitlenirken kendi ebatlarının %60'ını geçmemesi gerekmektedir. Numuneyi yerinde tutmak için sıkıştırma cihazı ölçüleri, Şekil 3.7'de verilmiştir. Uygulanan yük, numunenin kenarlarından en fazla 2 mm uzaklıkta, saplama eksenine dik yönde uygulanır. Cihazda gerekli sıfırlamalar yapıp, numune kırılıncaya kadar 50 ± 5 N/s hızla yük uygulanır. Numunenin kırıldığı yük kaydedilir.



- 1- Numune
- 2- Saplama
- 3- Metal plâka
- F- Numuneye uygulanan yük
- L- Numunenin boyu
- d- Metal plakanın kalınlığı

Şekil 3.7 Numuneyi yerinde tutmak için sıkıştırma cihazının alttan görünümü ve uygulanan ölçüler (TSE 2003)

Numunenin kırıldığı yük dışında, standarda uygun olarak kırılma şekli de incelenir. Resim 3.8’de verilen kırılma şeklinin belirlenmesinde kullanılan d_1 (uygulanan kuvvet doğrultusunda delikten yüzeye olan mesafe) ve b_A (deliğin merkezi ile kırığın kenarı arasındaki en büyük mesafe) parametreleri de kumpasla ölçülür.



Resim 3.8 Numunelerin kırılma şekillerinin belirlenmesi

Yapılan saplama deliğinde kırılma yükü tayini deneyleri sonucunda belirlenen parametrelere ilişkin deney sonuçları döngülerine göre raporlanır.

3.3.1 Kırılma Yüklerinin ve Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan doğal taşlar için yapılan her donma-çözülme döngüsünde üçer numune kullanılmış ve bu numunelere yerleştirilen dörder saplama için kırılma yükü (BL) değerleri $BL_1, BL_2, \dots, BL_{12}$ şeklinde kaydedilmiştir. Her bir döngü için ortalama kırılma yükü değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan ortalama ($\overline{BL}$) formülü Eşitlik 3.1’de verilmiştir.

$$\overline{BL} = \frac{1}{n} \sum_i (BL_i) \quad (3.1)$$

Burada; $\overline{BL}$: Ortalama kırılma yükü (N)

n: Saplama deliği sayısı

BL_i : Her saplama deliğinin kırılma yükü (N)

Ortalama değerler hesaplandıktan sonra her bir döngü için standart sapma (s) hesaplanmıştır. Bu hesaplama Eşitlik 3.2 yardımıyla yapılmıştır.

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (BL_i - \overline{BL})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

Burada; s: Standart sapma

Daha sonra varyasyon katsayısı Eşitlik 3.3 ile hesaplanmıştır.

$$v = \frac{s}{\overline{BL}} \quad (3.3)$$

Burada; v: Varyasyon katsayısı

Her bir ilgili yükleme doğrultusu için delikten kırılmanın olduğu yüzeye olan mesafenin

(0,1 mm hassasiyetle) (d_1), delik merkezi ile kırığın kenarı arasındaki en büyük mesafenin (1,0 mm hassasiyetle) (b_A), kırılma yükünün (BL) (50 N hassasiyetle) ortalama değerleri hesaplanmıştır. Her bir deney için sonuçlar ayrı ayrı kaydedilmiştir. Kaydedilen sonuçlar ele alınarak ayrıca tekrar ortalama, standart sapma ve varyasyon hesaplamaları da yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.4’te özetlenmiştir.

Çizelge 3.4 Deney sonuçlarının ortalama, standart sapma ve varyasyon sonuçları

	LE			DR			CB		
Döngü	d_1 (mm)	b_A (mm)	BL (kN)	d_1 (mm)	b_A (mm)	BL (kN)	d_1 (mm)	b_A (mm)	BL (kN)
0	11,00	43,03	1,477	11,17	43,65	1,911	10,88	40,98	1,524
5	11,01	42,64	1,259	12,12	47,25	1,839	10,50	36,02	1,430
10	11,30	51,48	1,091	11,55	39,64	1,812	11,00	40,91	1,332
15	11,36	52,98	1,092	11,44	40,04	1,784	10,27	41,50	1,326
20	11,94	41,77	1,131	11,38	40,61	1,727	10,96	41,97	1,326
25	11,68	42,65	1,131	11,79	39,38	1,697	10,57	38,82	1,324
30	11,10	39,21	1,042	11,99	42,83	1,692	10,44	44,51	1,311
35	11,96	50,28	1,137	11,55	41,36	1,666	11,12	43,72	1,290
40	11,60	44,03	1,156	11,76	43,63	1,644	10,09	38,68	1,248
$\overline{BL}$	11,44	45,34	1,16	11,63	42,04	1,75	10,65	40,79	1,33
s	0,37	4,90	0,13	0,30	2,55	0,09	0,36	2,63	0,10
v	0,03	0,11	0,11	0,02	0,06	0,05	0,03	0,06	0,08

Elde edilen ortalama ($\overline{BL}$), standart sapma (s) ve varyasyon (v) değerleri, istatistiksel işlemlere başlamadan önce incelenmiştir. Elde edilen verilerin standart sapmalara göre normal dağılım dahilinde olduğu görülmektedir. Verilerin tamamı 3 standart sapma dahilindedir ($\overline{BL} \pm 3s$). Varyasyon katsayısının düşük olması da verilerin mümkün olduğunca ortalama etrafında olduğunu göstermektedir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, genel olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk etapta, kırılma yük kayıpları hesaplanarak donma-çözülme döngüleriyle grafiksel ilişkileri incelenmiştir. İkinci aşamada, her doğal taş için kırılma yük kayıplarıyla kırılma yükü parametreleri arasında regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise her bir doğal taş için kırılma yük kayıplarının ileriye dönük tahminleri yapılmıştır. Bu çalışmalar Minitab istatistiksel analiz programıyla gerçekleştirilmiştir.

4.1 Kırılma Yükü Kayıpları ile Donma-Çözülme Döngüleri İlişkileri

Her bir doğal taş için kırılma yükü kayıpları Eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır.

$$L_{BL} = \frac{BL_0 - BL_C}{BL_0} \times 100 \quad (4.1)$$

Burada; L_{BL} : Kırılma yükü kaybı (%)

BL_0 : Donma-çözülme döngülerinden önce ölçülen kırılma yükü (kN)

BL_C : Donma-çözülme döngülerinden sonra ölçülen kırılma yükü (kN)

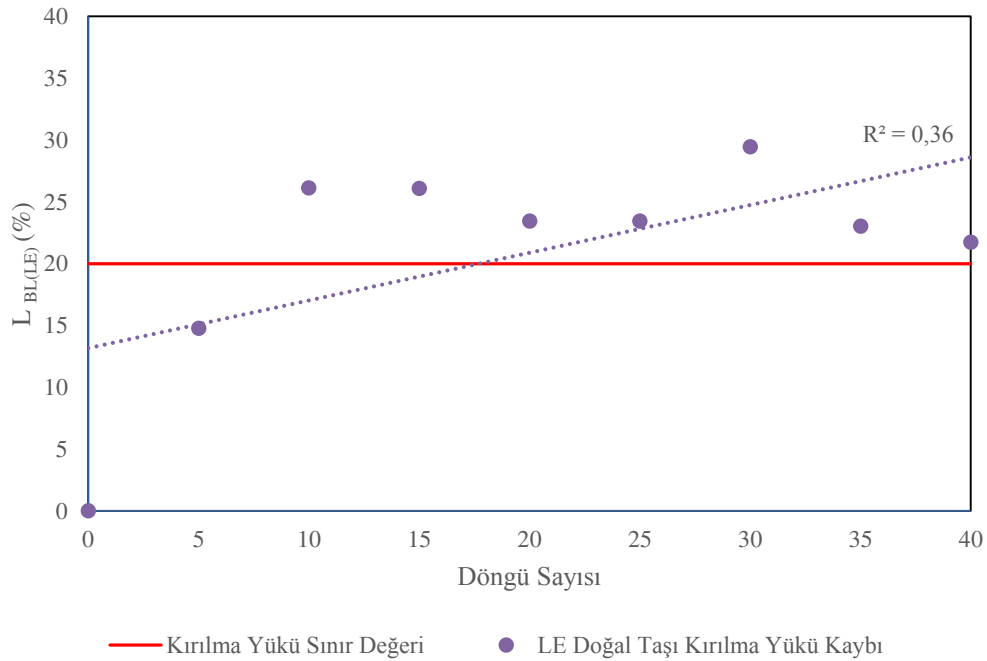
(C= 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40)

Donma-çözülme döngüleri sonrası kırılma yük kayıpları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kırılma yüklerinin yüzdesel kayıpları

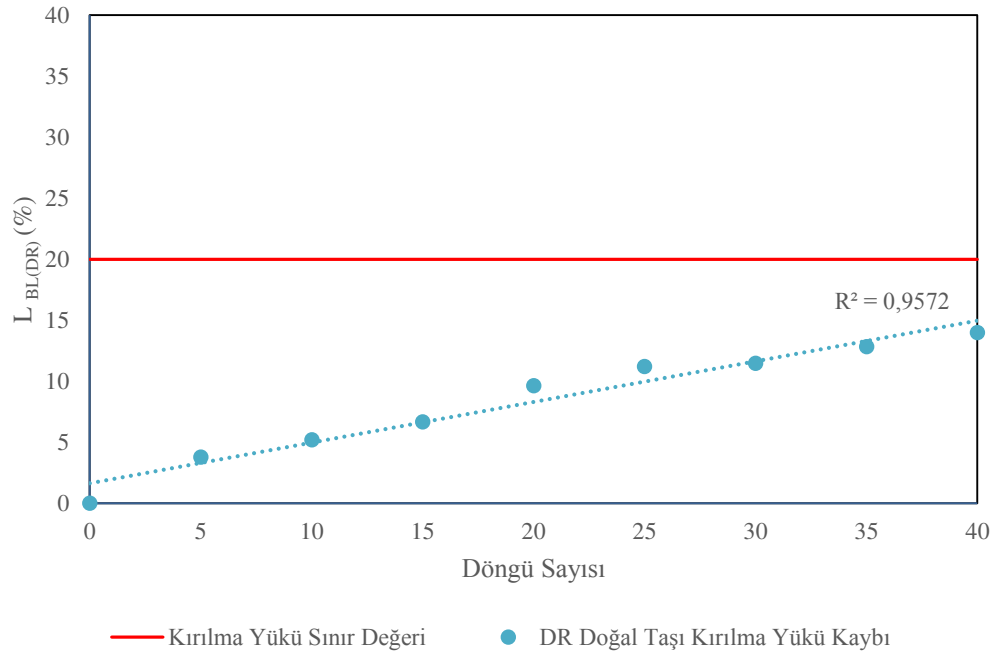
Döngü	LE		DR		CB	
	BL (kN)	L_{BL} (%)	BL (kN)	L_{BL} (%)	BL (kN)	L_{BL} (%)
0	1,477	0	1,911	0	1,524	0,00
5	1,259	14,76	1,839	3,77	1,430	6,17
10	1,091	26,13	1,812	5,18	1,332	12,60
15	1,092	26,07	1,784	6,65	1,326	12,99
20	1,131	23,43	1,727	9,63	1,326	12,99
25	1,131	23,43	1,697	11,20	1,324	13,12
30	1,042	29,45	1,692	11,46	1,311	13,98
35	1,137	23,02	1,666	12,82	1,290	15,35
40	1,156	21,73	1,644	13,97	1,248	18,11

Çizelge 4.1’de verilen kırılma yük kayıplarıyla döngü sayıları arasında ilişkiler LE, DR ve CB doğal taşları için sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’te verilmiştir. Erguvanlı (1995)’ya göre, donma-çözülme döngüleri sonrasında tek eksenli basma dayanımlarında kaybın %20’den fazla olması durumunda doğal taşların donma-çözölmeye maruz kaldıkları soğuk bölgelerde kullanılmaması gerektiği belirtilmektedir. Camposinhos (2014)’e göre, don testinden önce ve sonra ölçülen eğilme dayanım kaybı %20 veya daha az olan bir doğal taş, dona dayanıklı olarak kabul edilebilir. Saplama deliğinde kırılma yükünde meydana gelecek kaybın da kayaç dinamiği açısından benzer bir şekilde değerlendirilmesi uygun olacaktır.

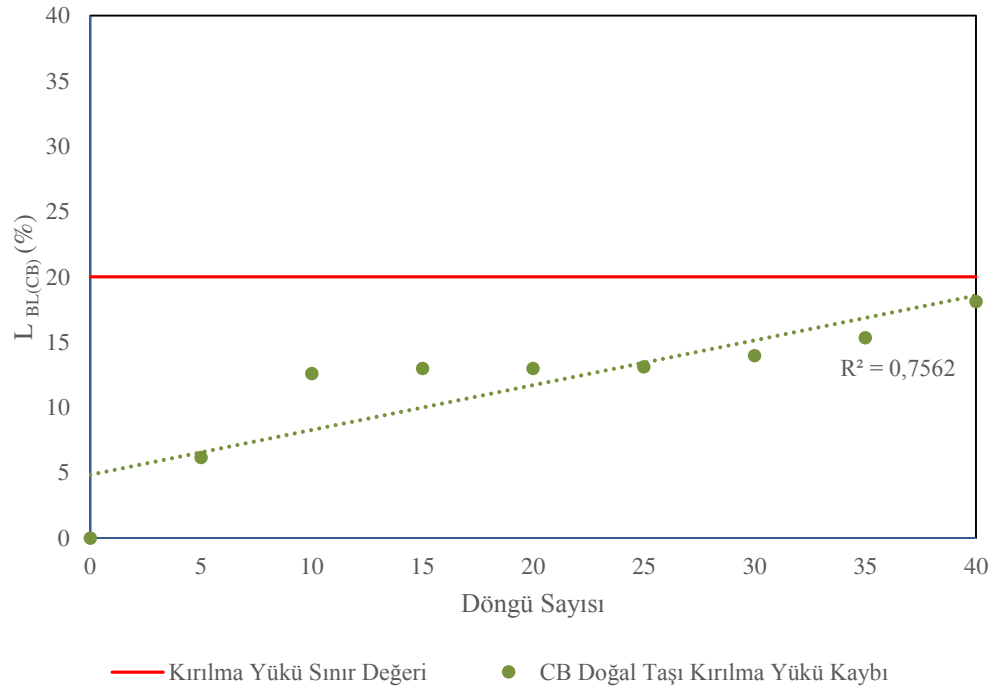


Şekil 4.1 LE kırılma yük kayıpları ile döngü sayıları ilişkileri

Şekil 4.1’e bakıldığında LE doğal taşının yaklaşık 7 döngüden sonra %20’lik kaybı aştığı ve bu doğal taşın donma-çözölmeye maruz kalacağı bölgelerde kaplama malzemesi olarak kullanımının ekonomik olmayacağı anlaşılmaktadır. Bu doğal taş, dona maruz kaldığı dış cephelerde kısa sürede uğrayacağı deformasyon sonucu duraylılığını yitirebilir. LE doğal taşının breşik dokuda bir kireçtaşı olması ve yapısında çatlak düzlemlerinin bulunması bu sonucu desteklemektedir.



Şekil 4.2 DR kırılma yüğü kayıpları ile döngü sayıları ilişkileri



Şekil 4.3 CB kırılma yüğü kayıpları ile döngü sayıları ilişkileri

Şekil 4.2 ve 4.3'te verilen donma-çözölme döngüleri ve kırılma yüğü kayıplarına bakıldığında DR ve CB doğal taşlarının 40 döngü için de %20'lik kaybı aşmadığı ve bu doğal taşların soğuk bölgelerde de kaplama malzemesi olarak uzun süre kullanılabileceği

söylenbilir. Kırılma yükünde meydana gelen kayıpların, cephe uygulamalarında donma-çözülme sonrası kaplamalarda oluşacak eğilmelerle ilişkilendirilmesi doğal taşların soğuk bölgelerde kullanımına yönelik yaklaşımı destekleyecektir.

4.2 Donma-Çözülme Sonrası Kırılma Yükü Kaybının Belirlenmesine Yönelik İstatistiksel Çalışmalar

Tez kapsamında donma-çözülme döngüleri sonrası, doğal taş kaplamalarının saplama deliklerinde kırılma yükü (BL) kayıplarının belirlenmesi için yapılan istatistiksel çalışmalarda, döngü sayıları ve kırılma yükü parametreleri kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Donma-çözülme döngü sayısı (N_c), uygulanan kuvvet doğrultusunda delikten yüzeye olan mesafe (b_A), deliğin merkezi ile kırığın kenarı arasındaki en büyük mesafe (d_1), numune kalınlığı (d), sıcaklık (T) ve bağıl nem (RH) girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Bu parametrelerden saplama deliğinde kırılma yükü kayıplarının tahminine yönelik analizler yapılmıştır. İstatistiksel analizde kullanılan girdi parametreleri LE, DR ve CB doğal taşları için sırasıyla Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.2 LE doğal taşı için istatistiksel analiz girdi parametreleri

N_c	BL (kN)	b_A (mm)	d_1 (mm)	d (mm)	T (°C)	RH (%)	Kırılma Yükü Kaybı (LBL) (%)
0	1,477	43,03	11,00	30,28	24,5	30	0,00
5	1,259	42,64	11,01	32,28	24,6	35	14,76
10	1,091	51,48	11,30	32,05	24,6	35	26,13
15	1,092	52,98	11,36	28,61	24,6	27	26,07
20	1,131	41,77	11,94	31,27	24,6	45	23,43
25	1,131	42,65	11,68	30,66	24,6	45	23,43
30	1,042	39,21	11,10	29,83	24,3	37	29,45
35	1,137	50,28	11,96	30,75	24,6	45	23,02
40	1,156	44,03	11,60	31,69	24,6	45	21,73

Çizelge 4.3 DR doğal taşı için istatistiksel analiz girdi parametreleri

N_c	BL (kN)	b_A (mm)	d_1 (mm)	d (mm)	T (°C)	RH (%)	Kırılma Yükü Kaybı (LBL) (%)
0	1,911	43,65	11,17	30,35	24,6	45	0,00
5	1,839	47,25	12,12	31,02	25,0	31	3,77
10	1,812	39,64	11,55	31,12	24,6	45	5,18
15	1,784	40,04	11,44	30,32	24,6	27	6,65
20	1,727	40,61	11,38	31,02	24,6	28	9,63
25	1,697	39,38	11,79	31,06	24,6	29	11,20
30	1,692	42,83	11,99	30,87	24,6	27	11,46
35	1,666	41,36	11,55	30,39	24,7	31	12,82
40	1,644	43,63	11,76	31,42	24,6	45	13,97

Çizelge 4.4 CB doğal taşı için istatistiksel analiz girdi parametreleri

Nc	BL (kN)	b _A (mm)	d ₁ (mm)	d (mm)	T (°C)	RH (%)	Kırılma Yüğü Kaybı (L _{BL}) (%)
0	1,524	40,98	10,88	29,31	24,5	30	0,00
5	1,430	36,02	10,50	28,39	25,0	30	6,17
10	1,332	40,91	11,00	29,77	24,6	30	12,60
15	1,326	41,50	10,27	28,96	24,3	26	12,99
20	1,326	41,97	10,96	30,54	24,3	27	12,99
25	1,324	38,82	10,57	28,42	24,6	45	13,12
30	1,311	44,51	10,44	29,51	24,6	45	13,98
35	1,290	43,72	11,12	29,58	24,6	45	15,35
40	1,248	38,68	10,09	29,63	24,6	30	18,11

Yapılan istatistiksel çalışmaların temelinde, deneysel çalışmalardan elde edilen çıktıların kullanılabilir hale getirilmesi ön plandadır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, yapılan istatistiksel çalışmalarla değer kazanmakta ve anlamlı hale gelmektedir. İstatistiksel çalışmalarda, özellikle elde edilen çıktı parametrelerinin birbirleriyle ilişkilerinin incelenmesinde regresyon analizleri kullanılmaktadır. Analizler neticesinde oluşturulan regresyon modelleri, modelleme aşamasında belirtilen bağımlı ve bağımsız değişkenlerden türetilmektedir. Türetilen bu modellerde bağımlı değişken, bağımsız değişkenler vasıtasıyla tanımlanmaktadır, bağımlı değişkende oluşan farklılıklar bağımsız değişkenlerle açıklanmaktadır. Bu konuda ölçüt olarak belirtme katsayısı (coefficient of determination – R^2) ve regresyon katsayısı (regression coefficient – R) kullanılmaktadır.

Model geçerliliği ise varyans analiziyle belirlenmektedir. Varyans analizinde sonuçlar ANOVA (ANalysis Of VAriance) çizelgeleriyle sunulmaktadır. Çizelgelerde verilen F değeri ve diğer sonuçlar, türetilen modelin geçerliliği hakkında bilgi vermektedir.

İstatistiksel çalışmaların gerçekleştirildiği Minitab isimli istatistiksel analiz programında her doğal taş için ayrı ayrı işlemler gerçekleştirilmiştir. Bağımlı değişken olarak seçilen kırılma yüğü kaybının (L_{BL}), bağımsız değişkenler olan N_C, b_A, d₁, d, T ve RH değerlerinden tahminine yönelik regresyon modellerinin oluşturulmasına çalışılmıştır. Öncelikle, her bir doğal taş için kurulacak çok değişkenli regresyon modelinin türetilmesi için parametre seçimi yapılmıştır.

4.2.1 En İyi Alt Kümeler Regresyonu

Modellerin kurulmasında gerekli en iyi bağımsız değişkenlerin seçilmesi için öncelikle en iyi alt kümeler regresyonu (best subsets regression) uygulanmıştır. Bu regresyon işleminde temel amaç, istatistiksel olarak bağımlı değişkeni tanımlayacak en küçük bağımsız değişken alt kümesini seçmektir.

En iyi alt kümeler regresyonunda, oluşturulan alt kümeler düzeltilmiş belirtme katsayısı (düzeltilmiş R^2) ve Mallows' C_p istatistiği ile değerlendirilmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri Eşitlik 4.2 ile hesaplanmaktadır ve ne kadar yüksekse model o kadar uygundur (Kadane ve Lazar 2004).

$$\text{Düzeltilmiş } R^2 = 1 - \frac{(n-1)}{(n-p)} (1 - R^2) \quad (4.2)$$

Burada; n: Toplam veri sayısı

p: Modelde kullanılan değişken sayısı

Mallows' C_p istatistiği ise, modellerin karşılaştırıldığı ve farklı sayıda parametre içeren modellerin uygunluğunu test eden bir istatistiktir. Eşitlik 4.3 ile hesaplanmaktadır ve ne kadar düşükse model o kadar uygundur (Kadane ve Lazar 2004). Eğer C_p istatistiği negatif değerde ise bu değer 0 olarak alınmalıdır.

$$C_p = \frac{RSS_p}{\hat{\sigma}^2} + (2p - n) \quad (4.3)$$

Burada; RSS_p : p sayıda parametre ile oluşturulan modelin artık kareler toplamı

$\hat{\sigma}^2$: Tüm modelin tahmin edilen hata varyansı

Dolayısıyla, en iyi alt kümeler regresyonunda en düşük Mallows' C_p istatistiği ve en yüksek düzeltilmiş R^2 aranmaktadır. Bu iki koşulun oluşmadığı durumlarda sırasıyla, ortalama karesel hata (MSE), tahmini R^2 ve regresyon modelindeki bağımsız değişkenlerin varyans şişme faktörleri belirleyici olabilmektedir.

Ortalama karesel hata (MSE), modelde tahmin edilen değerin gerçeğe yakınlığının bir göstergesidir. Eşitlik 4.4 ile belirlenir ve sıfıra yakın olması istenir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2 \quad (4.4)$$

Burada; n: Veri sayısı

$\hat{Y}_i$: Tahmin edilen değer

Y_i : Gerçek değer

Tahmini R^2 (predicted R^2), kurulan modelin yeni veriler için performansını gösteren bir istatistiktir. Eşitlik 4.5 ile belirlenir.

$$Tahmini R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{i(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4.5)$$

Burada; $\hat{Y}_{i(i)}$: n sayılı bir veri setinde her gözlemin birer birer ihmal edilerek n-1 gözlemlerle kurulan regresyon modelinden ihmal edilen gözlem parametreleri kullanılarak hesap edilen tahmini değer

Varyans şişme faktörü (variance inflation factor, VIF), regresyon modelindeki bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan doğrusal ilişkiyi göstermektedir. Varyans şişme faktörü değerlerinin 10'un üzerinde olmaması gerekmektedir. Varyans şişme faktörü (VIF), Eşitlik 4.6 ile hesaplanmaktadır.

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} \quad (4.6)$$

Tez kapsamında her bir doğal taş için yapılan en iyi alt kümeler regresyon sonuçları LE için Çizelge 4.5, DR için Çizelge 4.6 ve CB için ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 LE doğal taşı için en iyi alt kümeler regresyonu

Model No	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²	Mallows' C _p	Ortalama Karesel Hata (MSE)	N _C	b _A (mm)	d ₁ (mm)	d (mm)	T (°C)	RH (%)
1	36,0	26,9	0,0	-2,5	7,5265	X					
2	17,0	5,2	0,0	-1,7	8,5706			X			
3	43,3	24,4	0,0	-0,8	7,6527	X	X				
4	38,6	18,1	0,0	-0,6	7,9627	X					X
5	46,5	14,4	0,0	1,1	8,1440	X	X			X	
6	43,7	9,9	0,0	1,2	8,3544	X	X				X
7	47,7	0,0	0,0	3,1	9,0023	X	X			X	X
8	47,6	0,0	0,0	3,1	9,0089	X	X	X		X	
9	48,8	0,0	0,0	5,0	10,2830	X	X	X	X	X	
10	47,9	0,0	0,0	5,1	10,3720	X	X	X		X	X
11	49,5	0,0	0,0	7,0	12,5140	X	X	X	X	X	X

Çizelge 4.6 DR doğal taşı için en iyi alt kümeler regresyonu

Model No	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²	Mallows' C _p	Ortalama Karesel Hata (MSE)	N _C	b _A (mm)	d ₁ (mm)	d (mm)	T (°C)	RH (%)
1	95,7	95,1	91,7	259,1	1,0326	X					
2	13,8	1,5	0,0	5325,1	4,6384				X		
3	97,4	96,6	94,0	155,4	0,8637	X					X
4	96,3	95,1	85,7	223,6	1,0330	X	X				
5	99,0	98,4	96,1	62,2	0,5978	X			X		X
6	97,9	96,7	88,8	126,7	0,8494	X	X	X			
7	99,7	99,4	98,0	19,5	0,3618	X	X		X		X
8	99,4	98,8	96,2	38,0	0,5114	X		X	X		X
9	99,9	99,7	91,3	10,4	0,2634	X	X		X	X	X
10	99,7	99,2	96,4	20,7	0,4089	X	X	X	X		X
11	100,0	99,9	96,6	7,0	0,1681	X	X	X	X	X	X

Çizelge 4.7 CB doğal taşı için en iyi alt kümeler regresyonu

Model No	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini R ²	Mallows' C _p	Ortalama Karesel Hata (MSE)	N _C	b _A (mm)	d ₁ (mm)	d (mm)	T (°C)	RH (%)
1	75,6	72,1	53,2	-2,5	2,8501	X					
2	9,1	0,0	0,0	4,3	5,5031				X		
3	79,6	72,7	45,3	-0,9	2,8193	X					X
4	76,8	69,1	43,8	-0,6	3,0033	X				X	
5	79,7	67,5	32,9	1,1	3,0763	X		X			X
6	79,7	67,5	26,8	1,1	3,0766	X				X	X
7	80,0	60,0	0,0	3,1	3,4146	X		X	X		X
8	79,8	59,6	0,0	3,1	3,4315	X	X		X		X
9	80,5	48,1	0,0	5,0	3,8910	X	X	X	X		X
10	80,3	47,4	0,0	5,0	3,9149	X		X	X	X	X
11	80,5	22,1	0,0	7,0	4,7648	X	X	X	X	X	X

Çizelge 4.5, 4.6 ve 4.7’de verilen en iyi alt kümeler regresyonlarına göre en uygun modeller (koyu renkle gösterilmiş) Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Doğal taşlarda kırılma yükü kayıpları için en uygun model ve değişkenler

Doğal Taş	En Uygun Model No	Model Bağımsız Değişkenleri
LE	5 (Çizelge 4.5)	N_C , b_A ve T
DR	11 (Çizelge 4.6)	N_C , b_A , d_1 , d , T ve RH
CB	5 (Çizelge 4.7)	N_C , d_1 ve RH

4.2.2 LE Doğal Taşı İçin Regresyon Modeli

Çizelge 4.5’te verilen en iyi alt kümeler regresyonu sonucu oluşturulan modeller içerisinde düzeltilmiş R^2 ve Mallows' C_p değeri dikkate alındığında 5 nolu modelin en uygun model olduğu görülse de istatistiksel anlamda bu modelin başarılı bir model olamayacağı ($R^2 = 0,465$) anlaşılmaktadır. 5 nolu model bağımsız değişkenlerine göre yapılan çoklu regresyon analizinin istatistikleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

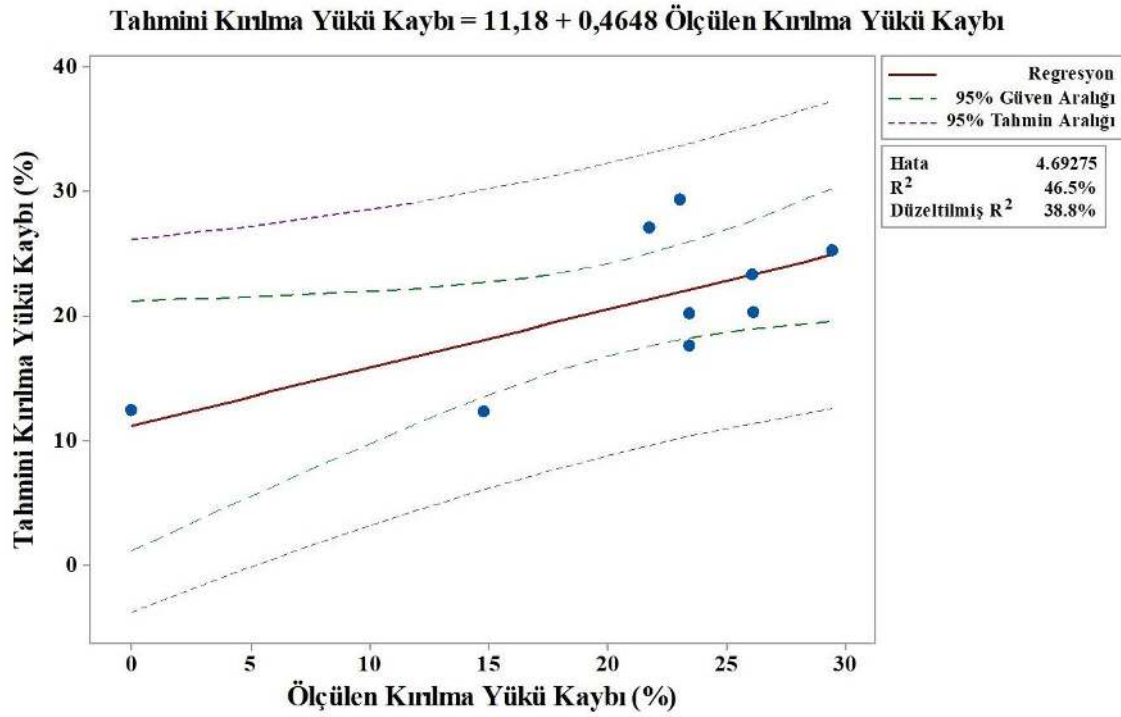
Çizelge 4.9 LE doğal taşı 5 nolu çoklu regresyon analizi istatistikleri

Terimler	Katsayı	Katsayı Standart Hatası	T-Değeri	P-Değeri	Varyans Şişme Faktörü (VIF)
Sabit	429	803	0,53	0,616	
N_C	0,392	0,211	1,85	0,123	1,01
b_A (mm)	0,680	0,688	0,99	0,368	1,37
T (°C)	-18,2	33,3	-0,55	0,609	1,38

Çizelge 4.9’da verilen regresyon istatistiklerine göre kurulabilecek model Eşitlik 4.7’de verilmiştir.

$$L_{BL} = 429 + 0,392N_C + 0,680b_A - 18,2 T \quad (4.7)$$

Eşitlik 4.7’ye göre kırılma yükü kayıplarının tahminine yönelik geliştirilen regresyon denklemi için R^2 0,4648 olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla modelden elde edilen tahmini değerler arasındaki ilişki incelenmiş ve Şekil 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.4 LE doğal taşı için ölçülen ve tahmini kırılma yüğü kaybı arasındaki ilişki

Eşitlik 4.7’de verilmiş regresyon modelinin geçerliliğinin belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Kırılma yüğü kaybı için kurulan regresyon denkleminin varyans analizi (LE)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Karelerin Toplamı	Düzeltilmiş Ortalamanın Karesi	F Değeri	P (Olasılık)
Model	3	288,06	96,02	1,45	0,334
N _C	1	223,14	223,14	3,36	0,126
b _A (mm)	1	45,15	45,15	0,68	0,447
T (°C)	1	19,77	19,77	0,30	0,609
Hata	5	331,62	66,32		
Toplam	8	619,68			

Yapılan varyans analizine göre modelin geçerliliği için F ve P değerlerinin yorumlanması gerekmektedir. Modelin geçerliliğinin tespitinde P değerinin anlamlılığına bakılmalıdır. Bu modelin P değeri, istatistiksel açıdan modelin anlamlı olması için gerekli değerin (P=0,05) üzerindedir. Bu durumda modelin F değerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Modelin F değeri de kritik F değerinden ($F_{(3,5)} = 5,41$) düşüktür. Dolayısıyla LE doğal taşı için oluşturulan modelin geçerliliği yeterli değildir. Burada örnek sayısının artırılması P değerini artıracaktır ve modelin anlamlılığı ve geçerliliği konusunda etkili olacaktır.

4.2.3. DR Doğal Taşı İçin Regresyon Modeli

Çizelge 4.6’da verilen alt kümelerle göre DR doğal taşı için en iyi regresyon modelinin 11 nolu model olduğu görülmektedir. Bu model için düzeltilmiş R^2 değerinin 0,99 değeri ile en yüksek olduğu ve Mallows' C_p değerinin de 7,0 ile en düşük olduğu model seçilmiştir. 11 nolu model bağımsız değişkenlerine göre yapılan çoklu regresyon analizinin istatistikleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 DR doğal taşı 11 nolu çoklu regresyon analizi istatistikleri

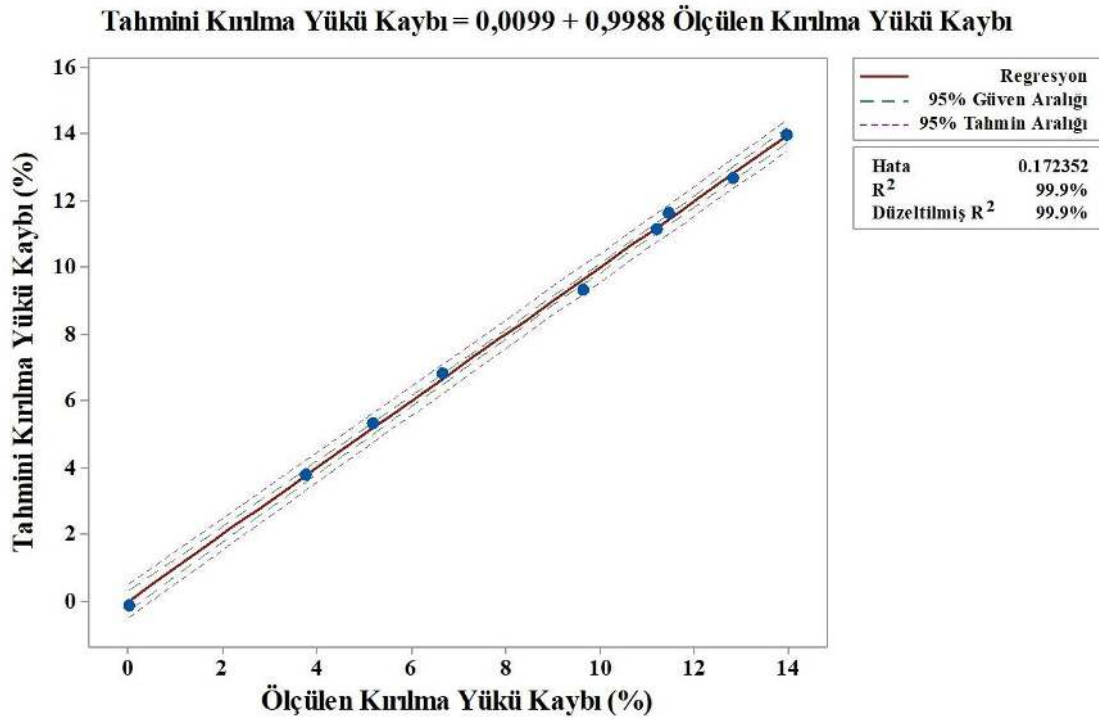
Terimler	Katsayı	Katsayı Standart Hatası	T-Değeri	P-Değeri	Varyans Şişme Faktörü (VIF)
Sabit	-121,9	20,1	-6,05	0,026	
N_c	0,3123	0,00571	54,70	0,000	1,73
b_A (mm)	-0,2385	0,0405	-5,89	0,028	3,03
d_1 (mm)	-0,913	0,394	-2,32	0,146	4,04
d (mm)	2,020	0,229	8,83	0,013	2,30
T (°C)	3,466	0,873	3,97	0,058	3,84
RH (%)	-0,0917	0,0106	-8,66	0,013	2,14

Çizelge 4.11’de verilen regresyon istatistiklerine göre türetilcek çoklu regresyon modelinde kullanılacak parametrelerin varyans şişme faktörlerinin uygun olduğu görülmektedir. Varyans şişme faktörlerinin 10’un altında olması bağımsız değişkenlerin arasındaki ilişkilerin kurulabilecek modelde herhangi bir sorun teşkil etmeyeceğini göstermektedir. Bu değişkenlerle kurulan regresyon modeli Eşitlik 4.8’de verilmiştir.

$$L_{BL} = -121,9 + 0,3123 N_c - 0,2385 b_A - 0,913 d_1 + 2,020 d + 3,466 T - 0,0917 RH \quad (4.8)$$

DR doğal taşı için oluşturulan bu regresyon modeli, kırılma yükü kayıplarının tahmininde oldukça başarılıdır. Geliştirilen regresyon modeli için $R^2 = 0,9997$ olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmalardan ölçülen saplama deliğinde kırılma yüklerinden donma-çözülme döngüleri sonrası elde edilen kırılma yük kayıplarıyla kurulan regresyon modelinden elde edilen tahmini kırılma yük kayıpları arasındaki ilişki Şekil 4.5’te verilmiştir.

Eşitlik 4.8’de verilmiş regresyon modelinin geçerliliğinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları da Çizelge 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.5 DR doğal taşı için ölçülen ve tahmini kırılma yüğü kaybı arasındaki ilişki

Çizelge 4.12 Kırılma yüğü kaybı için kurulan regresyon denkleminin varyans analizi (DR)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Karelerin Toplamı	Düzeltilmiş Ortalamanın Karesi	F Değeri	P (Olasılık)
Model	6	174,597	29,0996	1029,86	0,001
N _C	1	84,536	84,5356	2991,79	0,000
b _A (mm)	1	0,979	0,9794	34,66	0,028
d _I (mm)	1	0,152	0,1517	5,37	0,146
d (mm)	1	2,202	2,2016	77,92	0,013
T (°C)	1	0,445	0,4450	15,75	0,058
RH (%)	1	2,120	2,1204	75,04	0,013
Hata	2	0,057	0,0283		
Toplam	8	174,654			

DR doğal taşı için donma-çözülme sonrası kırılma yüğü kayıplarının tahminine yönelik geliştirilen regresyon modelinin varyans analizine göre model istatistiksel olarak geçerli ve anlamlıdır. Modelin F ve P değerlerine bakıldığında, iki değerinde modelin anlamlılığını karşıladığı görülmektedir. Bu modelin P değerinin 0,01-0,001 arasında olması yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık ifade etmektedir. Modelin F değeri kontrol edildiğinde, kritik F değerinden ($F_{(6,2)} = 19,33$) büyüktür. Dolayısıyla DR doğal taşı için oluşturulan regresyon modelinin, kullanılan değerler dışında tahmin yeteneği oldukça yüksektir.

4.2.4 CB Doğal Taşı İçin Regresyon Modeli

CB doğal taşı için en iyi regresyon modelinin 5 nolu model olduğu (Çizelge 4.7) yapılan en iyi alt kümeler regresyonuna göre belirlenmiştir. Bu model için düzeltilmiş R^2 değeri 0,675 ve Mallows' C_p değeri de 1,1 olarak hesaplanmıştır. 5 nolu modele göre yapılan regresyon analizinin istatistikleri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 CB doğal taşı 5 nolu çoklu regresyon analizi istatistikleri

Terimler	Katsayı	Katsayı Standart Hatası	T-Değeri	P-Değeri	Varyans Şişme Faktörü (VIF)
Sabit	2,2	35,1	0,06	0,952	
N_c	0,399	0,102	3,91	0,011	1,65
d_1 (mm)	0,67	3,37	0,20	0,850	1,23
RH (%)	-0,164	0,166	-0,99	0,367	1,56

Çizelge 4.13'te verilen regresyon istatistiklerine göre türetilcek çoklu regresyon modeli Eşitlik 4.9'da verilmiştir.

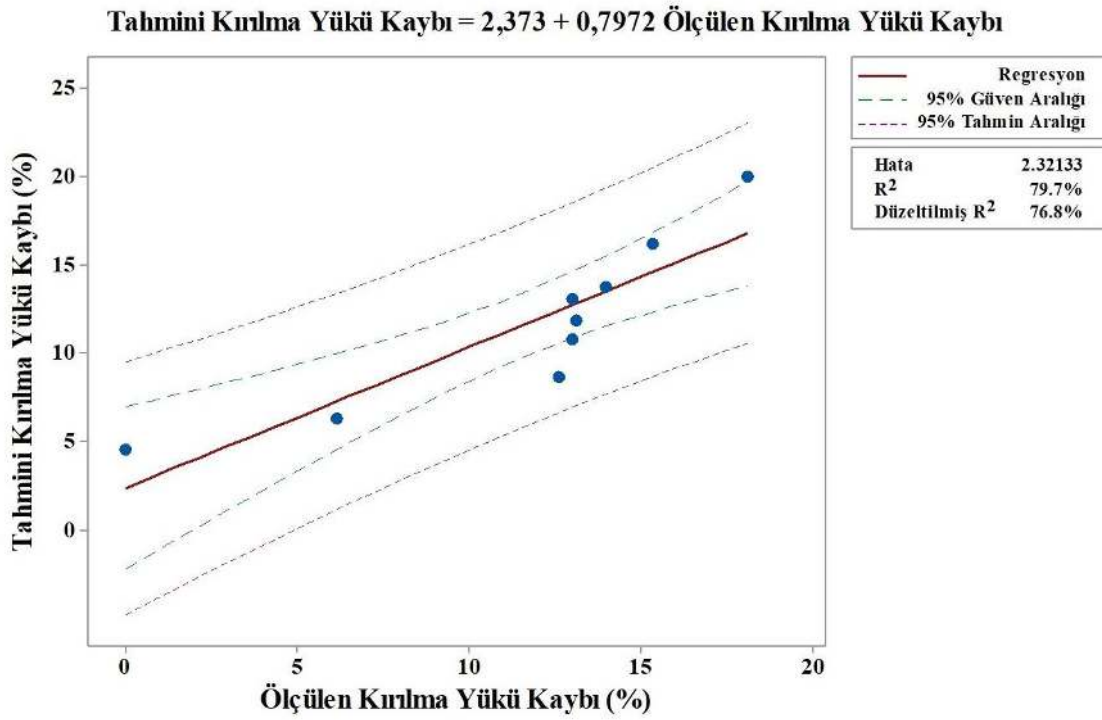
$$L_{BL} = 2,2 + 0,399 N_c + 0,67 d_1 - 0,164 RH \quad (4.9)$$

CB doğal taşı için oluşturulan bu regresyon modelinin R^2 değeri 0,7972 olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmalardan ölçülen kırılma yük kayıpları ile regresyon modelinden tahmin edilen kırılma yük kayıpları arasındaki ilişki Şekil 4.6'da verilmiştir.

Eşitlik 4.9'da verilmiş regresyon modeli için yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları da Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14 Kırılma yükü kaybı için kurulan regresyon denkleminin varyans analizi (CB)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Karelerin Toplamı	Düzeltilmiş Ortalamanın Karesi	F Değeri	P (Olasılık)
Model	3	185,976	61,992	6,55	0,035
N_c	1	144,631	144,631	15,28	0,011
d_1 (mm)	1	0,373	0,373	0,04	0,850
RH (%)	1	9,317	9,317	0,98	0,367
Hata	5	47,317	9,463		
Toplam	8	233,293			



Şekil 4.6 CB doğal taşı için ölçülen ve tahmini kırılma yüğü kaybı arasındaki ilişki

Çizelge 4.14’te verilen CB doğal taşı için geliştirilen regresyon modeli istatistiksel olarak geçerli ve anlamlıdır. Modelin P değerinin (0,035) $P = 0,01-0,05$ arasında olması istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde; modelin F değerinin kritik F değerinden ($F_{(3,5)} = 5,41$) büyük olması, CB doğal taşı için oluşturulan regresyon modelinin geçerliliğini ve anlamlılığını teyit etmektedir.

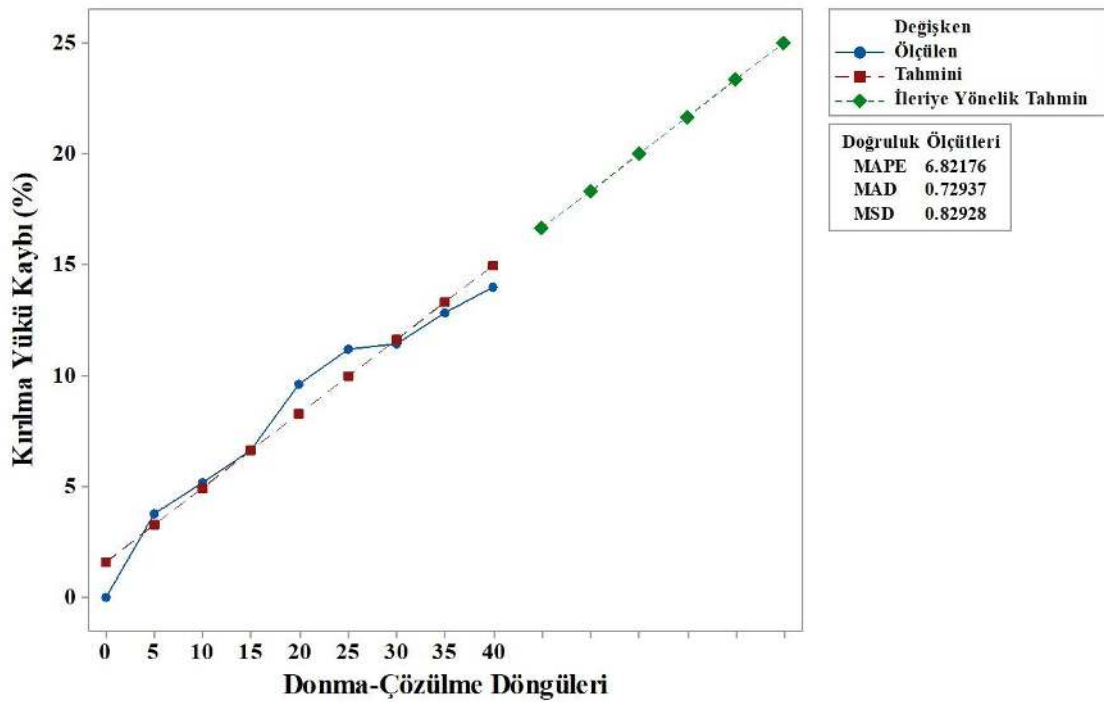
4.3 Donma-Çözülme Sonrası Kırılma Yüğü Kaybının İleriye Yönelik Tahminini İçeren İstatistiksel Çalışmalar

Çalışmanın bu aşamasında, Minitab istatistiksel analiz programında zaman serileri analiziyle kırılma yüğü kayıplarının yapılan deneyler dışında (yapılan donma-çözülme döngüleri sonrası) tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar ve modeller elde edilen DR ve CB doğal taşları için zaman serileri analiziyle ileriye yönelik kırılma yüğü kayıpları tahmin edilmiştir.

İleriye yönelik tahmin, yanıt değişkenini belirli bir süre içerisinde tahmin etmek için zaman serisi analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Zaman serileri analizleri,

geçmiş verilerin zaman içinde gösterdiği davranışı esas alarak gelecekle ilgili tahminler yapar. Tahminler mevcut verilerdeki modellere ve davranışlara dayanır. Geçmişteki davranışlar geleceğin tahmininde kullanılır. Verilerdeki davranışları modellemek ve bu davranışları geleceğe yönelik tahmin etmek için eğilim (trend) analizi, ayrıştırma veya üssel düzeltim yöntemi gibi çeşitli zaman serisi yöntemleri kullanılabilir. Davranışın statik (zaman içinde sabit) veya dinamik (zaman içinde değişim) olmasına, trendin ve mevsimsel bileşenlerin doğasına ve ne kadar ileriye tahmin etmek istenilmesine göre bir analiz yöntemi seçilir.

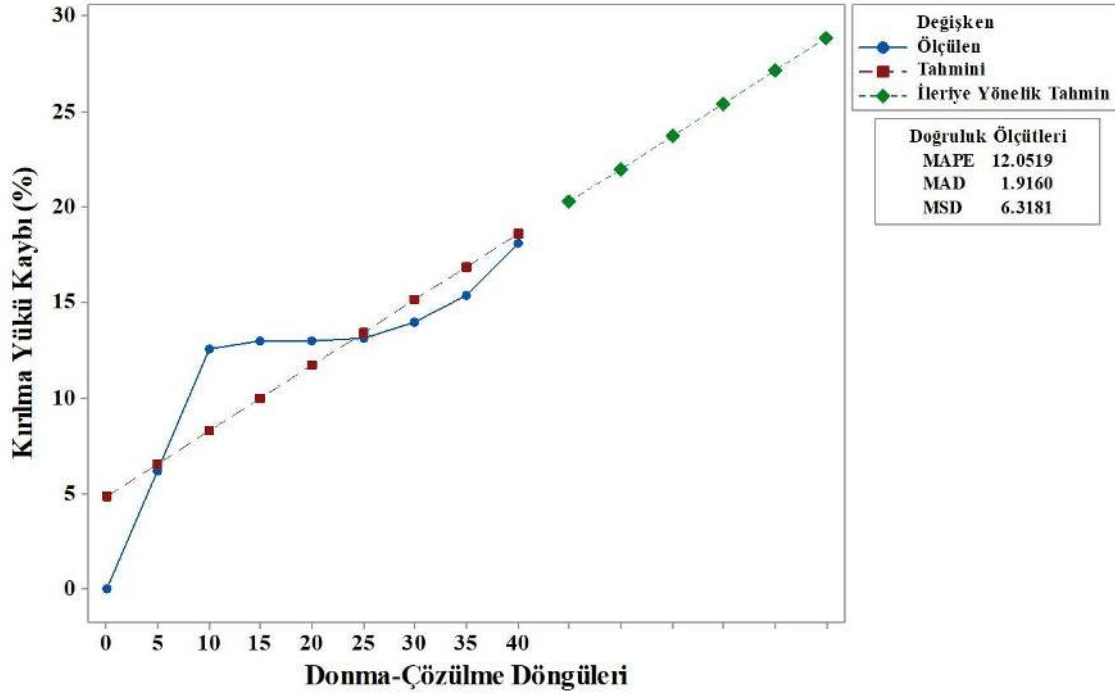
Zaman serileri analizinde eğilim (trend) analizi kullanılmıştır. DR ve CB doğal taşları için ileriye yönelik tahminini içeren grafikler sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7 DR doğal taşı için trend analizi

Zaman serileri analizlerinde yapılan tahmin için çeşitli doğruluk ölçütleri kullanılmaktadır. Bu ölçütlerden bazıları ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), ortalama mutlak sapma (MAD) ve ortalama karesel sapma (MSD) olarak verilebilir. Bu değerlerin mümkün olduğunca sifıra yaklaşması daha iyi bir analizin yapıldığını göstermektedir. Bu ölçütlerden en kolay değerlendirilene MAPE’dir. MAPE’nin ileriye yönelik tahmin

hatalarını yüzde olarak ifade etmesi, diğer ölçütlere göre avantajını ortaya koymakta ve araştırmacılar tarafından tek başına bir anlamının olduğu kabul edilmektedir. Bu kapsamda Lewis (1982) tarafından, endüstriyel ve ticari veriler için tipik MAPE değerlerini içeren ve bunların yorumlanmasını sağlayan bir çizelge (Çizelge 4.15) hazırlamıştır (Moreno et al. 2013).



Şekil 4.8 CB doğal taşı için trend analizi

Çizelge 4.15 MAPE değerlerinin yorumlanması

MAPE	Yorum
<10	Yüksek doğrulukta tahmin
10-20	İyi tahmin
20-50	Kabul edilebilir tahmin
>50	Yanlış ve hatalı tahmin

DR ve CB doğal taşları için oluşturulan ileriye yönelik tahmin grafiklerinin MAPE değerlerine bakıldığında, DR için yapılan trend analizinin yüksek doğrulukta olduğu ve CB için yapılan trend analizinin ise iyi tahmin niteliğinde gerçekleştiği görülmektedir. Yapılan trend analizine göre DR doğal taşı için 54 döngüden sonra, CB doğal taşı için 45 döngüden sonra %20'lik kırılma yüğü kaybının aşıldığı tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında, dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan bazı doğal taşlar için saplama deliğinde kırılma yükü kayıplarının donma-çözülme döngüleri ile ilişkileri incelenmiştir. Kırılma yükü tayini deney parametreleri ile yük kayıplarının istatistiksel analizleri yapılmış ve ileriye dönük kırılma yükü kayıpları tahmin edilmiştir. Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yapılan deneyler sonrasında saplama deliğinden kırılmanın olduğu yüzeye olan mesafe (d_1), delik merkezi ile kırığın kenarı arasındaki en büyük mesafe (b_A) ve kırılma yükü (BL) değerlerinin istatistiksel açıdan normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.
- Doğal taşların kırılma yükü kayıplarıyla donma-çözülme döngü sayıları arasındaki grafiksel ilişkilerde, DR doğal taşı için bu iki parametrenin $R^2 = 0,9572$ belirtme katsayısıyla ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde CB ve LE doğal taşları için belirtme katsayıları sırasıyla $R^2 = 0,7562$ ve $R^2 = 0,3600$ bulunmuştur.
- DR ve CB doğal taşları için yapılan donma-çözülme döngüleri sonrasında Erguvanlı (1995) ve Camposinhos (2014)'te dayanım kayıpları olarak belirtilen ve bu çalışmada benzer şekilde kırılma yükü kaybı sınır değeri olarak alınan %20'lik kayıp aşılmamıştır. Ancak LE doğal taşı için 7 donma-çözülme döngüsü sonrası belirtilen kayba ulaşılmıştır. Dolayısıyla bu kayacın soğuk bölgelerde kullanılması uygun değildir. Ancak, diğer DR ve CB kayaçlarının soğuk bölgelerde kaplama malzemesi olarak kullanılması uygun olacaktır.
- İstatistiksel analizin sonraki aşamasında, her bir doğal taş için regresyon analizleri yapılmıştır. Kırılma yükü deney parametreleriyle (N_C , b_A , d_1 , d , T ve RH) L_{BL} arasındaki ilişkiler incelenmiş ve regresyon modelleri oluşturulmuştur. LE doğal taşı için anlamlı bir regresyon modeli bulunamazken, DR ve CB doğal taşları için anlamlı regresyon modelleri elde edilmiştir. DR doğal taşı için R^2 değeri 0,9997 ve CB doğal taşı için R^2 değeri 0,7972 olan regresyon denklemleri kurulmuştur.

Bu denklemler F ve P değerlerine bakıldığında istatistiksel olarak anlamlıdır.

- DR ve CB doğal taşları için kırılma yükü kayıplarının ileriye yönelik tahminleri de zaman serileri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan tahminlerin her iki doğal taş için iyi bir tahmin niteliğinde olduğu tespit edilmiştir. Trend analizine göre %20'lik kırılma yükünün aşıldığı döngü sayıları DR doğal taşı için 54, CB doğal taşı için 45 döngüdür.

Dış cephe kaplamalarında özellikle soğuk bölgelerde kullanılacak doğal taşlarla ilgili bu tür çalışmaların geliştirilmesi gerekmektedir. Kırılma yükü kayıpları ve özellikle doğal taşlarda oluşan eğilme miktarlarının belirlenmesi önemli bir konudur. Belirlenen kırılma yüklerine ve eğilme miktarlarına göre doğal taşın kaplama malzemesi olarak kullanılıp kullanılamayacağı belirlenebilir ve yapılması gereken bakım dönemleri düzenlenebilir.

Yapılan çalışmaya ek olarak doğal taşlar için termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini (TS EN 14066) deneyleri yapılarak sıcak iklimlerdeki kırılma yükü kayıpları da tespit edilmelidir.

TS EN 12370 tuz kristallenmesine direncin tayini standardına uygun şekilde çeşitli tuz çözeltileri uygulanarak dış cephe kaplamalarının asit yağmurlarından etkilenme düzeyleri ortaya konmalıdır.

Bu belirtilen çalışmalarının bütünüyle dış cephe kaplamaları için kullanım ömürleri ve bakım dönemleri açısından daha net ve kullanılabilir sonuçlar elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Aghayeva A, 2022, Bakü Aqlay (Gülbağ) Taşı'nın Yapılarda Çevre ile Uyum Performansının Araştırılması, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Şanlıurfa.
- Anonim, 2024, Üretici Doğal Taş Firmalarından Alınan Teknik Özellikler.
- Bayram F, 2012, Predicting Mechanical Strength Loss of Natural Stones After Freeze–Thaw in Cold Regions, Cold Regions Science and Technology, 83–84, 98–102.
- Camposinhos R S, Amaral P M, Rosa, L G, Pires V, Dimension Stone Cladding Design—Dowel Anchorage Design, 2nd International Congress on Dimension Stones (ICDS) 2008, May 29-31, Carrara.
- Camposinhos R S, 2013, Undercut Anchorage in Dimension Stone Cladding, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials, 166, 158-174.
- Camposinhos R, 2014, Stone Cladding Engineering, Springer, 177p, Dordrecht.
- Çelik M Y, 2003, Dekoratif Doğal Yapı Taşlarının Kullanım Alanları ve Çeşitleri, Madencilik Dergisi, 42, 3–15.
- Çelik M Y, 2019, İscehisar Andezitinin Donma Çözülme Sürecinde Bazı Fiziksel Parametrelerdeki Değişiminin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 21, 669–683.
- Çelik M Y, Sert M, 2021, Afyon Menekşe Mermerinin (İscehisar-Afyonkarahisar) Roma Döneminden Günümüze Önemi, Karakterizasyonu, Tuz Kristalleşmesi Ve Donma-Çözülme Testleriyle Dayanıklılığının Değerlendirilmesi, Politeknik Dergisi, 24, 785–796.
- Emek G, 2015, Cephe Kaplamada Kullanılan Doğaltaşların Montajında Saplama Deliğinde Kırılma Yükünün Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 126s, Afyonkarahisar.
- Erguvanlı K, 1995, Mühendislik Jeolojisi, Seç Yayınları, 73s, İstanbul.
- Genç A, 2015, Doğal Taşların Ticari Standartları ve Uygulamaları, Ticaret ve Ekonomi Dergisi, 5, 5–12.

- Güngör S, Aydoğan F, 2016, Doğal Taşların Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları, Yapı Bilimleri Dergisi, 26, 26–32.
- Güneri S, 2009, Doğal Taşların Teknik Özelliklerine Göre Kullanım Alanlarının ve Uygulama Parametrelerinin Belirlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, İzmir.
- Gürani Y, Canbolat T, Geçmişten Günümüze Mekan Ölçeğinde Doğaltaş Kullanımındaki Farklı Yaklaşımlar, Doğal Yaşam Doğal Taş Sempozyumu, 29-30 Mart 2012, İstanbul.
- Gürcan E, 2006, Tortul Kayaçların Oluşum Süreçleri ve Özellikleri, Jeoloji Araştırmaları Dergisi, 6, 6-12.
- Hartman H L, 1987, Introductory Mining Engineering, Wiley-Interscience, 632p, New York.
- Hasol D, 1988, Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, Yem Yayınevi, 574s, İstanbul.
- Hozatlıoğlu A, 2018, Metamorfik Kayaçların Özellikleri ve Sınıflandırılması. Jeoloji Araştırmaları Dergisi, 12, 12-18.
- Huang B, Fu S, Lu W, Günay S, 2020, Experimental Investigation of the Breaking Load of A Dowel-Pinned Connection in Granite Cladding, Engineering Structures, 215, Article number 110642.
- Jamshidi A, Nikudel M R, Khamsehchiyan M, 2013, Predicting The Long-Term Durability Of Building Stones Against Freeze–Thaw Using A Decay Function Model, Cold Regions Science and Technology, 92, 29-36.
- Jamshidi A, 2024, Study of Building Stones Durability Against The Freeze-Thaw Process: Current Methods and Recommendations For The Future. Journal Of Building Engineering, 86, 108772.
- Kadane J B, Lazar N A, 2004, Methods and Criteria For Model Selection, Journal of the American Statistical Association, 99, 279-290.
- Karaca Z, Öztank N, 2003, Mermerin Mimari Tasarımı, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, Afyonkarahisar, 379-386.
- Karaca Z, Deliormanli A H, Elci H, Pamukcu C, 2010, Effect of Freeze–Thaw Process

- on the Abrasion Loss Value of Stones, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 47, 1207-1211.
- 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, 13- 15 Aralık, Afyonkarahisar, 721-726.
- Karahan E, 2018, Sanat ve Mimaride Doğal Taşların Önemi, Mimarlık ve Sanat Araştırmaları Dergisi, 1, 1-10.
- Kaya M, 2009, Yer Kabuğu Kayaçlarının Fiziksel Oluşum Mekanizmaları. Doğa Bilimleri Dergisi, 6, 6-10.
- Koçu N, Dereli M, 2003, Mermerlerin Günümüz Mimarisinde Kaplama (Duvar Döşeme) Elemanı Olarak Kullanılması ve Uygulama Sorunları, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, Afyonkarahisar, 61-73.
- Kulaksız S (Ed.), 2021, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 624s , Ankara,
- Lewis C D, 1982, Industrial and Business Forecasting Methods, London, Butterworths,
- Moreno J J M, Pol A P, Abad A S , Blasco B C, 2013, Using The R-MAPE Index As A Resistant Measure Of Forecast Accuracy, Psicothema, 25, 500-506
- Martínez-Martínez J, Benavente D, Gomez-Heras M, Marco-Castaño L, García-del-Cura M Á, 2013, Non-Linear Decay of Building Stones During Freeze–Thaw Weathering Processes, Construction And Building Materials, 38, 443-454.
- Mutlu M, Kalkan M, 2024, Travertenlerin Donma-Çözülme Döngüsü Sonrasındaki Tek Eksenli Basınç Dayanımı Kaybının Fiziko-Mekanik Parametreler Kullanılarak Tahmin Edilmesi, International Journal Of Engineering Research And Development, 16, 520-529.
- Oğan İ H, Erbaş İ, 2021, Dış cephe kaplama malzemesi olarak mermerin uygulama yöntemlerinin bir vaka analizi ile değerlendirilmesi, ATA Planlama ve Tasarım Dergisi, 5, 81-88.
- Orhan N, Arık Y, 2019, Jeolojik Süreçler Ve Doğal Taşların Oluşumu, Maden Mühendisliği Dergisi, 15, 15-22.

- Öz M, 2019, Farklı Statik Yükleme Hızlarının Doğal Taşların Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 3s, İstanbul.
- Özdemir E, 2021a, Farklı pH Çözeltileri ve Donma Çözülmenin Travertenlerin Fiziko-Mekanik Özelliklerine Birlikte Etkisi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 32, 1-6.
- Özdemir E, 2021b, Termal Isınma-Soğuma Döngülerine Maruz Bırakılan Mermerlerde Soğuma Şeklinin Fiziksel Ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 1295-1303.
- Patronis M, Laskaridis K, Niaou M, 2013, Relationship Between Breaking Moments At The Dowel Hole And At Flexure Under Concentrated Load Of Ornamental Stones, Key Engineering Materials, 548, 287-294.
- 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.
- Pires V, Pacheco A, Infante V, Amaral P M, Rosa L G, 2013, Finite Element Model Development Applied to Portuguese Granites for Contact Analysis of Two Dowel Fixing Conditions Used in Cladding, Key Engineering Materials, 548, 255-266.
- Sengun N, 2021, Estimation of Anchor Breaking Load Values Using Some Physical and Mechanical Properties of Carbonate Rocks Used as Cladding Stones, Arabian Journal of Geosciences, 14, 2177.
- Sert M, Altındağ R, 2024, Doğal Taşların Donma Çözülme Ve Termal Şok Yaşlanmasına Bağlı Olarak Yüzey Renk Ve Güneş Işığı Yansıtma İndeks (SRI) Değerlerinin Belirlenmesi Ve Isı Adası Oluşumlarına Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30, 828-840.
- Sousa H, Sousa R, 2019, Durability of Stone Cladding in Buildings: A Case Study of Marble Slabs Affected by Bowing, Buildings, 9, 229.
- Şimşek O, 2022, Nevşehir (Kavak) Yöresi Vişne Renkli İgnimbiritin Duvar Kaplamasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Politeknik Dergisi, 25, 281-289.

TSE, 2003, TS EN 13364 Doğal Taşlar – Deney Metotları – Saplama Deliğinde Kırılma Yükünün Tayini, Ankara.

TSE, 2011, TS EN 12371 Doğal Taşlar – Deney Metotları – Dona Dayanım Tayini, Ankara.

Vercher J, Borràs J G, Lerma C, Mas Á, Gil E, 2024, Estimation By Capillary Water Absorption Method To Building Natural Stones' Durability Against Freeze-Thaw, Construction And Building Materials, 427, 136215.

Wang Z, Shao M, Gao Z, & Yao Y, 2021, Connection Strength of Undercut Anchorage Stone Cladding, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, 719, 22033.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.cografyatr.com/haber/kayac-dongusu-kayac-dongusu-nasil-gercekleismektedir>, 05.02.2025
- 2- Real Stone Cladding. (2015). Stone Cladding System Catalogue. Specify Ltd. Erişim adresi: /, 14.02.2025
- 3- Real Stone Cladding. (2015). Stone Cladding System Catalogue. Specify Ltd. Erişim adresi: /, 14.02.2025
- 4- <https://www.hazmetal.com/tr/urunler/dogal-tas-tespit-sistemleri/>, 05.02.2025
- 5- <https://mekanikcephekaplama.com/hizmetlerimiz/mekanik-duvar-kaplama/>, 05.02.2025
- 6- <https://demirtasmimari.com.tr/category/cephe-kaplama/>, 05.02.2025
- 7- <https://www.instagram.com/esmuhendislik77/>, 05.02.2025