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

DOĞALTAŞLARDA DONMA ÇÖZÜNME DENEYLERİ İLE BELİRLENEN PARAMETRELERİN TANIMLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

KAZİM GİRESON

DENİZLİ, OCAK - 2023

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

DOĞALTAŞLARDA DONMA ÇÖZÜNME DENEYLERİ İLE BELİRLENEN PARAMETRELERİN TANIMLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

KAZİM GİRESON

DENİZLİ, OCAK - 2023

Bu tez çalışması PAUBAP tarafından 2021FEBE002 nolu proje ile desteklenmiştir.

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

KAZİM GİRESON

ÖZET

DOĞALTAŞLARDA DONMA ÇÖZÜNME DENEYLERİ İLE BELİRLENEN PARAMETRELERİN TANIMLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ
DOKTORA TEZİ
KAZİM GİRESON
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. İBRAHİM ÇOBANOĞLU)

DENİZLİ, OCAK - 2023

Bu tez, doğaltaşlarda donma çözünme çevrimlerine bağlı olarak gelişen bozunma karşısındaki fiziksel ve mekanik davranış şekillerini ortaya koymak ve elde edilen fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimleri incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Türkiye'nin 46 farklı lokasyonundan örnekler temin edilmiştir. Tüm örnek gruplarının mineralojik ve petrografik analizleri gerçekleştirilmiş ve ardından temel fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ardından tüm örnek grupları 4, 7, 10, 14, 20, 28, 35, 56, 70 ve 84 donma ve çözünme çevrimine tabi tutulmuştur. Her donma ve çözünme çevrimi sonrası örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait veriler değerlendirilmiştir. Fiziksel ve mekanik değerlerin donma çözünme çevrim sayısı ile olan değişimi bütün örneklerin ortalama değerleri dikkate alınarak grafiksel olarak ortaya konmuş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Artan donma çözünme çevrimleriyle birlikte örneklerin tek eksenli basınç dayanımı, Leeb sertlik değeri, P-dalgası geçiş hızı parametrelerinde belirgin azalımlar, görünür porozite, ağırlıkça su emme ve geniş disk aşınma parametrelerinde ise artışlar olduğu belirlenmiştir. İzlenen değerlerdeki değişimler 35. çevrime kadar belirgin olarak gözlenmiş, bu çevrimden sonra ise daha azalan oranlarda izlenmiştir. Doğaltaş örnek gruplarında donma çözünme sonrası meydana gelen fiziksel ve mekanik özelliklere ait verilerin değişimi ilgili standartlar doğrultusunda ve literatürde yaygın bir şekilde kullanılan sınıflamalara göre değerlendirilmiştir. Ayrıca doğaltaşların tek eksenli basınç dayanımı değerleri dona dayanım indisi kapsamında değerlendirilmiştir. Örneklerin donma çözünme sonrası belirlenen tek eksenli basınç dayanımı donma çözünme öncesi değerine oranlanarak elde edilen değer dona dayanım indisi parametresi olarak tanımlanmıştır. Dona dayanım indisi parametresi kullanılarak doğaltaşlar için genel bir donma çözünme sınıflama sistemi tez çalışması kapsamında önerilerek literatüre kazandırılmıştır. Bu sınıflama sisteminde kayaçlar donma çözünme çevrimleri sonrasında sahip oldukları dayanımlarına göre 'çok yüksek', 'yüksek', 'orta', 'düşük' ve 'çok düşük' sınıflara ayrılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Doğaltaş, donma-çözünme, fiziksel bozunma, tek eksenli basınç dayanımı, dona dayanım indisi

ABSTRACT

IDENTIFICATION AND EVALUATION OF PARAMETERS DETERMINED BY FREEZING THAWING TESTS FOR NATURAL STONES

PH.D THESIS

KAZİM GİRESON

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE GEOLOGICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. İBRAHİM ÇOBANOĞLU)

DENİZLİ, JANUARY 2023

This thesis was carried out to reveal the physical and mechanical behavior of natural stones against weathering due to freeze-thaw cycles and to investigate the changes in the obtained physical and mechanical properties. In this context, samples were obtained from 46 different locations of Turkey. Mineralogical and petrographic analyzes of all sample groups were performed and then their basic physical and mechanical properties were determined. All sample groups were then subjected to 4, 7, 10, 14, 20, 28, 35, 56, 70 and 84 freezing and thawing cycles. After each freezing and thawing cycle, the data of the physical and mechanical properties of the samples were evaluated. The variation of physical and mechanical values with the number of freeze-thaw cycles was presented graphically by considering the average values of all samples and evaluated statistically. With increasing freeze-thaw cycles, it was determined that there were significant decreases in uniaxial compressive strength, Leeb hardness value, P-wave velocity parameters, and increases in apparent porosity, water absorption by weight and wide wheel abrasion parameters. The changes in the monitored values were clearly observed until the 35th cycle, and after this cycle, they were observed at lesser rates. The changes in the physical and mechanical properties of natural stone sample groups after freezing and thawing cycles were evaluated in line with the relevant standards and according to the classifications commonly used in the literature. In addition, uniaxial compressive strength values of natural stones were evaluated within the scope of frost resistance index. The value obtained by proportioning the uniaxial compressive strength of the samples determined after freezing and thawing to the value before freezing and thawing was defined as the frost resistance index. A general freeze-thaw classification system for natural stones using the frost resistance index parameter has been proposed within the scope of the thesis and brought to the literature. In this classification system, rocks are divided into 'very high', 'high', 'moderate', 'low' and 'very low' classes according to their strength after freeze-thaw cycles.

KEYWORDS: **N**atural stone, freeze-thaw, physical weathering, uniaxial compressive strength, frost resistance index

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**
TABLO LİSTESİ ..... **vii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **x**
ÖNSÖZ ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Doğaltaş Tanımı ve Sınıflandırılması 2
1.2 Türkiye'nin Doğaltaş Potansiyeli 3
1.3 Doğaltaşlarda Bozunma 6
1.3.1 Doğaltaşlarda Donma ve Çözünme Etkisiyle Gelişen Fiziksel Bozunma 7
1.4 Önceki Çalışmalar 9
2. MALZEME VE METOT **21**
2.1 Örnekleme Çalışmaları ve Örnek Türleri 21
2.2 Örnek Gruplarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri 24
2.3 Laboratuvar Deneyleri 47
2.3.1 Birim Hacim Ağırlık, Su Emme (A_W) ve Görünür Porozite (n) 47
2.3.2 P-dalgası Geçiş Hızları (V_P) 49
2.3.3 Leeb Sertlik Değerleri (HL_D) 50
2.3.4 Geniş Disk Aşınma Değeri (GD) 51
2.3.5 Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) 53
2.3.6 Donma Çözünme Deneyleri 54
3. FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER **57**
3.1 Geniş Disk Aşınma (GD) Değerlerinin Değerlendirilmesi 63
3.2 Yüzey Sertliği (HL_D) Değerlendirmeleri 66
3.3 Tek eksenli Basınç Dayanımı (UCS) Değerlendirmeleri 68
4. DONMA ÇÖZÜNME ÇEVRİMLERİ SONRASI DEĞERLENDİRMELER **72**
4.1 Örnek Gruplarındaki Değişimlerin İzlenmesi 72
4.2 Donma Çözünme Çevrimleri Sonrası Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 82
4.2.1 Donma Çözünme Sonrası Ağırlık Kayıpları 82
4.2.2 Kuru Birim Hacim Ağırlık, Ağırlıkça Su Emme ve Görünür Porozite Değerlerinin İncelenmesi 83
4.2.3 Geniş Disk Aşınma Değerlerinin İncelenmesi 86
4.2.4 P-dalgası Geçiş Hızlarının İncelenmesi 88
4.2.5 Leeb Sertlik Değerlerinin İncelenmesi 90
4.2.6 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerlerinin İncelenmesi 92
4.3 Donma Çözünme Sonrası Sınıflama ve Değerlendirmeler 94
5. SONUÇLAR **116**
6. KAYNAKLAR **119**
7. EKLER **129**
8. ÖZGEÇMİŞ **173**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Türkiye 2021 yılı maden ihracatının ürün gruplarına göre oranları (İMİB 2021). 4
Şekil 1.2: 2021 yılı doğaltaş ihracatının ürün gruplarına göre dağılımı (İMİB 2021). 4
Şekil 1.3: 2012-2021 yılları arası Türkiye'nin yıllık doğaltaş ihracat değerleri ve miktarı (İMİB 2021). 5
Şekil 1.4: (a, b) Fiziksel, kimyasal (Earle 2015) ve (c) biyolojik bozunma örnekleri (Çakar 2009). 6
Şekil 1.5: Kayaçlarda bozunma türleri (Öcal ve Dal 2012). 7
Şekil 1.6: Kayaçların donma çözünme etkisiyle bozunma mekanizması (Chang ve diğ. 2022). 8
Şekil 2.1: Çalışmada kullanılan örneklerin alındığı ocaklar ve örnek kodları. ..21
Şekil 2.2: Çalışmada kullanılan bazı örnek gruplarının görünümü. 22
Şekil 2.3: BR örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 24
Şekil 2.4: TK örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 24
Şekil 2.5: MB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 25
Şekil 2.6: AB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 25
Şekil 2.7: EB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 26
Şekil 2.8: OB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 26
Şekil 2.9: SB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 27
Şekil 2.10: KC örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 27
Şekil 2.11: BE örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 28
Şekil 2.12: KK örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 28
Şekil 2.13: MD örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 29
Şekil 2.14: TS örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 29
Şekil 2.15: KB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 30
Şekil 2.16: ÇK örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 30
Şekil 2.17: BK örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 31
Şekil 2.18: AL örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 31
Şekil 2.19: AL2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 32
Şekil 2.20: AL3 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 32
Şekil 2.21: DT örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 33
Şekil 2.22: DT2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 33
Şekil 2.23: DT3 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 34
Şekil 2.24: DT4 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 34
Şekil 2.25: KT örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 35
Şekil 2.26: DY örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 35
Şekil 2.27: GR örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 36
Şekil 2.28: PG örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 36
Şekil 2.29: RL örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 37
Şekil 2.30: ON örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 37
Şekil 2.31: SG örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 38
Şekil 2.32: KY örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 38
Şekil 2.33: EA örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 39
Şekil 2.34: BG örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 39

Şekil 2.35: BB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 40
Şekil 2.36: BB2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 40
Şekil 2.37: MB2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 41
Şekil 2.38: MB3 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 41
Şekil 2.39: UB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 42
Şekil 2.40: OM örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 42
Şekil 2.41: KM örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 43
Şekil 2.42: K1 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.....43
Şekil 2.43: K2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.....44
Şekil 2.44: K3 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.....44
Şekil 2.45: K4 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.....45
Şekil 2.46: K5 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.....45
Şekil 2.47: İA örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 46
Şekil 2.48: ÖR örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü. 46
Şekil 2.49: Örneklerin tartılması, kurutulması ve suda bekletilmesi. 48
Şekil 2.50: Sonik hız cihazı (a) ve ölçüm alım işlemi (b). 49
Şekil 2.51: Leeb sertlik cihazı (a) ve ölçüm alınması (b). 51
Şekil 2.52: GD cihazının şematik görünümü (TS EN 14157 2017). 52
Şekil 2.53: Geniş disk aşınma cihazı (a) ve aşınan örnekler (b, c). 52
Şekil 2.54: Tek eksenli basınç dayanımı deney cihazı (a) ve örneğin yenilmesi (b). 53
Şekil 2.55: Donma çözünme cihazı (a) ve deney sırasında örneklerin kabin içindeki görünümü (b). 54
Şekil 2.56: DÇ süreci boyunca örneklere uygulanan sıcaklık değişimlerinin zamana bağlı değişimi. 55
Şekil 2.57: Örneklerin donma kabini içinde çözünme esnasında (a) ve donma süreci sonrası görünümleri (b). 56
Şekil 3.1: GD ile γ_k verilerinin karşılaştırılması. 64
Şekil 3.2: GD ile n verilerinin karşılaştırılması. 65
Şekil 3.3: GD ile V_P verilerinin karşılaştırılması. 65
Şekil 3.4: GD ile HL_D verilerinin karşılaştırılması. 66
Şekil 3.5: HL_D ile γ_k verilerinin karşılaştırılması. 67
Şekil 3.6: HL_D ile n verilerinin karşılaştırılması. 67
Şekil 3.7: UCS ile γ_k verilerinin karşılaştırılması. 68
Şekil 3.8: UCS ile GD verilerinin karşılaştırılması. 69
Şekil 3.9: UCS ile HL_D verilerinin karşılaştırılması. 70
Şekil 3.10: Literatürde UCS-HL_D değerleri arasında yapılan karşılaştırmalar. 71
Şekil 4.1: BE örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü..74
Şekil 4.2: AL örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü. 75
Şekil 4.3: DT2 ve DT3 örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü. 76
Şekil 4.4: İA örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü...77
Şekil 4.5: K1 örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü..78
Şekil 4.6: K3 ve K4 örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü. 79
Şekil 4.7: ÖR ve K5 örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü. 80
Şekil 4.8: K2 örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü..81
Şekil 4.9: Örneklerin DÇ sonrası ağırlık kaybı değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi. 82

Şekil 4.10: Örneklerin γ_k değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi. 83
Şekil 4.11: Örneklerin n değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi. 84
Şekil 4.12: Örneklerin n değerlerinin DÇ çevrimleriyle artışı. 85
Şekil 4.13: Örneklerin A_W değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi. 85
Şekil 4.14: Örneklerin A_W değerlerinin DÇ çevrimleriyle artışı. 86
Şekil 4.15: Örneklerin GD değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi. 87
Şekil 4.16: Örneklerin GD değerlerinin DÇ çevrimleriyle artışı. 88
Şekil 4.17: Örneklerin V_P değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi. 89
Şekil 4.18: Örneklerin V_P değerlerinin DÇ çevrimleriyle azalımı. 89
Şekil 4.19: Örneklerin HL_D değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi. 91
Şekil 4.20: Örneklerin HL_D değerlerinin DÇ çevrimleriyle azalımı. 91
Şekil 4.21: Örneklerin UCS değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi. 93
Şekil 4.22: Örneklerin UCS değerlerinin DÇ çevrimleriyle azalımı. 93
Şekil 4.23: Örneklerin dona dayanım indisi değerlerinin donma çözünme çevrimleriyle değişimi. 108
Şekil 4.24: Örneklerin dona dayanım indisine göre sınıflanması ve her sınıfın taban sınırları. 109
Şekil 4.25: Örneklerin dona dayanım indisine göre sınıflanması. 109
Şekil 4.26: Dona dayanım indisine göre sınıflanması yapılan örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi. 111
Şekil 4.27: Dona çok yüksek dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi. 112
Şekil 4.28: Dona yüksek dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi. 113
Şekil 4.29: Dona orta dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi. 113
Şekil 4.30: Dona düşük dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi. 114
Şekil 4.31: Dona çok düşük dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi. 114
Şekil B.1: Doğaltaşlarda dona dayanım indisinin (DDİ) ve sınıfının pratik tahmini için yapılan uygulama. 172

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Literatürdeki donma çözünme çalışmaları ve uygulanan çevrim sayısı ve standartlar. 20
Tablo 2.1: Çalışmada kullanılan örnek grupları, kodları, türleri ve sayısı. 23
Tablo 3.1: Örneklerin DÇ öncesi fiziksel ve mekanik indeks değerleri. 59
Tablo 3.2: Değişik kayaç türleri için literatürdeki UCS ile HL_D arasındaki eşitlikler. 70
Tablo 3.3: Örneklerin DÇ öncesi fiziksel ve mekanik değerleri arasında tanımlanmış eşitlikler. 71
Tablo 4.1: DÇ sonrası örneklerde gözlenen durumlar ve puanlama sistemi (TS EN 12371 2011). 72
Tablo 4.2: DÇ sonrası örnek gruplarında gözlenen durumlara göre puanlama (TS EN 12371 2011). 73
Tablo 4.3: Örnek gruplarının γ_k değerlerine göre sınıflanması (Anon 1979)...95
Tablo 4.4: Örnek gruplarının n değerlerine göre sınıflanması (Anon 1979). ...96
Tablo 4.5: Örnek gruplarının GD değerlerine göre sınıflanması (Çobanoğlu ve Çelik 2017). 98
Tablo 4.6: Örnek gruplarının V_P değerlerine göre sınıflanması (Anon 1979). 99
Tablo 4.7: Örnek gruplarının UCS değerlerine göre sınıflanması (ISRM 2007). 100
Tablo 4.8: Örnek gruplarının DÇ öncesi ve sonrası UCS değerlerinin standartlara uygunluğunun değerlendirilmesi. 102
Tablo 4.9: Örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme oranı değerlerinin standartlara uygunluğunun değerlendirilmesi. 103
Tablo 4.10: Örnek gruplarının 84 DÇ sonrası DDİ değerine göre sınıflandırılması ve sınır değerleri. 105
Tablo 4.11: Örnek gruplarının 84 DÇ sonrası DDİ değerine göre sınıflandırılması ve her sınıftaki örnek grupları. 107
Tablo 4.12: Dona dayanım indisine göre sınıflamadaki sınırlar ve eşitlikler. 108
Tablo 4.13: DDİ değerine göre sınıflandırılan örnek gruplarının DÇ çevrimleri sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerine ait değerler. 110
Tablo 4.14: DDİ değerine göre sınıflandırılan örnek gruplarında UCS ile DÇ arasındaki eşitlikler. 115
Tablo A.1: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K2 örnek grubu). 129
Tablo A.2: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (AB örnek grubu). 130
Tablo A.3: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BR örnek grubu). 131
Tablo A.4: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (EB örnek grubu). 132
Tablo A.5: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KC örnek grubu). 133

Tablo A.6: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (MB örnek grubu). 134
Tablo A.7: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (OB örnek grubu). 135
Tablo A.8: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (SB örnek grubu).....136
Tablo A.9: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (TK örnek grubu). 137
Tablo A.10: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (AL örnek grubu). 138
Tablo A.11: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (AL2 örnek grubu). 139
Tablo A.12: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (AL3 örnek grubu). 140
Tablo A.13: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BE örnek grubu). 141
Tablo A.14: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BK örnek grubu). 142
Tablo A.15: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (ÇK örnek grubu). 143
Tablo A.16: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DT örnek grubu). 144
Tablo A.17: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DT2 örnek grubu). 145
Tablo A.18: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DT3 örnek grubu). 146
Tablo A.19: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DT4 örnek grubu). 147
Tablo A.20: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KB örnek grubu). 148
Tablo A.21: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KK örnek grubu).....149
Tablo A.22: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KT örnek grubu). 150
Tablo A.23: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (MD örnek grubu). 151
Tablo A.24: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (TS örnek grubu).....152
Tablo A.25: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BB örnek grubu). 153
Tablo A.26: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BB2 örnek grubu). 154
Tablo A.27: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BG örnek grubu). 155
Tablo A.28: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DY örnek grubu).....156
Tablo A.29: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (EA örnek grubu). 157
Tablo A.30: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (GR örnek grubu). 158

Tablo A.31: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KM örnek grubu). 159
Tablo A.32: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KY örnek grubu). 160
Tablo A.33: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (MB2 örnek grubu) 161
Tablo A.34: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (MB3 örnek grubu). 162
Tablo A.35: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (OM örnek grubu). 163
Tablo A.36: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (ON örnek grubu). 164
Tablo A.37: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (PG örnek grubu). 165
Tablo A.38: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (RL örnek grubu). 166
Tablo A.39: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (SG örnek grubu). 167
Tablo A.40: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (UB örnek grubu). 168
Tablo A.41: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (İA örnek grubu). 169
Tablo A.42: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K3 örnek grubu)..... 169
Tablo A.43: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K4 örnek grubu)..... 170
Tablo A.44: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K5 örnek grubu)..... 170
Tablo A.45: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K1 örnek grubu)..... 171
Tablo A.46: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (ÖR örnek grubu). 171

SEMBOL LİSTESİ

γ_k	:	Kuru birim hacim ağırlık
γ_d	:	Doygun birim hacim ağırlık
n	:	Görünür porozite
A_W	:	Ağırlıkça su emme
W_k	:	Kuru örnek ağırlığı
W_d	:	Doygun örnek ağırlığı
V	:	Hacim
GD	:	Geniş disk aşınma değeri
HL_D	:	Leeb sertlik değeri
L	:	Örnek uzunluğu
T	:	P dalgasının ilerleme süresi
V_P	:	P-dalgası geçiş hızı
F	:	Yenilme yükü
A	:	Örnek kesit alanı
UCS	:	Tek eksenli basınç dayanımı
DÇ	:	Donma çözünme
DDİ	:	Dona dayanım indisi
ISRM	:	Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Topluluğu
ASTM	:	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
R^2	:	Belirleme katsayısı
r	:	Korelasyon katsayısı
SS	:	Standart sapma

ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında yapmış olduğum yoğun deneysel çalışmaların ve değerlendirmelerin tüm aşamalarında bilgi ve tecrübesiyle destek olan, yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. İbrahim Çobanoğlu'na,

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanmasında yardımcı olan, görüş ve önerileri ile sürekli destek sağlayan Doç. Dr. Sefer Beran Çelik'e,

Petrografik analizlerde katkı sağlayan Prof. Dr. Tamer Koralay'a,

İstatistiksel değerlendirmelerde yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Serkan Akoğul'a,

Tezle ilgili görüş ve önerileri ile katkı sağlayan jüri üyeleri Prof. Dr. İsmail Dinçer, Prof. Dr. Ahmet Özbek ve Doç. Dr. Ali Bülbül hocalarıma içten teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, destek olan sevgili aileme çok teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) koordinatörlüğünce 2021FEBE002 nolu proje ile desteklenmiştir. Bu destek için ilgili birime teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Doğaltaşlar, antik çağlardan günümüze kadar geçen süre içerisinde insanoğlu tarafından yapı taşı olarak kullanılagelmiştir. Renkleri, dokusal ve yapısal özellikleri doğaltaşlara dekoratif olarak kullanılabilme özellikleri katmakta ve hem iç hem de dış mekanlarda doğal ve sıcak yaşam ortamları oluşturması yönüyle tercih edilmektedir. Tarihi yapıların inşaasında, antik şehirlerdeki çeşitli yapısal elemanların restorasyonunda, hediyelik eşya, süs eşyası imalatı gibi alanlarda da doğaltaşlar kullanılmaktadır.

Yapıtaşı olarak kullanılan doğaltaşların servis ömrü kullanım yeri, yaya ve araç trafiğinin aşındırıcı etkileri, taşıdıkları yükler ile yakından ilişkilidir. Bunların dışında özellikle soğuk iklim bölgelerinde kullanılan doğaltaşlar, donma ve çözünme süreçlerinin etkisiyle fiziksel olarak ayrışmaya uğramaktadır. Donma ve çözünme çevrimleri etkisiyle doğaltaşlar bütünlüğünü kaybederek parçalanmaya başlarlar ve kullanılamaz hale gelirler. Bu tür olumsuzluklarla karşılaşmamak için donma ve çözünme çevrimlerine yeterli dirence sahip doğaltaş türlerinin seçilerek kullanılması gerek taşın uzun kullanım ömrüne sahip olması açısından ve gerekse de sınırlı doğal kaynakların daha sürdürülebilir kullanımı açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışma ile yaygın olarak kullanılan ve ekonomik değerleri olan doğaltaşların donma ve çözünme davranışlarının ortaya konulması sağlanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'nin 46 farklı bölgesinden temin edilen doğaltaş örnekleri laboratuvar koşullarında donma ve çözünme çevrimlerine tabi tutulmuştur. Donma ve çözünme çevrim sayılarına bağlı olarak örnek gruplarının fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişiklikler ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular ışığında, Dünya'nın çeşitli bölgelerine ihraç edilen doğaltaşların sergileyecekleri donma ve çözünme performanslarına göre kullanım alanlarının seçilebilmesi ile ekonomik ve çevresel katkıların sağlanması amaçlanmıştır.

1.1 Doğaltaş Tanımı ve Sınıflandırılması

Doğaltaş kavramı ile ilgili farklı kaynaklar tarafından yapılmış değişik tanımlamalar bulunmaktadır. TS EN 12670 (2019) standartlarına göre doğaltaş, uluslararası pazarda geniş bir uygulama alanına sahip, inşaatta ve anıtların restorasyonu ile yeniden inşasında kullanılan doğal kaynak kayası olarak tanımlanmaktadır. Geniş bir kullanım alanına sahip olan doğal taşlar yük taşıyıcı elemanlar olarak veya süs ve dekoratif amaçlı olarak kullanılabilirler.

Doğal yapı taşları, değişen hava ve ışıkla görünümünü değiştiren farklı renkleri ve yapısal çeşitlilikleri ile her zaman insanı etkilemiştir. Doğal taşların renkleri dışında dokusal özellikleri de önemlidir. Ayrıca, taşların estetik değeri ve dekoratif özellikleri, artan yüzey işlemi nedeniyle oldukça değişkenlik gösterir. Doğal yapı taşları kökenleri açısından mağmatik (granit, gabro, diyabaz, bazalt vb.), sedimanter (kireçtaşı, kumtaşı, traverten, oniks vb.) ve metamorfik (mermer, gnays, şist vb.) olarak gruplandırılmaktadır. Pratikte doğaltaşlar sert ve yumuşak kayalar olarak ikiye ayrılır. Sert kayaların (granit, riyolit, bazalt vb.) mekanik olarak işlenmesi zordur. Buna karşılık, yumuşak kayalar (zayıf çimentolu kumtaşları, tüfler, gözenekli kireçtaşları, traverten vb.) genel olarak kolayca işlenebilir. Doğal yapı taşları çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri ile karakterize edilmektedir. Bunlar, yoğunluk, basınç dayanımı, gözeneklilik, eğilme dayanımı, su emme, aşınma, renk gibi özelliklerdir.

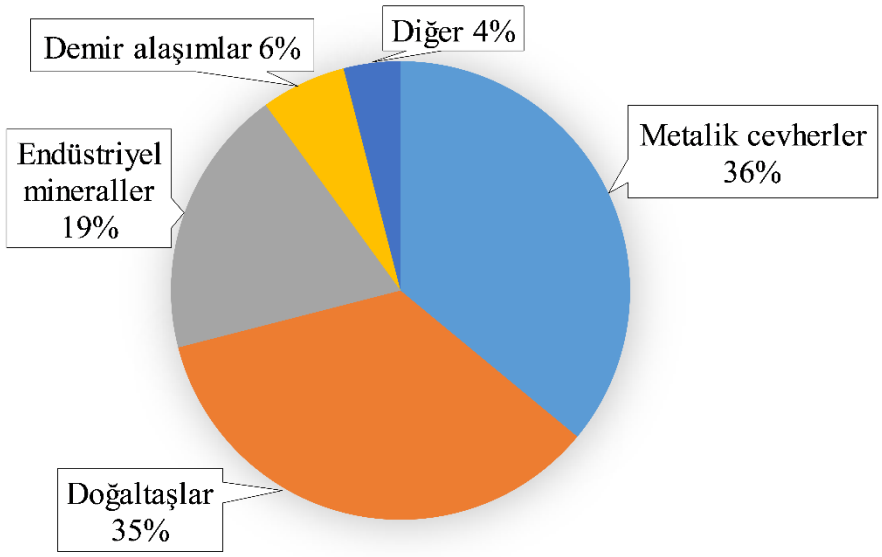
Mağmanın yer kabuğunun derinliklerinde, mantoda veya yüzeye yakın kesimlerde soğuması ve katılaşmasıyla mağmatik kayaçlar oluşur. Mağmatik kayaçlar plütonik (mağmanın derinlerde soğuması ve kristallenmesi) ve volkanik (mağmanın yüzeyde ya da yüzeye yakın yerlerde soğuması ve kristallenmesi) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Sedimanter kayaçlar, büyük ölçekte mekanik ve kimyasal süreçlerin ürünüdür. Bu durumda, mekanik ayrışma veya orijinal kayanın daha küçük parçalara ayrılması, genellikle derin ve yoğun bir kimyasal ayrışma için ön koşuldur. Metamorfik kayaçlar, önceden var olan kaya türlerinin basınç ve sıcaklık altında zamana bağlı başkalaşım geçirmeleri ile oluşurlar. Metamorfizma, kayanın mineralojik ve/veya yapısal ve/veya kimyasal bileşiminin "katı hal" koşullarında değiştiği bir süreçtir. Genel olarak, ana kaya grupları azalan yüzdeyle: %65

mağmatik, %27 metamorfik ve %8 sedimanter şeklindedir (Siegesmund ve Török 2011).

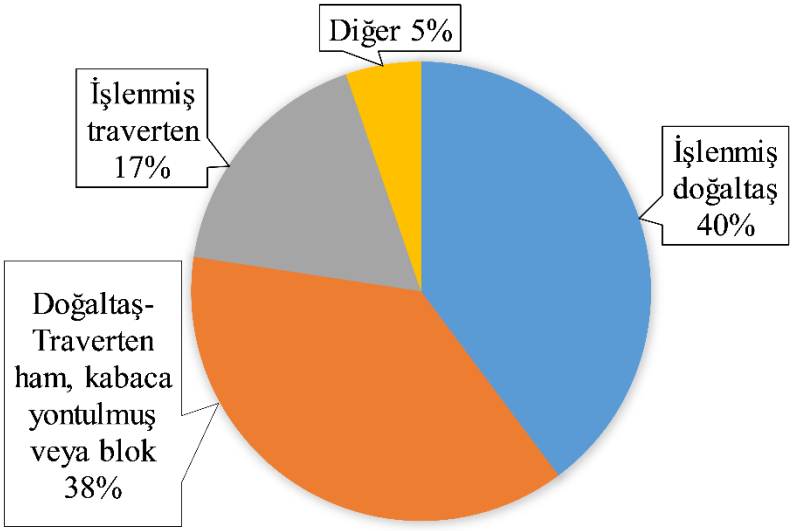
1.2 Türkiye'nin Doğaltaş Potansiyeli

Türkiye doğaltaş oluşumu ve rezervi bakımından önemli bir konuma sahiptir. Dünyanın en zengin doğaltaş rezervlerinin bulunduğu Alp-Himalaya kuşağında bulunan Türkiye, yaklaşık olarak 15 milyar m^3 olarak tahmin edilen dünya doğaltaş rezervinin yaklaşık üçte birine (%33) denk gelen 5.1 milyar m^3 veya 13.9 milyar ton muhtemel doğaltaş rezervine sahiptir (İGM 2021). Türkiye değişik renk içeriği ve özelliklerine sahip çok çeşitli türlerde olan doğaltaş rezervi ile Dünya genelinde etkin bir pazara sahiptir. Rezervlerin bulunduğu alanlar çoğunlukla Ege bölgesi (%32), Marmara bölgesi (%26) ve İç Anadolu bölgesi (%11) şeklindedir. Geriye kalan %31'lik rezerv oranı ise Akdeniz, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz bölgelerinde dağılım göstermektedir (İGM 2021).

Madencilik sektöründe önemli bir yer tutan doğaltaşların Türkiye toplam ihracatına da önemli katkısı bulunmaktadır. İstanbul Maden İhracatçıları Birliği (İMİB) verilerine göre Türkiye'nin toplam ihracatı 2021 yılı için 225.4 milyar dolar değerinde olup, madencilik sektöründe yapılan ihracatın (5.93 milyar dolar) bu değerdeki payı %2.6'dır. Türkiye'nin 2021 yılı maden ihracatı ürün grupları olarak değerlendirildiğinde 2021 yılındaki en çok ihracat metalik madenlere aittir (11.37 milyon ton ve 2.15 milyar dolar) ve %36 oranında bir katkı payı sunmaktadır. Doğaltaşlar ise 7.78 milyon ton ve 2.09 milyar dolar gelir ile metalik madenlerden sonra %35'lik pay ile ikinci sırada yer almaktadır. Maden ürün grubu olarak endüstriyel minerallerin payı ise (15.58 milyon ton ve 1,1 milyar dolarla) %19 oranındadır. Bu ürün gruplarını miktar olarak 183.20 bin ton ve 331.57 milyon dolar değeriyle %6 oranında katkı sağlayan demir alaşımlar izlemektedir (Şekil 1.1). Diğer ürün grupları ise maden ihracatına %4 oranı ile katkı sunmaktadır (İMİB 2021). Türkiye'nin 2021 yılı maden ihracatında %35 oranında paya sahip olan doğaltaşlarda en fazla ihraç edilen ürün olarak ilk sırada %40 ile işlenmiş doğaltaş yer almaktadır. Bunu %38 ile ham, kabaca yontulmuş veya blok halinde doğaltaş, traverten ve %17 ile işlenmiş traverten izlemektedir (Şekil 1.2).



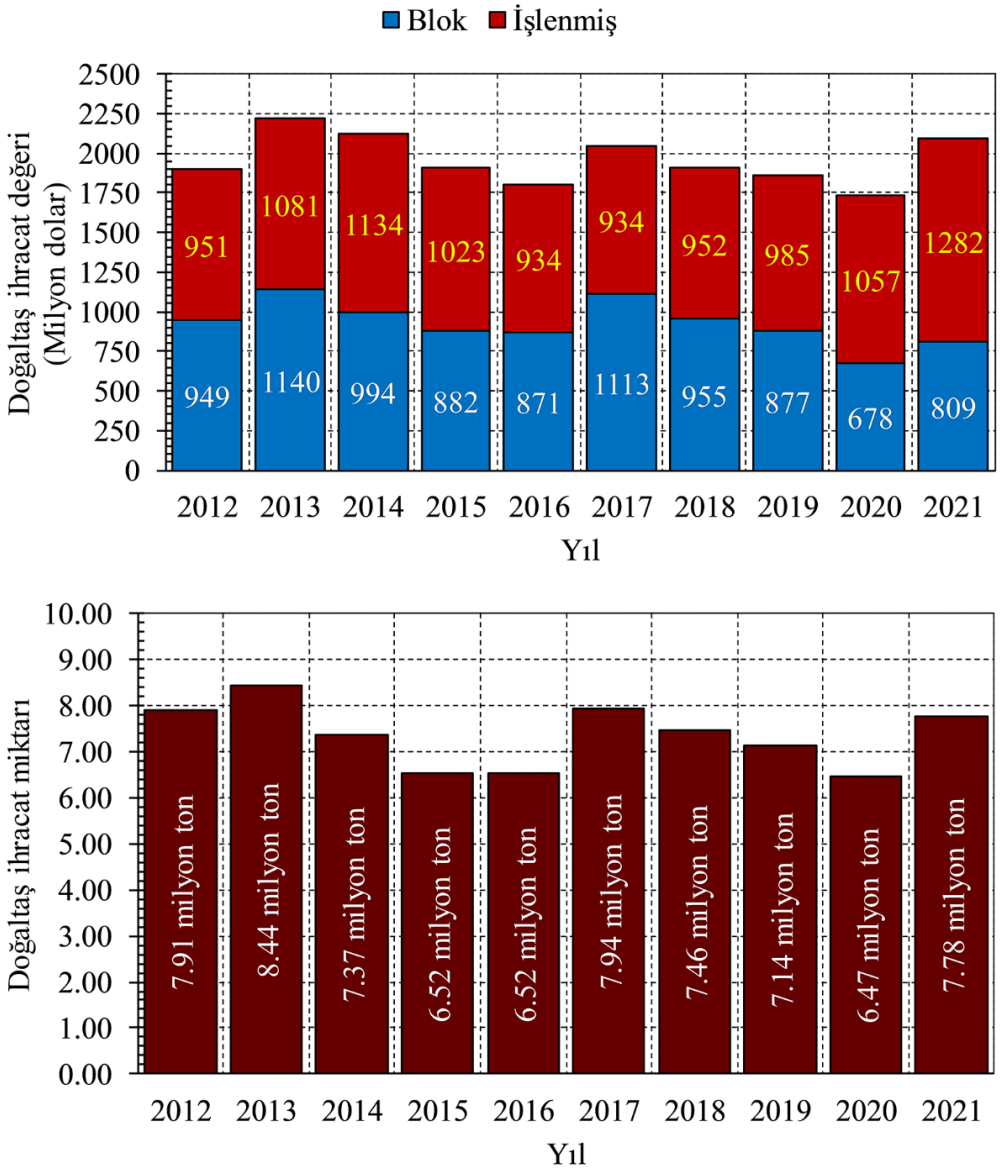
Şekil 1.1: Türkiye 2021 yılı maden ihracatının ürün gruplarına göre oranları (İMİB 2021).



Şekil 1.2: 2021 yılı doğaltaş ihracatının ürün gruplarına göre dağılımı (İMİB 2021).

Türkiye Doğaltaş ihracat verileri, ihracat yapılan ülkelere göre değerlendirildiğinde 2021 yılı için yaklaşık 615 milyon dolar ile %29.4 orana sahip Çin ilk sırada yer almıştır. Amerika %22.08 lik oran (462 milyon dolar) ile en çok doğaltaş ihracatı yapılan ülke olarak ikinci sırada yer almıştır. Bu ülkeleri %4.71 ile Fransa ve %4.69 ile Irak izlemektedir. Bu ülkelere yapılan ihracat değerleri 98 milyon dolar civarındadır. Türkiye'nin 2012-2021 yılları arasındaki doğaltaş ihracat miktarı ve değerleri Şekil 1.3' de verilmiştir. 2021 yılında yapılan 7.78 milyon ton doğaltaş (blok ve işlenmiş) ihracatı sonunda elde edilen değer 2.09 milyar dolar

olarak gerçekleşmiştir. Bu değerde bir önceki yıla göre yaklaşık olarak %20 civarında bir artış gözlenmiştir (İMİB 2021).

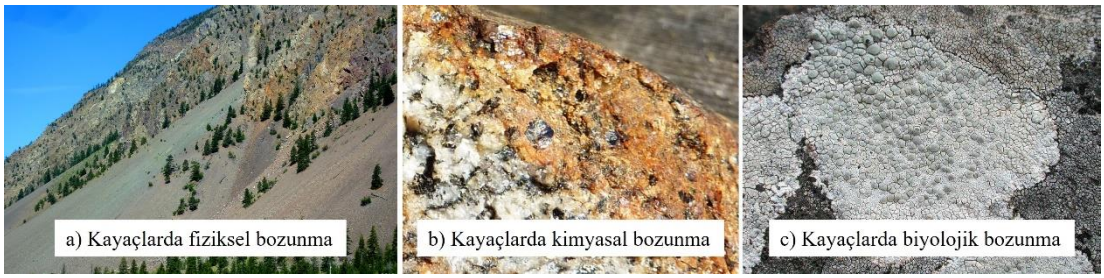


Şekil 1.3: 2012-2021 yılları arası Türkiye'nin yıllık doğaltaş ihracat değerleri ve miktarı (İMİB 2021).

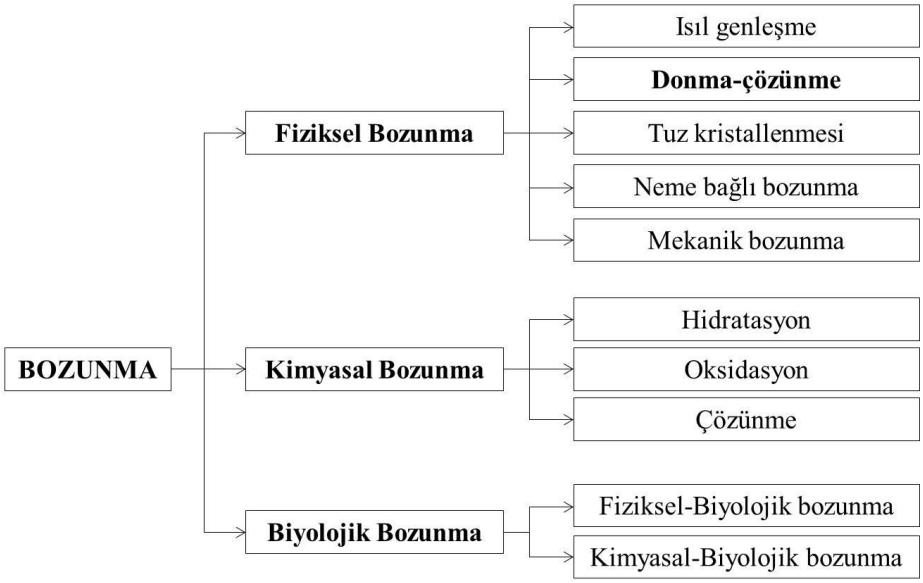
1.3 Doğaltaşlarda Bozunma

Atmosferik koşullar nedeniyle doğada bozunmamış bir kayaya az rastlanmaktadır. Bozunmuş bir kaya ilk halinden farklı özellikler göstermektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi ve bilinmesi önemlidir. Bozunma fiziksel, kimyasal veya biyolojik etkilerle meydana gelmekte olup kayaç bütünlüğünün değişime uğraması şeklinde tanımlanabilir. Kayaçların kimyasal olarak bozunması kayaç yapısındaki minerallerin kimyasal olaylara bağlı olarak ikincil minerallere dönüşmesi şeklinde gerçekleşir. Kimyasal bozunma yüzey suları ve dış etkenler ile kayacın direncine bağlı olarak yüzeye yakın kısımlarda veya derinlerde serpantinleşme, uralitleşme, propilitleşme vb. şeklinde oluşabilmektedir (Tarhan 2002). Mineral bünyesinde meydana gelen değişimin türüne göre tanımlanan çok sayıda kimyasal bozunma türü mevcuttur.

Fizksel bozunma ise kayaların kimyasal yapısı değişmeden parçalara ayrılması şeklindedir. Heyelan, erozyon, buzul erimesi vb. olaylar sonucu kayaların üzerindeki yükün kalkması, kayaçlardaki kırık çatlak gibi süreksizliklerdeki suyun donması ve çözünmesi, yeni kristallerin oluşması (kristallerin büyümesi sonucunda çatlak yüzeylerine yaptıkları basınç), sıcaklık değişimleri sonucunda hacim değişmesi (sıcaklık artması sonucu genleşme, sıcaklık azalması sonucu büzülme) ve bazı bitki türlerinin kayaçların kırık ve çatlaklarını genişletip basınç oluşturması gibi etkiler fiziksel bozunmaya sebep olabilmektedir (Tarhan 2002). Kayaçlarda bozunma türleri Şekil 1.4'te ve etki eden faktörler Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.4: (a, b) Fiziksel, kimyasal (Earle 2015) ve (c) biyolojik bozunma örnekleri (Çakar 2009).

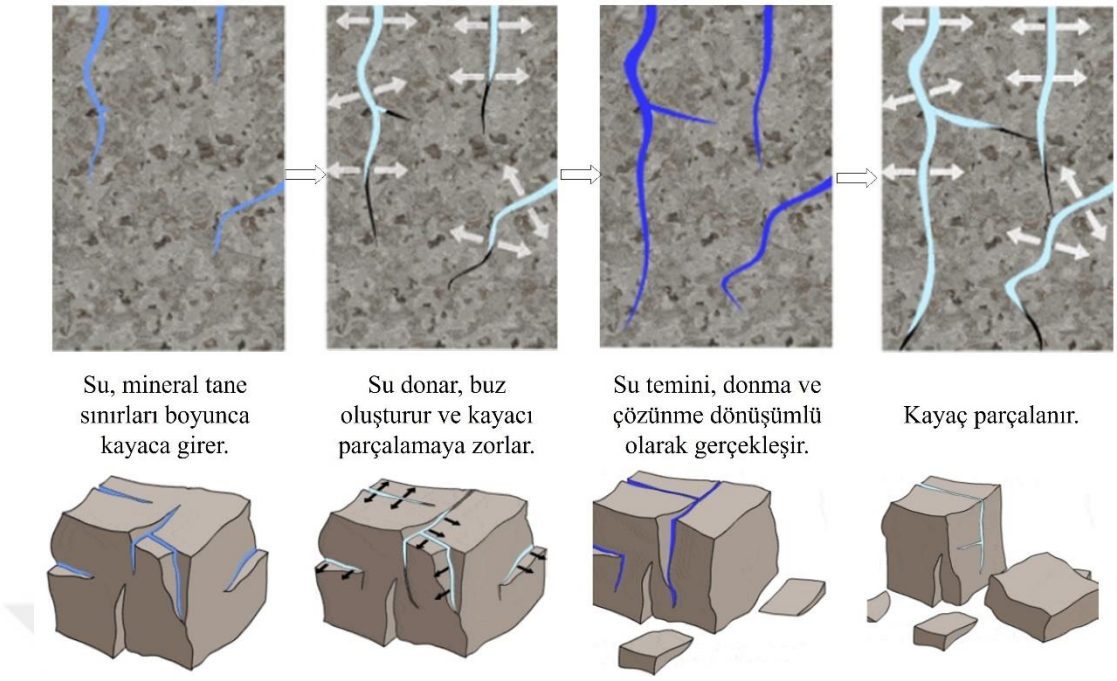


Şekil 1.5: Kayaçlarda bozunma türleri (Öcal ve Dal 2012).

1.3.1 Doğaltaşlarda Donma ve Çözünme Etkisiyle Gelişen Fiziksel Bozunma

Donma çözünme döngülerine maruz kalan doğal yapı taşlarının bozunması, soğuk bölgelerde yapı malzemesi olarak seçimlerinde önemli bir konudur. Donma-çözünme döngüleri, kaya malzemelerin mekanik özelliklerinde hızlı bir değişime neden olan ve dayanımlarını düşüren en güçlü fiziksel bozunma türlerinden biridir. Bu nedenle uygun doğal yapı taşı seçiminden önce taşın bozulmaya karşı direncinin değerlendirilmesi önerilmektedir (Zappia ve diğ. 1998). Kayaçların bozunmasında sıcaklık değişimi, su içeriği ve sıvı geçirgenliği gibi faktörler etkilidir. Bu faktörler malzemede yeni mikro çatlaklar ve mineralojik değişiklikler meydana getirerek kayanın mikroyapısal özelliklerini etkilerler (Takarli ve Prince 2007).

Donma çözünme süreci genellikle soğuk bölgelerde gerçekleşir. Yağışlardan veya karların erimesiyle ortaya çıkan su, bir kaya kütlesindeki jeolojik süreksizliklere nüfuz eder ve sıcaklık sıfırın altına düştüğünde boşlukların içinde donar. Su-buz fazı dönüşümü nedeniyle suyun hacmi yaklaşık olarak %9-10 oranında artar ve buna bağlı olarak büyük bir donma kuvveti oluşur. Oluşan tekrarlı donma kuvveti ise kayada yeni mikro çatlakların oluşmasına neden olmaktadır (Wang ve diğ. 2021).



Şekil 1.6: Kayaçların donma çözünme etkisiyle bozunma mekanizması (Chang ve diğ. 2022).

Açık gözenekler, kırık ve çatlaklardan hidrodinamik olarak ilerleyen suyun donmasıyla ve bu olayın çevrimsel olarak ilerlemesiyle kayaçlar mekanik olarak parçalanır (Şekil 1.6). Bu durum doğaltaşların bozunmasına, fiziksel ve mekanik özelliklerinde azalmaya neden olur. Bozunma süreci taşın yüzeyinden başlar ve derine doğru ilerler. Taşın türüne ve özelliklerine göre artan donma çözünme döngüleri ile zayıflama gerçekleşir ve taşın bütünlüğünü kaybetmesi ile sonuçlanır. Her kayanın donma çözünme karşısındaki davranışı farklıdır. Kayaçların zayıflaması ve parçalanması, taşın birincil yapısal ve dokusal özellikleri ile yakından ilgilidir ve özellikle birbirine bağlı gözenekli doğaltaşlarda daha belirgin hale gelir.

Donma çözünme etkisinde kalan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, kayanın doğaltaş olarak kullanıldığında uzun dönem yapısal stabilitesinin değerlendirilmesi açısından çok önemlidir (Park 2020). Bozunmuş kayaçlar mekanik, fiziksel ve mineral özelliklerinde değişiklikler sergilerler. Bozunmanın ilerlemesi durumunda ise taşın kullanıldığı yapının güvenliğinde bile önemli değişikliklere neden olurlar. Bu yüzden, kayaç bozunmasının kapsamı, kayacı oluşturan minerallerin bozunması veya kayaç mukavemetinin zayıflaması gibi faktörlere bağlı olarak değerlendirilir. Kayaçların bozunma direncinin, kayaçların ömrünü etkilediği ve yapısal duraylılığın

belirlenmesi açısından bilinmesi gereken en önemli fiziksel özellik olduğu belirtilmiştir (Crosta 1998; Park 2020).

Donma-çözünme etkisinin fazla olduğu soğuk bölgelerdeki yapılarda kullanılacak doğal taşların yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Kaya malzemelerin tek eksenli basınç dayanımı, mühendislik proje tasarımı ve doğaltaş seçiminde kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Donma çözünme döngüleri ile yapı taşlarının bozunmasının en önemli sonuçlarından biri tek eksenli basınç dayanımında görülen azalmadır. Yeterli don direncine sahip olmayan yapı taşları soğuk iklim bölgelerinde kullanıldıklarında, donma çözünme döngülerine bağlı olarak dayanım değerleri düşer. Tek eksenli basınç dayanımı, kayacın sahip olması gereken kritik seviyenin altına düşerse kayaç bütünlüğünü kaybeder ve kayacın yapısal özelliği bozulur. Bu yüzden doğaltaş uygulamalarının yapılacağı alanların hem mekânsal (iç, dış, dekoratif vb.) ve hem de iklimsel (sıcak, soğuk, tropikal vb.) özelliklerine göre malzeme seçimleri önemlidir.

1.4 Önceki Çalışmalar

Literatürde kayaçlarda fizksel bir bozunmaya neden olan donma çözünme ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalarda farklı kaya türlerinin donma çözünme karşısındaki davranışları araştırılmıştır.

Binal ve diğ. (1997) yaptıkları çalışmada Türkiye için iklimsel değerleri de dikkate alarak bir donma-çözünme çevrim sayısı haritasını hazırlamışlardır.

Altındağ ve Alyıldız (2004) Isparta bölgesinden alınan tüf örneğinin donma çözünme (DÇ) sonucu fiziksel ve mekanik parametrelerindeki değişimi araştırmışlardır. Donma çözünme deneylerini TS 699 (1987) standartları kullanarak 55 çevrim yapmışlardır. Kayacın (tüf) DÇ çevrimleri sonrası ağırlıkça su emme değerinin %54.72 oranında ve görünür porozite değerinin %46.36 oranında artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Kayacın (tüf) P-dalgası geçiş hızının (V_P) %23.20, tek eksenli basınç dayanımının (UCS) %55.13 ve nokta yük dayanımının ise %61.11 oranında azalım gösterdiğini belirlemişlerdir. Kayacın fiziksel özelliklerindeki

değişimin 10 DÇ çevrim sonrası, mekanik özelliklerdeki değişimin ise çoğunlukla 25 DÇ çevrim sonrası başladığı vurgulanmıştır.

Mutlutürk ve diğ. (2004) Türkiye'nin farklı bölgelerinden kireçtaşı, traverten, diyabaz ve mermer olmak üzere 10 farklı doğaltaş üzerinde çalışmıştır. Yaptıkları donma çözünme ve ısınma-soğuma deneyleri ile örneklerde meydana gelen bütünlük kaybını tahmin etmek için bozunma sabiti ve yarı ömür değişkenlerine bağlı olarak üstel bir fonksiyonla temsil edilen bir bozunma modeli geliştirmişlerdir.

Chen ve diğ. (2004) donma çözünmede doygunluk derecesinin etkisini belirlemek için doygunluk derecesi %0 ile %95 arasında değişen kaynaklanmış tüf örnekleri üzerinde çalışmışlardır. Örneklerin donma çözünme etkisiyle meydana gelen UCS, P-dalgası geçiş hızı ve gözeneklilik değerlerindeki değişimleri incelemişlerdir. İlk doygunluk derecesi %60'ın altında tutulduğunda bu değerlerin çok fazla değişmediğini, ancak ilk doygunluk derecesi %70'i aştığında kayacın önemli ölçüde zarar gördüğünü belirlemişlerdir ve kritik doygunluk derecesinin %70 olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmacılar dondurulmuş numunelerdeki boşluk suyu dağılımını inceleyerek, yüzey tabakasındaki doygunluk derecesinin numunenin merkezindekinden daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Yavuz ve diğ. (2006) yaptıkları çalışmada mermer, kireçtaşı ve traverten karbonat kayaçlarından oluşan 12 adet örnek üzerinde yaptıkları çalışmada, donma çözünme ve termal şok testleri uygulamışlardır (20 çevrim). Donma çözünme deneyini 2 saat -20^{o}C de donma ve 2 saat +20^{o}C de çözünme şeklinde uygulamışlardır. Kayaçların DÇ çevrim öncesi ve sonrası P-dalga hızlarını ölçmüşlerdir. Kayaç örneklerine ait DÇ çevrimleri öncesi ve sonrası veriler değerlendirilmiş ve P-dalga hızında (V_P) DÇ etkisiyle %7-%12, termal şok etkisiyle %2-%19 bir azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Şengün ve diğ. (2008) kireçtaşlarında atmosferik şartlara bağlı olarak zamanla meydana gelebilecek bütünlük kayıplarını belirlemek için Türkiye'nin farklı bölgelerinden (Burdur, Antalya ve Kastamonu) alınan 6 farklı kireçtaşı üzerinde çalışmışlardır. Donma çözünme testlerini TS 699 (1987) standardını kullanarak 50 çevrim şeklinde uygulamışlar ve örneklerin her 10 DÇ çevrim sonunda fiziksel ve mekanik parametrelerindeki değişimleri belirlemişlerdir. DÇ öncesi ve sonrası deney

verilerini değerlendirilmişler ve 50 DÇ sonunda özellikle görünür gözeneklilik oranı (n) fazla olan örnek gruplarının donma çözünmeden daha fazla etkilendiği ve bu örnek gruplarının fiziksel ve mekanik özelliklerinde yaklaşık olarak %50 oranlarında bütünlük kayıpları gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Çalışmacılar tarafından 50 DÇ çevrim sonunda örnek gruplarının görünür gözeneklilik oranı değerlerinde %5-25 arasında bir artış, P-dalgası geçiş hızlarında (V_P) ise %3-14 arasında bir azalım olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 50 DÇ çevrim sonunda örneklerin en fazla değişim gösteren parametresinin çekme dayanımı olduğu ifade edilmiştir (%45'lere varan azalım).

Karaca ve diğ. (2010) 10 farklı doğaltaş örneğin 28 donma-çözünme çevriminden (18 saat -20ºC'de donma ve +20ºC'de 6 saat çözünme) önce ve sonra böhme ve geniş disk aşınma değerlerini araştırmışlardır. Donma çözünme sonrası böhme ve geniş disk aşınma testlerinin mermer, kireçtaşı ve travertenlerin aşınma değerlerinin belirlenmesinde kullanılabileceğini öne sürmüşler ancak oniks ve granit için önerilmemiştir. Anlamlı sonuçlar elde etmek için 28 çevrimin yeterli olmadığını ve daha fazla sayıda çevrime gerek olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, çevrim öncesi deney sonuçlarından 28 donma-çözünme sonrası hem böhme hem de geniş disk aşınma deneyi sonuçlarının tahmini için doğrusal korelasyonlar önermişlerdir.

Ruedrich ve diğ. (2011) kireçtaşı, granit, lapilli tüf ve riyolit örnekleri üzerinde çalışmışlardır. Donma çözünme deneyini 1400 çevrim olarak yapmışlardır. Örneklere ait fiziko-mekanik özelliklerdeki değişimlerin belirlenmesi için ölçümleri 350 donma-çözünme çevrimine kadar her 5 çevrimden sonra ve sonrasında her 10 çevrimde bir gerçekleştirmişlerdir. Artan donma çözünme (DÇ) çevrimleriyle birlikte örneklere ait ağırlık kaybı değerleri, P-dalgası geçiş hızı (V_P) değerleri ve Young modülü değerleri gibi parametrelerin değişimini incelemişlerdir. Donma çözünme (DÇ) olayında sadece ağırlık kaybı değil, dokusal olarak meydana gelen değişimlerinde önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Donma çözünme (DÇ) süreci boyunca örneklerin dokusundaki değişimlerin incelenmesinde P-dalgası geçiş hızının (V_P) belirlenmesinin uygun olacağını vurgulamışlardır.

Yavuz (2011) andezit taşının 50 donma-çözünme çevriminden sonra Böhme aşınma kaybını araştırmış ve aşınma kaybının %30.7 olduğunu tespit etmiştir.

Yavuz (2012) Alaçatı tüfünün (İzmir) durabilitesini incelemiştir. Yapılan 25 donma çözünme çevrim sonunda örneklerde %32 oranında ağırlık kaybı olduğunu tespit etmiştir. Alaçatı tüfünün yüksek gözenekliliği, düşük birim ağırlığı ve dayanımı nedeniyle durabilitesinin çok düşük olduğunu belirlemiştir. İzmir Alaçatı tüflerinin nemli ortamlarda yapı taşı olarak kullanımının uygun olmadığı vurgulanmıştır. Nemli ortamlarda tüfün fiziksel olarak bozulmasının, matris içindeki kil minerallerinin şişmesi ve kiltaşı parçalarından kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Çobanoğlu ve Çelik (2012) Denizli travertenlerinin dayanım parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada DÇ sürecinin travertenlerin tek eksenli basınç dayanımına (UCS) olan etkisini araştırmışlardır. DÇ çevrimleri öncesinde kuru ve doygun koşullarda belirledikleri UCS değerleri ile 30 DÇ çevrim sonrası belirledikleri UCS değerleri arasında anlamlı ilişkiler elde etmişlerdir. DÇ çevrim öncesi UCS değerlerinin kuru koşullarda (48.19-100.02 MPa), doygun koşullarda (36.01-97.12 MPa) arasında iken 30 DÇ çevrim sonunda 37.21-87.42 MPa arasında olduğunu belirlemişlerdir.

Jamshidi ve diğ. (2013) Bozunma fonksiyon modeli kullanarak kayaçların uzun sürede dayanımı üzerinde donma çözünmenin etkilerinin tahmini için, İran (Tehran) çevresinden alınan 14 farklı kaya üzerine (Riyolit, ignimbirit, granit, dasit, traverten, kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, tüf, mermer, amfibolit) çalışmışlardır. Donma çözünme deneyini 30 çevrim olarak yapmışlar ve örneklerin her 5 çevrim sonunda Brazilian çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve P-dalgası geçiş hızını belirlemişlerdir. Bozunma fonksiyon modelinin parametrelerini kullanarak, kayaçların yarılanma ömürlerini (Brazilian çekme dayanımı ve nokta yük dayanımı için) belirlemişlerdir.

Demirdağ (2013) yaptığı çalışmada dolgulu ve dolgusuz travertenlerin hem donma çözünme (DÇ) ve hem de termal şok etkisine dayanımlarını incelemiştir. Yapılan donma çözünme deneylerini 50 çevrim olarak gerçekleştirmiş ve her 10 DÇ çevrim sonunda örneklerin nokta yük dayanımlarını belirlemiştir. Donma çözünmeden dolgulu travertenlerin, dolgusuz travertenlere göre daha çok etkilendiğini ifade etmiştir. 50 DÇ çevrim sonunda dolgulu travertenlerin nokta yük dayanımının yaklaşık %22, dolgusuz travertenlerin nokta yük dayanımının ise yaklaşık %4 azaldığını belirlemiştir.

İnce (2013) doktora tezi kapsamında Konya, Aksaray, Niğde, Kayseri, Nevşehir ve Kırşehir bölgesinden (Kireçtaşı, andezit, dasit, bazalt, granit, tüf) 22 kayaç üzerinde çalışmıştır. Donma çözünme deneyini 30 çevrim olarak yapmıştır. Donma çözünme sürecinin kayaçların mekanik özellikleri üzerine olan etkisini (tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve Brazilian çekme dayanımındaki değişimlerle) incelemiş ve bu parametrelerin DÇ çevrim sayısının artmasıyla azalım gösterdiğini belirlemiştir. Sert yapıya sahip olan minerallerin, elastik minerallere göre donma çözünme sürecinden daha çok etkilenmekte olduğunu belirtmiştir. Görünür porozite oranı (n) düşük olan (<%1) kayaç gruplarında DÇ ile n arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı ifade edilmiştir. Kayaçların P-dalgası geçiş hızlarının donma çözünme sonucunda azaldığını belirlemiştir. Fakat P-dalgası geçiş hızını (V_P) etkileyen birçok faktör olduğu ifade edilip, kayaçların bozunma sınıflamasında sadece bu parametrenin kullanılmasının yeterli olmayacağı ifade edilmiştir.

Martínez-Martínez ve diğ. (2013), 96 donma-çözünme (DÇ) döngüsünden sonra altı tip karbonat kayasını incelemiştir. Ölçülen petrofizik parametrelerin çoğunun nihai bozulmayı tahmin edemediğini, ancak P-dalgası hızının yönlere bağlı azalımı, kayaların kritik bozunma eşiğinin tespitinde etkili olduğunu öne sürmüşlerdir. Kayaların donma-çözünme etkisiyle bozunmasının izlenmesinde donma-çözünme (DÇ) döngülerinin artırılarak numunelerin ayrışma sürecini ultrasonik ölçümlerle izlenmesini önermişlerdir.

Özbek (2014) ignimbiritlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde donma-çözünme ve ıslanma-kuruma çevrimlerinin etkisini araştırmıştır. Siyah, sarı, gri ve kırmızı ignimbiritlerin donma çözünme ve ıslanma kuruma çevrimleri sonucundaki fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri belirlemiştir. 50 donma çözünme çevrim sonucunda bu fiziksel ve mekanik özelliklerden birim hacim ağırlık (min %8.77 max %13.60); görünür porozite (min %19.93 max %29.77); ağırlıkça su emme (min %21.54 max %32.86); tek eksenli basınç dayanımı (min %35.80 max %41.37); P-dalga hızı (min %15.62 max %24.46) arasında bir değişim göstermiştir. Değişimlerin özellikle 20. çevrimden sonra etkili olduğu sonucuna varmıştır. İgnimbiritlerin porozite ve ağırlıkça su emme değerlerinin yüksek olmasının donma çözünmede oldukça etkili olduğunu ve bundan dolayı yapı ve binalarda

kullanılmadan önce atmosfer koşullarına göre fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinin önemli olduğunu belirtmiştir.

Jamshidi ve diğ. (2015) donma-çözünme sonrası kayaçların mühendislik özelliklerini tahmin etmek için İran (Tehran) çevresinden alınan 14 farklı kaya üzerine (Riyolit, ignimbirit, granit, dasit, traverten, kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, tüf, mermer, amfibolit) çalışmışlardır. Donma çözünme deneyini 30 çevrim olarak yapmışlar ve çevrim sonrasında Brazilian çekme dayanımı, nokta yük indeksi ve P-dalga hızını belirlemişlerdir. Donma çözünme çevrim sonunda kayaçların mühendislik özelliklerinin tahmin edilebilmesi için (çevrim öncesi verilerin çevrim sonrası verilerle korele edilmesi sonucu) çoklu regresyon analizleri yaparak istatistiksel modeller geliştirmişlerdir.

Ghobadi ve Babazadeh (2015) İran (Qazvin) bölgesindeki kumtaşlarının durabilite ve dayanımında bozunmanın etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kumtaşının donma-çözünme ve tuz kristalizasyonu sonucu fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki değişimleri incelemek için donma çözülme (60 çevrim) ve tuz kristalizasyonu (20 çevrim) şeklinde uygulamışlardır ve bozunma fonksiyonu kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Kayaları boşluk oranı %6 dan büyük olanlar ve %6 dan küçük olanlar şeklinde iki farklı grup olarak ele almışlardır. Özellikle boşluk oranı fazla olan grupta fiziksel ve mekanik özelliklerde hem tuz kristalizasyonu hem de donma çözünme sonucu önemli derecede değişiklikler gözlenmiştir.

Freire-Lista ve diğ. (2015) granitler üzerinde donma çözünme etkisini araştırmışlardır. UNE-EN 12371 (2011) standardartları ile donma çözünme deneyleri yapmışlardır ve çevrim sonrası granitlerde mikro çatlaklar oluştuğunu ve bunun mekanik stabiliteyi etkilediğini ve numunelere zarar verdiğini ifade etmişlerdir.

Khanlari ve diğ. (2015) İran'n güneybatısında olan Qom ili bölgesinden aldıkları 5 farklı kumtaşı üzerinde donma çözünmenin fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisini çalışmışlardır. Donma çözünme deneyini 30 çevrim uygulamışlar ve her 5 çevrim sonunda P-dalga hızı, porozite ve UCS değerlerini belirlemişlerdir. Ayrıca kumtaşının donma çözünmeye karşı uzun süredeki etkisini bozunma fonksiyon modelini kullanarak değerlendirmişlerdir. Donma çözünme

çevrim sayısının artışı ile tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerinde (%41-%85 arası) ve P-dalga hızı değerlerinde (%20-%45 arası) bir azalım, porozite değerlerinde ise bir artış (%31-%65 arası) olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca örneklerin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerleri ile yarı ömür değerleri arasında anlamlı bir ilişki olmadığı (düşük dayanımlı örneklerin yarı ömrünün, yüksek dayanımlı örneklerden fazla çıkması dikkate alınarak) ifade edilmiştir.

Fener ve İnce (2015), andezitik kayaçların 30 donma-çözünme çevrimi öncesi ve sonrası Böhme aşınma değerleri üzerinde çalışmıştır. Çevrimlerden sonra yaklaşık %20 oranında Böhme aşınma kaybı bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Momeni ve diğ. (2016) donma çözünme sürecinin İran'ın batısındaki Alvand granitoidlerinin (monzogranit, tonalit, granodiorit) fiziksel ve mekanik özeliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Donma çözünme deneyleri 300 çevrim olarak gerçekleştirilmiş ve her 50 çevrim sonunda fiziksel ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Donma çözünme deneylerinde çevrim sayısı artmasıyla birlikte porozite ve su emme değerlerinde bir artış, buna karşın P-dalga hızı ve tek eksenli basınç değerlerinde bir azalma olduğu ifade edilmiştir. Granitoidlerin yüksek dayanımlı olması ve düşük poroziteye sahip olması donma çözünme sürecinden fazla etkilenmemesinde etkili olduğu belirtilmiştir.

Kolay (2016) Yozgat bölgesinden alınan 8 farklı Sedimanter kayaç grubu üzerinde donma çözünmenin fiziksel ve mekanik etkilerini araştırmıştır. Donma çözünme deneyi, TS EN 12371 (2011) standartlarında yapılmış ve 25 çevrim olarak uygulanmıştır. Donma–çözünme deneyleri yapılmadan, başlangıç koşullarında basit uygulanabilir testlerin verilerini kullanarak, 25 çevrim sonrası kayaların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerini tahmin etmek için sonuç verileri üzerinde basit ve çoklu regresyon analizleri yapmıştır.

Ceylan (2016) donma çözünme çevrimlerinin Isparta yöresi andezit taşının fiziko-mekanik özellikleri üzerine olan etkisini araştırmıştır. Donma çözünme deneyi TS EN 12371 (2010) standardında verilen esaslara göre yapılmıştır. Kayaç örnekleri üzerinde donma çözünme çevrim öncesi ve çevrim sonrası 14 döngüde bir ağırlıkça su emme, hacimce su emme, P-dalga hızı, Schmidt sertlik değeri, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı deneyleri yapılmış ve donma çözünme deneyi toplam

28 çevrim olarak uygulanmıştır. Elde edilen verilere göre örneklerdeki ağırlıkça su emme ve hacimce su emme değerlerinin bir miktar arttığı belirtilmiştir. P dalga hızı, Schmidt sertlik değeri, tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük dayanımı indeksi değerlerinin ise bir miktar azaldığı belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 28 çevrim sonunda %10 civarında bir azalma gösterdiği ifade edilmiştir.

Akın ve diğ. (2017) Türkiye'nin doğu bölgesinden toplanan farklı renklerde dört farklı Ahlat ignimbiritleri üzerinde donma-çözünme, ıslanma-kuruma ve tuz kristallenmesinin etkisini çalışmışlardır. Donma çözünme deneylerini 40 çevrim olarak uygulamışlar ve sonrasında ignimbiritlerin basınç dayanımı için yarı ömür olarak 53 ile 139 çevrim arası bir değer hesaplamışlardır.

Eren Sarici ve Özdemir (2018) Elazığ, Malatya, Adıyaman ve Diyarbakır çevresinden alınan kireçtaşı, oniks, dolomit gibi sedimanter kayaçların donma çözünme koşulları altında ağırlık, Schmidt setlik dayanımı ve porozite değerlerinden nokta yük dayanım kaybının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Örneklere 30 donma-çözünme çevrimi uygulamışlar ve her beş çevrim sonucu örneklerin Schmidt sertlik değeri, ağırlık kaybı, nokta yük dayanımı indeksi ve porozitesi belirlenmiştir. Bu değerler her çevrim sonunda meydana gelen nokta yük dayanımın azalımı ile karşılaştırılmış ve özellikle 20 çevrim sonrası Schmidt sertlik değeri kaybı ile nokta yük dayanım kaybı arasında güçlü ilişki elde edilmiştir.

Eslami ve diğ. (2018), Fransa'dan beş tür kireçtaşının fiziksel ve mekanik özellikleri ile donma-çözünme (DÇ) etkisi altındaki davranışlarını araştırmışlardır. Numunelerde büzülme ve büzülme-genleşme davranışı gözlemlendiği ve ayrıca P dalgası hızının 200 donma-çözünme (DÇ) döngüsünden sonra düştüğünü öne sürmüşlerdir.

Török ve Szemerey-Kiss (2019), iki tip gözenekli kireçtaşı, üç tamir harcı ve dört tip laboratuvarda hazırlanmış tamir harcı karışımının donma-çözünme (DÇ) direncini araştırmışlardır. Numuneler EN 12371'e göre 25 donma-çözünme (DÇ) döngüsüne tabi tutulmuştur. Malzemelerde kademeli olarak yüzey kaybına yol açan delaminasyon, kabarma, tozlaşma ve granüler parçalanma gibi tipik hasarlar gözlemlenmiştir. Harçlardaki düşük puzolanik çimento içeriğinin malzeme dayanıklılığını azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, gözenek boyutu dağılımına göre

küçük gözeneklerin (yaklaşık 0,1 μm) numunelerin aşınma davranışını kontrol ettiğini öne sürmüşlerdir.

Deprez ve diğ. (2020), Savonnières kireçtaşının donma-çözünme (DÇ) çevrimlerine karşı direncini araştırmıştır. Su içeriğinin ve gözenekliliğin taşın donma-çözünme davranışı üzerindeki etkisi, sıcaklık ve deformasyon ölçümleri, X-ışını bilgisayarlı mikrotomografi ile makroskopik olarak analiz etmişlerdir. Örneklerde artan su içeriği ile deformasyon artışının gözlendiğini belirtmişler ve %70 ile %80 arasında su içeriğinin genişlemeye neden olan kritik aralık olduğunu belirtmişlerdir.

Park ve diğ. (2020), donma-çözünme koşulları altında Norveç bölgesine ait dolomit ve kuvarsit kayalarının fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Donma çözünme deneyini ASTM D5312 standartlarında 900 çevrim olarak yapmışlar ve her 150 çevrimdeki P-dalga hızı, shore sertliği, UCS ve su emme değerlerini ölçmüşlerdir. Artan çevrim sayısı ile birlikte P-dalga hızı, shore sertliği ve UCS değerlerinde azalım olduğunu ifade etmişlerdir.

Fan ve diğ. (2020), kumtaşının (kuru ve doygun haldeki olmak üzere) donma çözünme etkisi altında mekanik özelliklerindeki değişimleri araştırmışlardır. Çevrim sayısının artmasıyla hem kuru, hem de doygun haldeki kumtaşının UCS ve elastik modülünde azalım olduğunu ifade etmişlerdir. 40 çevrim buyunca yaptıkları donma çözünme deneyleri sonucunda dinamik dayanım azalımının özellikle ilk 20 donma çözünme çevrimi boyunca meydana geldiğini vurgulamışlardır. UCS değerlerinde ise 40 çevrim sonrası kuru örnekler için (%12.14), doygun örnekler için ise (%24.73) azalma olduğunu ifade etmişlerdir.

Amirkiyaei ve diğ. (2020) İran'ın çeşitli bölgelerinden 22 farklı karbonat yapı taşı (3 kireçtaşı, 12 traverten ve 7 çeşit mermer) üzerinde donma-çözünme çevrimleri sonrasında P-dalga hızının tahmin edilmesine yönelik çalışmışlardır. Donma çözünme deneyi, 25 çevrim olarak yapılmış ve her 5 çevrim sonrasında P-dalga hızının tahmini ile ilgili denklem geliştirilmiştir. Her 5 çevrim sonunda ölçülen P-dalga hızı verilerinden (çevrim öncesi P-dalga hızı ve porozite değerleri dikkate alınarak) bir eşitlik geliştirilmiştir (25 çevrim sonunda $V_{p(25)} = 522.136 + 0.817_{Vp(0)} - 72.403n$). Sonuç olarak bu eşitlik kullanılıp istenilen çevrim sayısı sonunda

örneklerin P-dalga hızının hesap edilmesine yönelik eşitlik önerilmiştir. Ayrıca benzer çalışmayı Amirkiyaei ve diğ. (2021) donma çözünme çevrim sonrasında tek eksenli basınç dayanımı **(**UCS) değerlerinin tahmin edilmesine yönelik olarak yapmışlardır.

Güler ve diğ. (2021), Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinden alınan 6 farklı karbonatlı kayaç üzerinde termal şok (50 çevrim) ve donma çözünme (50 çevrim) deneyleri yapmışlar ve örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimini araştırmışlardır. Çevrim sonunda UCS değerlerinde (%22.96-%45.66) ve P-dalga hızı değerlerinde (%6.9-%12.6) azalım olduğu ifade edilmiştir.

Dağ ve diğ. (2021), donma çözünmenin kayaçların aşınma değerleri üzerinde etkisini araştırmışlardır. Granitoid üzerinde toplam 25 donma-çözünme (DÇ) çevrimi gerçekleştirmişlerdir. Donma çözünme çevrimleri sonrasında yaptıkları Böhme aşınma kaybı testleri ile Böhme aşınma kaybı değerlerinin 1,98'den 4,02 $cm^3/50cm^2$'ye yükseldiğini ve bunun iki kat artışa eşit olduğunu elde etmişlerdir.

Aral ve diğ. (2021) Çorlu Karatepe bölgesinden bazalt ve Kırklareli'den dolomit örnekleri üzerinde 50 donma çözünme çevrimi uygulamış ve her 10 çevrim sonrasında fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemişlerdir. Ayrıca mekanik özellikler için üstel bir model önermişlerdir. 50 çevrim sonunda tek eksenli basınç dayanımının bazalt örneğinde %16, dolomit örneğinde %4.23 azaldığını belirlemişlerdir. Schmidt sertliği için 50 çevrim sonu azalım oranı bazalt için %11 ve dolomit için %22 olarak hesaplamışlardır. Nokta yük dayanım indeksi azalım oranı bazalt için %26.12 ve dolomit için %23.09 olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca tek eksenli basınç dayanımı ve schmidt sertliği için yarılanma süresi hesaplamışlardır. Bazalt ve dolomit için tek eksenli basınç dayanımı yarılanma süresi sırasıyla 206.3 ve 815.4 çevrimdir. Bazalt ve dolomit için schmidt sertliği yarılanma süresi sırasıyla 242.3 ve 141.4 çevrim olarak hesaplamışlardır.

Huang ve diğ. (2022) farklı su içeriklerine sahip altı farklı kumtaşının 0, 20, 40 ve 60 donma-çözünme döngülerinden sonra tek eksenli basınç dayanımı kaybını hesaplamışlardır. Kırmızı ve yeşil kumtaşlarını sırasıyla Hubei eyaletindeki Yichang ve Hunan eyaletindeki Liuyang bölgesinden, diğer kumtaşlarını Sichuan eyaletindeki Zigong bölgesinden almışlardır. Çıkan deneysel sonuçlar, yüksek su içeriğine sahip

kumtaşlarında donma-çözünme etkisinin daha ciddi olduğunu ve bu kumtaşları için donma-çözünme altında önemli bir tek eksenli basınç dayanımı kaybına neden olabilecek kritik doygunlukların %60-80 arasında olduğunu ifade etmişlerdir.

Deng ve diğ. (2022) Çin'in batı bölgesinden 200 metre derinde bir tünel yüzeyinden aldıkları gnayslar üzerinde donma çözünmenin mekanik özellikler üzerine olan etkisini çalışmışlardır. Donma çözünme deneyini 4 saat donma (-20^{o}C) ve 4 saat çözünme (+20^{o}C) şeklinde 180 çevrim olarak uygulamışlar ve her 20 çevrimde deneyler tekrar edilmiştir. Deneyler sonunda tek eksenli dayanım, elastik modülü, poisson oranı ve donma çözünme katsayısı her 20 çevrimde olmak üzere 180 çevrim boyunca belirlemişlerdir. Çalışma verilerine göre de gnaysları bozunma derecelerine göre sınıflamışlardır.

Akbulut (2022) donma çözünme (DÇ) etkisi ile ignimbiritlerin fiziksel, mekanik ve mikroyapısal özelliklerindeki değişimi araştırmıştır. Ahlat bölgesine ait 4 farklı ignimbirit örneklerinde 50 çevrim uyguladığı donma çözünme deneyleri ile birim hacim ağırlık, görünür porozite, ağırlıkça su emme, tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerindeki değişimi incelemiştir. 50 DÇ sonunda örneklerin kuru birim hacim ağırlık değerinde %8.43-13.95 azalım, V_P değerinde %9-16 azalım, tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerinde %23-42 azalım ve eğilme dayanımında ise %25-38 azalım olduğunu belirlemiştir.

Yapılan çalışmalarda değişik kayaç grupları için uygulanan donma çözünme deneylerinde kullanılan standartlar ve çevrim sayıları toplu olarak Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1: Literatürdeki donma çözünme çalışmaları ve uygulanan çevrim sayısı ve standartlar.

Kayaç türleri	Bölge	DÇ Çevrim sayısı	Standart	Kaynak
12 farklı karbonat kayası	Türkiye	20	TS-699	Yavuz ve diğ. (2006)
6 farklı kireçtaşı	Türkiye	50	TS-699	Şengün ve diğ. (2008)
Granit, tüf, kireçtaşı	Almanya	1400	-	Ruedrich vd. (2011)
Traverten	Türkiye	30	TS EN 12371	Çobanoğlu ve Çelik (2012)
22 farklı yapıtaşı	Türkiye	30	ASTM D 5312	İnce (2013)
6 farklı karbonat kayası	İspanya	96	EN 12371	Martínez-Martínez ve diğ. (2013)
Kumtaşı	İran	60	-	Ghobadi ve Babazadeh (2015)
4 farklı granit	İspanya	280	UNE-EN 12371	Freire-Lista ve diğ. (2015)
5 farklı kumtaşı	İran	30	-	Khanlari ve diğ. (2015)
Monzogranit, tonalit, granodiyorit	İran	300	-	Momeni ve diğ. (2016)
8 farklı sedimanter kayaç	Türkiye	25	TS EN 12371	Kolay (2016)
Andezit	Türkiye	28	TS EN 12371	Ceylan (2016)
Traverten	Türkiye	25	TS EN 12371	Çelik (2017)
İgnimbirit	Türkiye	40	TS EN 12371	Akın ve diğ. (2017)
Karbonat kayası (9 farklı)	İran	100		Hashemi ve diğ. (2018)
Dolomit, kireçtaşı, oniks	Türkiye	30	TS 699	Eren Sarici ve Özdemir (2018)
Kumtaşı	Çin	35	-	Sun ve diğ. (2019)
Kireçtaşı	Macaristan	25	EN 12371	Török ve Szemerey-Kiss (2019)
Kumtaşı	Çin	135	DLT 5368	Zhang ve diğ. (2020)
Kumtaşı	-	40	-	Fan ve diğ. (2020)
Andezit	Çin	40	-	Jiang ve diğ. (2020)
Kumtaşı	Çin	50	-	Liu ve diğ. (2020)
Traverten, kireçtaşı, andezit, tüf	Türkiye	125	TS EN 12371	Uğur ve Özer Toklu (2020)
Dolomit, kuvarsit	Norveç	900	ASTM D 5312	Park ve diğ. (2020)
Kireçtaşı, mermer, traverten	İran	25	TS-699	Amirkiyaei ve diğ. (2020)
Bazalt, dolomit	Türkiye	50	-	Aral ve diğ. (2021)
Karbonat kayası	Türkiye	50	TS EN 12371	Güler ve diğ. (2021)

2. MALZEME VE METOT

Deneysel olarak yürütülmüş olan bu çalışma ile öncelikle hazırlanmış bir proje kapsamında deneysel çalışmaların yürütüleceği ekipmanlar temin edilmiş ve ardından belirlenmiş örnek lokasyonlarından örneklerin temin edilmesi sağlanmıştır. Bu bölüm içerisinde yapılanlar alt başlıklar altında aşağıda sunulmuştur.

2.1 Örnekleme Çalışmaları ve Örnek Türleri

Kaya mekaniği çalışmalarının büyük çoğunluğunda silindirik karot numuneler kullanılmaktadır. Doğaltaşlarla ilgili deney çalışmalarında ise bundan farklı olarak düzgün kesilmiş prizmatik örneklerin kullanıldığı görülmektedir. Tez çalışması kapsamındaki örnekler 7*7*7 cm boyutlarında (40 farklı örnek grubu) ve 5*5*5 cm boyutlarında (6 farklı örnek grubu) küp örnekler olarak toplamda 46 farklı örnek grubu TS EN 1926 (2013) standartına göre hazırlanmıştır. Her kaya grubundan 60 adet olmak üzere 46 değişik kaya grubu için toplam 2760 örnek Türkiye'nin farklı lokasyonlarından temin edilmiştir. Temin edilen örneklere ait lokasyonlar Şekil 2.1'de ve hazırlanan küp örneklere ait görünümler Şekil 2.2'de sunulmuştur. Kayaç gruplarının kodları, türleri ve ticari isimleri ise Tablo 2.1'de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 2.1: Çalışmada kullanılan örneklerin alındığı ocaklar ve örnek kodları.



Şekil 2.2: Çalışmada kullanılan bazı örnek gruplarının görünümü.

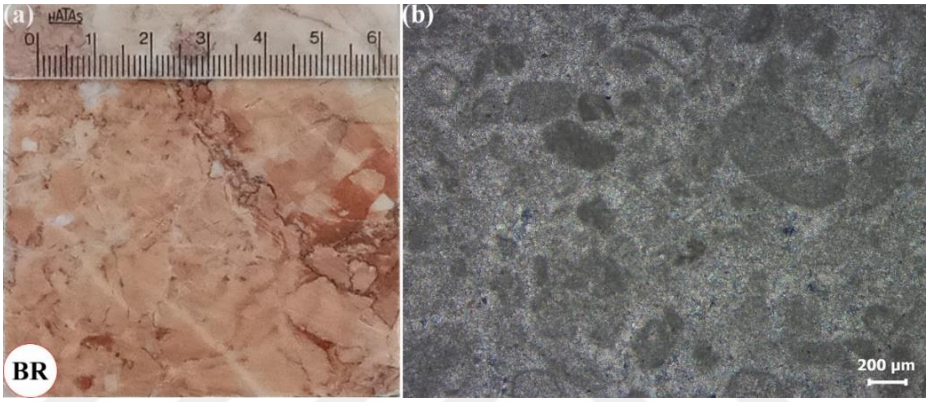
Tablo 2.1: Çalışmada kullanılan örnek grupları, kodları, türleri ve sayısı.

No:	Örnek kodu	Örnek yeri	Kaya türü	Ticari isim	Örnek sayısı
1	TK	Tavas (Denizli)	Kireçtaşı	Tavas-Kızılca	60
2	SB	Afyon	Dolomitik kireçtaşı	Silver Black	60
3	EB	Burdur	Kireçtaşı	Ege Bej	60
4	KC	Burdur	Kireçtaşı	Karia Krem	60
5	DT	Denizli	Traverten	Denizli Traverteni	60
6	DT2	Denizli	Traverten	Denizli Traverteni	60
7	DT3	Honaz (Denizli)	Traverten	Denizli Traverteni	60
8	DT4	Akköy (Denizli)	Traverten	Akköy Sarı	60
9	KT	Karaman	Traverten	Karaman klasik traverten	60
10	AB	Burdur	Kireçtaşı	Antik Bej	60
11	ÇK	Çumra (Konya)	Dolomitik mermer	Çumra Gri	60
12	OB	Burdur	Kireçtaşı	Oscar Bej	60
13	MB	Muğla	Mermer	Monte Bianco	60
14	MB2	Muğla	Mermer	Muğla Beyaz	60
15	MB3	Muğla	Mermer	Muğla Beyaz	60
16	BR	Burdur	Kireçtaşı	Burdur Rose	60
17	AL	Finike (Antalya)	Kireçtaşı	Limra	60
18	AL2	Finike (Antalya)	Kireçtaşı	Limra	60
19	AL3	Finike (Antalya)	Kireçtaşı	Limra	60
20	RL	Elazığ	Ofikalsit	Elazığ Vişne	60
21	PG	Elazığ	Ofikalsit	Petrol Yeşili	60
22	EA	Eskişehir	Mermer	Afrodit Mermer	60
23	SG	Mersin	Dolomitik kireçtaşı	Silver Grey	60
24	KM	Daday (Kastamonu)	Kireçtaşı	Grey Moni	60
25	UB	Uşak	Mermer	Uşak Beyaz	60
26	KB	Kayseri	Bazalt	Bazalt	60
27	K1	Tomarza (Kayseri)	İgnimbirit	Kahve Tomarza	60
28	K2	Tomarza (Kayseri)	İgnimbirit	Vişne Tomarza	60
29	K3	Kayseri	İgnimbirit	Gri Andezit	60
30	K4	Pınarbaşı (Kayseri)	Tüf	Pınarbaşı Limon	60
31	K5	Kayseri	İgnimbirit	Siyah Tüf	60
32	KY	Yunak (Konya)	Dolomitik mermer	Konya gri	60
33	BK	Karamanlı (Burdur)	Dolomitik mermer	Cappuchino	60
34	MD	Marmara Adası	Dolomitik mermer	Marmara dolomit	60
35	KK	Kaman (Kırşehir)	Hornfels	Kaman Yeşili	60
36	BB	Burdur	Kireçtaşı	Burdur Bej	60
37	BB2	Burdur	Kireçtaşı	Burdur Bej	60
38	TS	Alanya (Antalya)	Kireçtaşı	Toros Siyah	60
39	İA	Alaçatı (İzmir)	Tüf	Alaçatı Taşı	60
40	ÖR	Milas (Muğla)	Kiltaşı	Ören Taşı	60
41	ON	Manisa	Bantlı traverten	Oniks	60
42	DY	Tokat	Diyabaz	Diyabaz	60
43	GR	Samsun	Gabro	Gabro	60
44	BG	İzmir	Granit	Granit	60
45	OM	Kütahya	Mermer	Okyanus mavisi	60
46	BE	Bursa	Kireçtaşı	Emperador	60

2.2 Örnek Gruplarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

BR örnek grubu

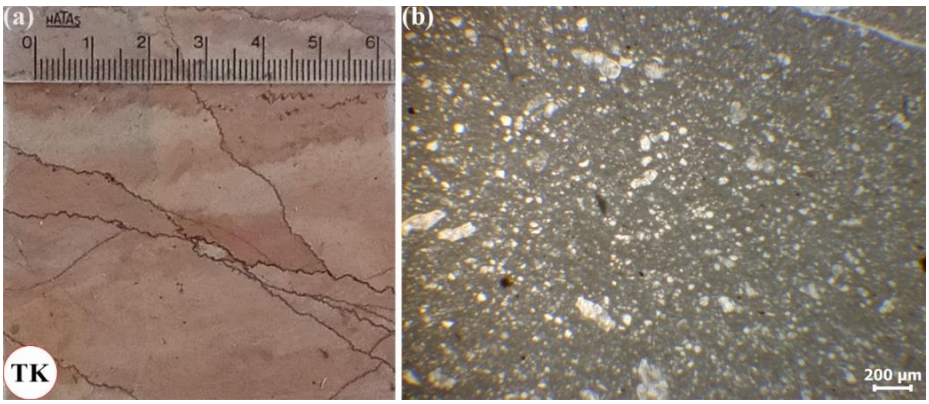
Örnek, mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Kırmızı renkte olan kayaç mineralojik olarak mikrit, mikrosparit, pellet, foraminifer (biyolojik parçalar) içermektedir. Ayrıca Trutella fosili ve Kratesenin karakteristik fosilleri Globigerina gözlenmiştir. Kayaç içerisinde birbirini farklı açılarla kesen kalsit damarları mevcuttur.



Şekil 2.3: BR örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

TK örnek grubu

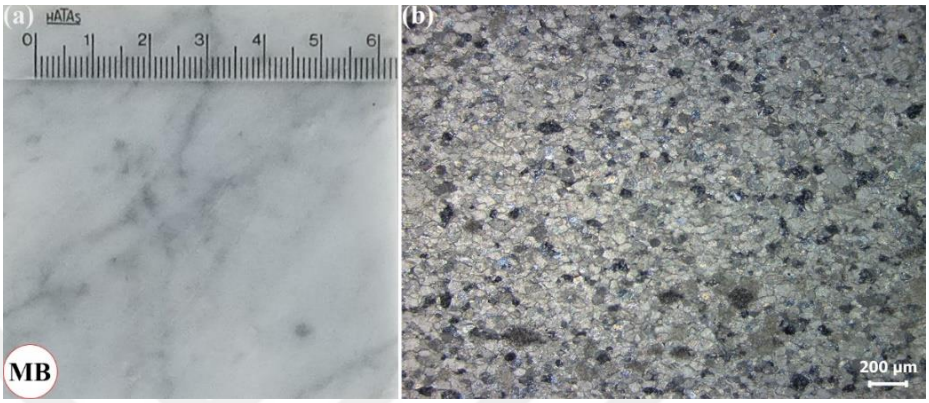
Örnek, mikrit çimentolu kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Kayaç kırmızı mavi sarı renklerdedir. Mikritik çimento ve içerisinde kısmen yuvarlaklaşmış karbonat bileşimli taneler gözlenmiştir.



Şekil 2.4: TK örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

MB örnek grubu

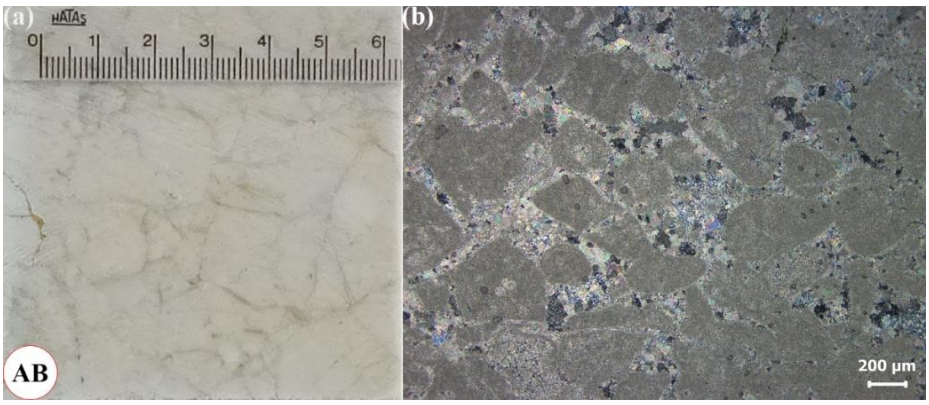
Örnek, ince kristalli mermer olarak tanımlanmıştır. Renk olarak beyaz olan kayaç tane boyutuna göre homoblastik doku (tane boyutları eş büyüklükte), tane şekline göre ise Gronablastik mozaik dokuya sahiptir. Kalsit porfiroblastikler içeren örneğin tane boyutları ve kristal boyutları 60 mikrondan küçüktür.



Şekil 2.5: MB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

AB örnek grubu

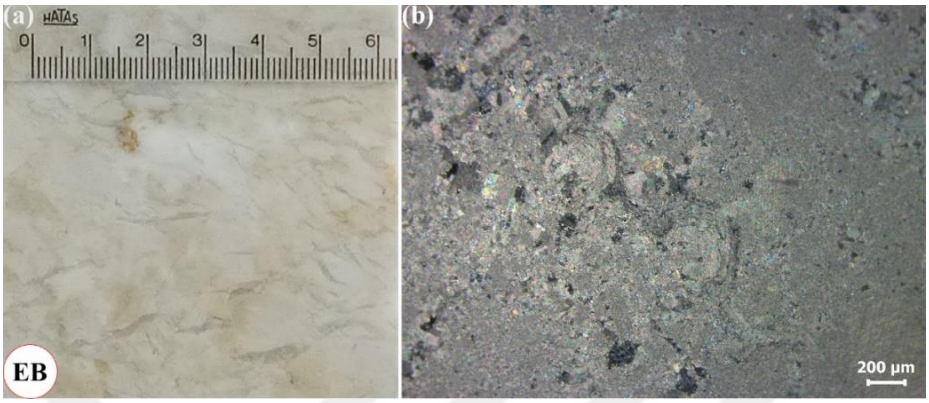
Örnek, Pelsparit kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.6: AB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

EB örnek grubu

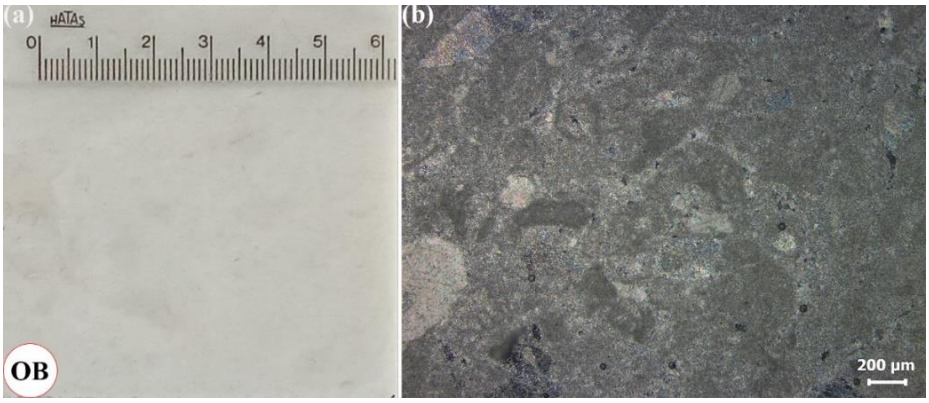
Örnek, sparitik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Kayaç içerisinde intraklast parçalar ve yer yer oval şekilli kireç konkresyonları gözlenmiştir.



Şekil 2.7: EB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

OB örnek grubu

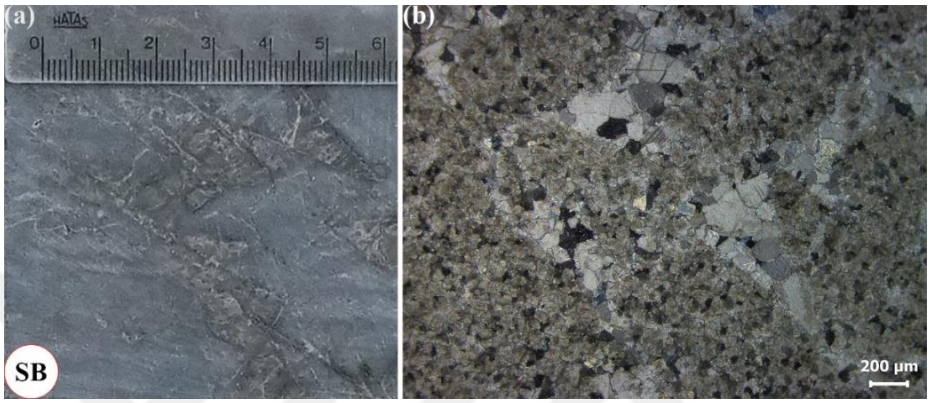
Örnek, kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Kayaç içerisinde ekstraklast kalsit parçaları ve pellet parçaları gözlenmiştir. Mikritik özellikte bağlayıcı mevcuttur. Kayaç Folk'a göre intrapel mikrit, Dunham'a göre vake taşıdır. Bileşimine göre biointrapel mikrittir. Kayaç içerisinde Kretase fosilleri ve foraminifer fosilleri mevcuttur.



Şekil 2.8: OB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

SB örnek grubu

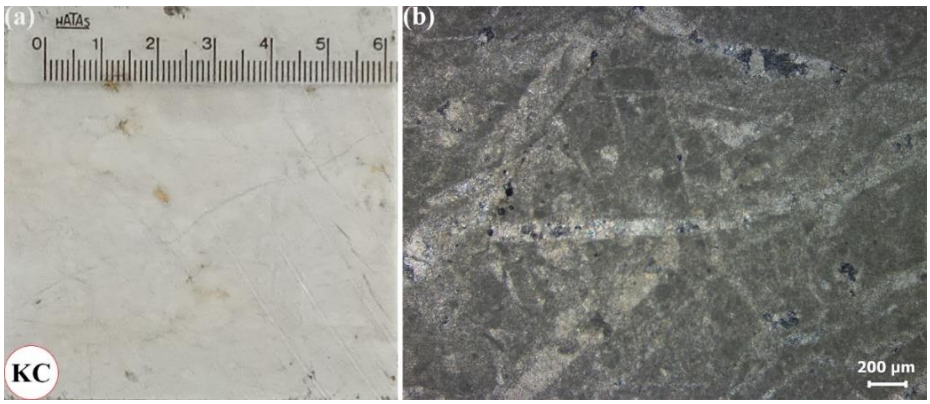
Örnek, dolomitik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Siyah renkte olan kayaç ince yapılı olup, idyotopik mozaik dokuya sahiptir. Kayaç tamamen dolomit minerallerinden meydana gelmektedir. Kayaç içerisinde açık renkli kalsit dolgulu kılcal çatlaklar, parçalanmış kalsit damarları vardır. Yer yer iri kristalli, dilinim çizgileri oldukça belirgin kalsit kümelenmeleri gözlenmiştir.



Şekil 2.9: SB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

KC örnek grubu

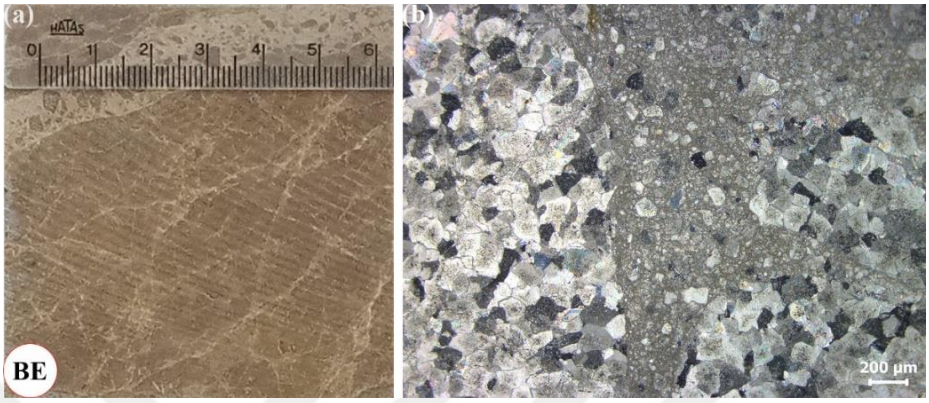
Örnek, kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Folk'a göre pelmikrit, Dunham'a göre çamurtaşı olarak sınıflandırılabilir. Kayaç mikritik dokuya sahip olup kırıklı bir yapısı vardır. Bol miktarda kristal kalsit dolgulu çatlak içermektedir.



Şekil 2.10: KC örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

BE örnek grubu

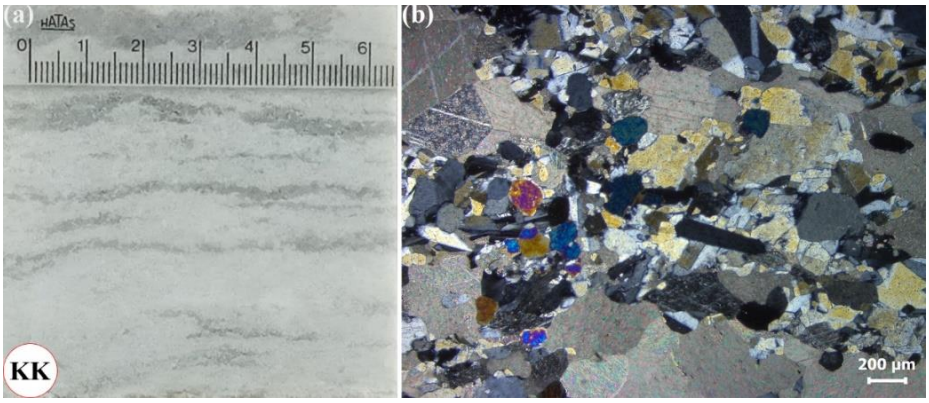
Kayaç breşik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Mikritk çimento ve dolomitik mermerden oluşan extraklastlar içermektedir. Extraklastlar köşeli ve kısmen yuvarlaklaşmış şekildedir.



Şekil 2.11: BE örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

KK örnek grubu

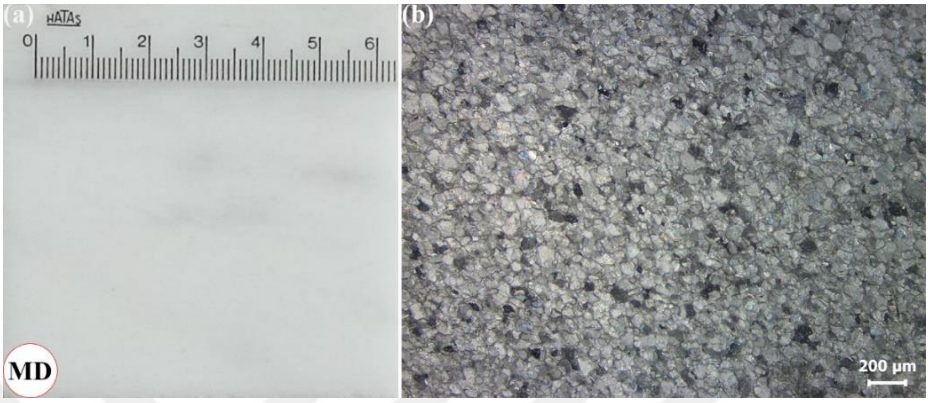
Kayaç kalksilikatik hornfels olarak tanımlanmıştır. Belirgin bir foliasyona sahip olan kayaç, yeşil ve beyaz renklerin ardalanması şeklindedir. Dokusal olarak gronablastik dokuya sahiptir. Mineral bileşiminde çoktan aza doğru kalsit, plajioklas, piroksen, kuvars, klorit bulunmaktadır. Ayrıca opak mineral içermektedir.



Şekil 2.12: KK örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

MD örnek grubu

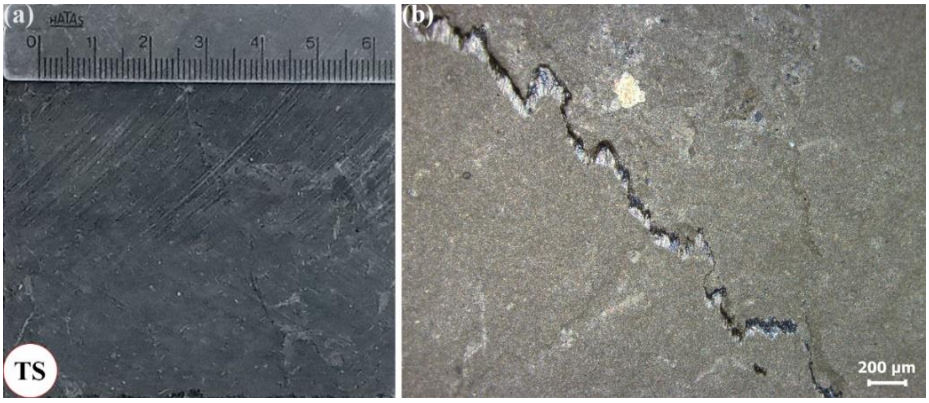
Kayaç ince taneli mermer ya da dolomitik mermer olarak tanımlanabilir. Beyaz renkte olan kayaç gronablastik mozaik dokuya sahiptir ve tane büyüklükleri hemen hemen birbirine yakındır.



Şekil 2.13: MD örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

TS örnek grubu

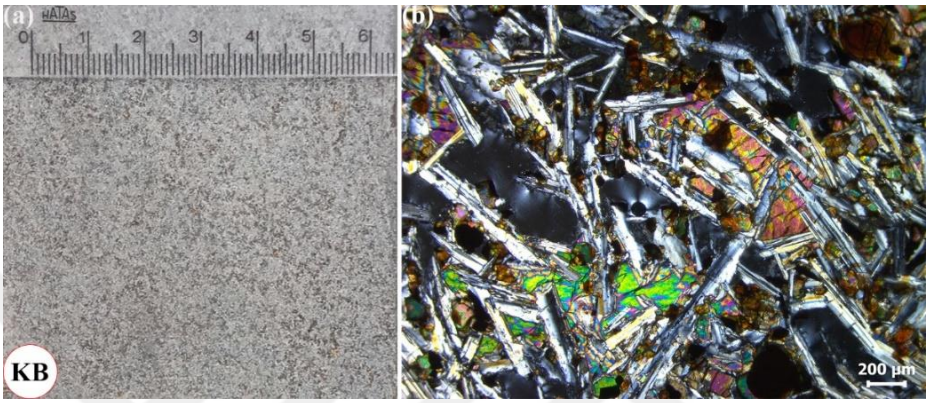
Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Siyah renkte olan kayaç, stilolit yapı göstermektedir. Kayaç içerisinde mikrit ve kavkı parçaları mevcuttur.



Şekil 2.14: TS örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

KB örnek grubu

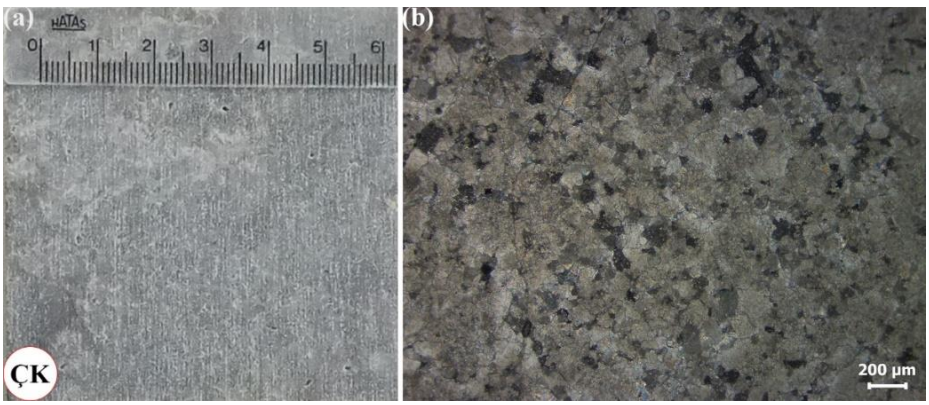
Kayaç olivin bazalt olarak tanımlanmıştır. Subofitik doku göstermektedir. Mineral bileşimi olarak plajioklas, olivin, piroksen, klorit ve opak mineraller içermektedir. Piroksen miktarı olivinden fazladır. Olivinler iddingsitleşmiş olup, piroksenlerde ise uralitleşme ve kloritleşme mevcuttur. Ayrıca kayaç, yer yer birbirleriyle bağlantısız boşluklar içermektedir.



Şekil 2.15: KB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

ÇK örnek grubu

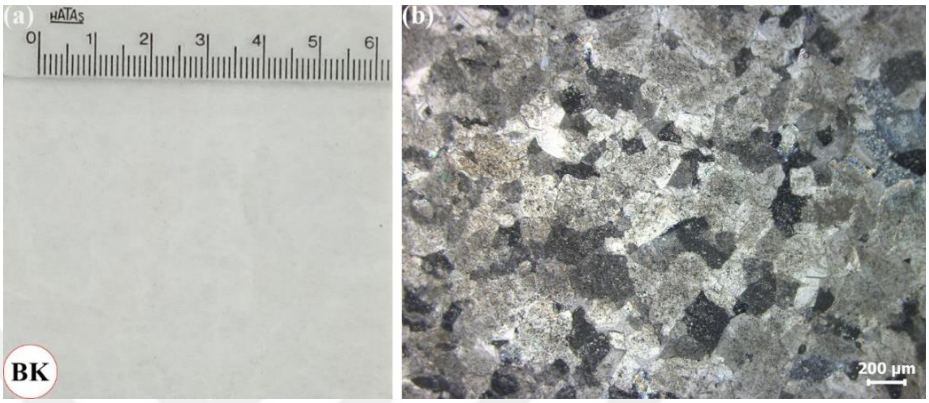
Kayaç dolomitik mermer olarak tanımlanmış olup, ksenotopik mozaik dokuya sahiptir. Kristal boyutları yaklaşık olarak birbirine yakındır. Kayaç içerisinde iri yer yer dolomitik kristallerden oluşan intraklast parçalar görülmektedir. Yine kayaç içerisinde kılcal çatlaklar mevcut olup, bu çatlaklar 0.1 mm boyuta ulaştığında karbonat mineralleri tarafından doldurulmuştur. Kayaç kırıldığında çürük yumurta kokusu yaymaktadır.



Şekil 2.16: ÇK örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

BK örnek grubu

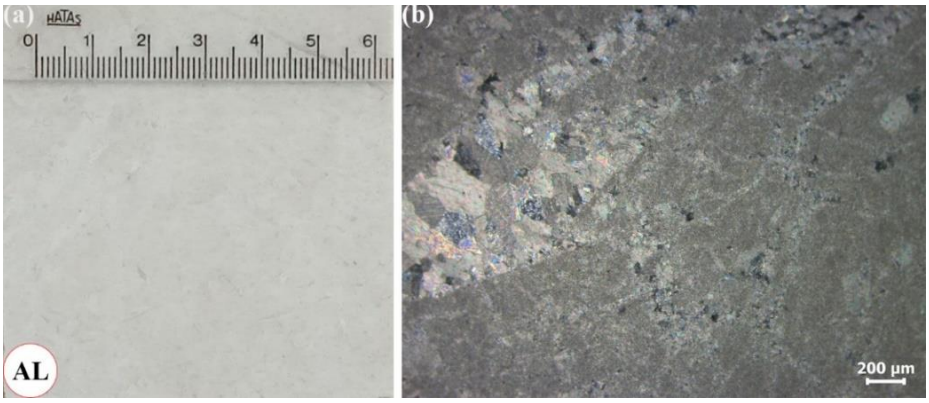
Dolomitik mermer olarak tanımlanan kayaç beyaz renkte olup, idyotopik mozaik doku göstermektedir. Kayaçta dolomitleşme başlamış olup, özşekilli dolomit kalsit kristalleri mevcuttur. Kristaller yaklaşık eş büyüklükte olup, boyutları 200-300 mikrometre arasındadır. Kayaç içerisinde kılcal çatlaklar bulunmaktadır.



Şekil 2.17: BK örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

AL örnek grubu

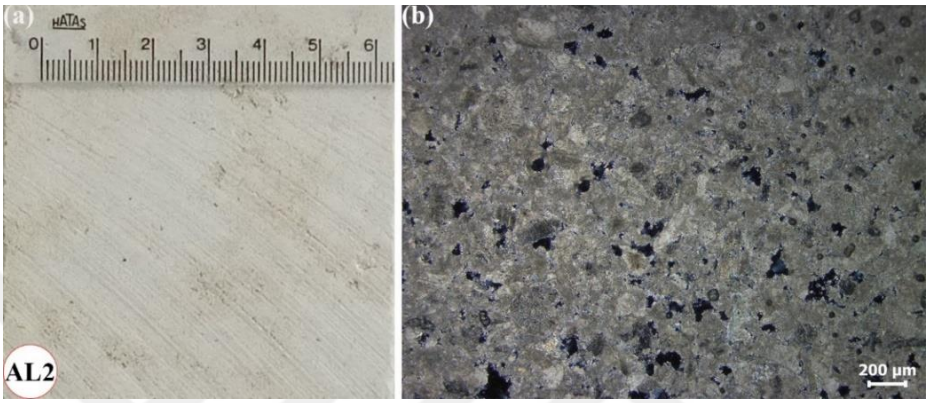
Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Bileşenleri mikrit ve opak mineralleridir. Yer yer kalsit dolgulu damarlar tarafından kesilmiştir. Kalsit damarlarının kalınlıkları kılcaldan mm ölçeğine kadar değişiklik göstermektedir.



Şekil 2.18: AL örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

AL2 örnek grubu

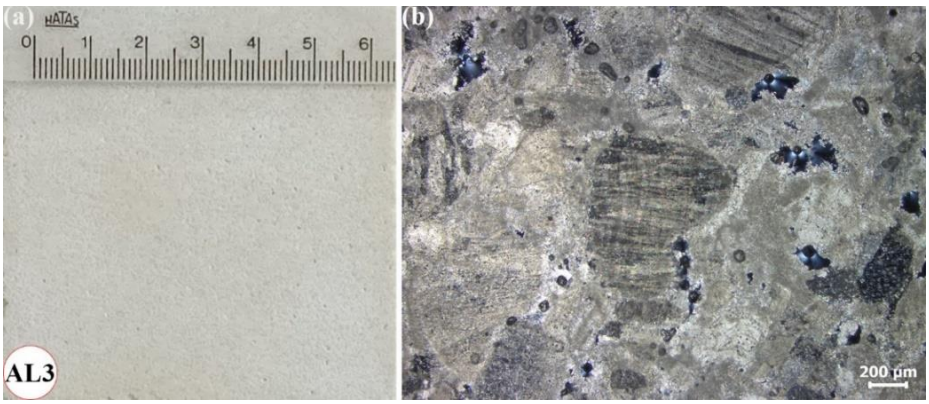
Kayaç kalsilutit yani karbonat çimentolu kumlu kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Kırıntılı sedimanter bir kayaçtır. Karbonat taneleri içermektedir. Kayaç içerisinde kalsit, mikrit taneleri ve arasında mikrosparitik çimento mevcuttur. Opak mineraller içermektedir ve belirgin geometrik şekilli olmayan boşluklu bir yapısı vardır.



Şekil 2.19: AL2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

AL3 örnek grubu

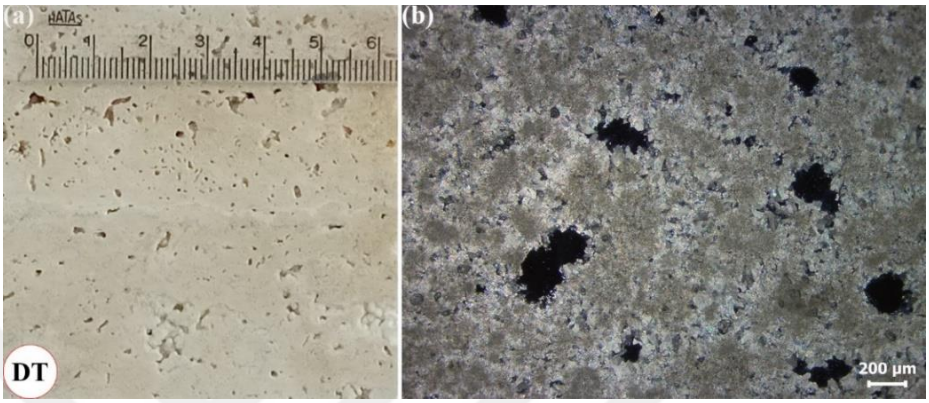
Kayaç biosparit olarak tanımlanmıştır. İçerisinde bol miktarda rudist fosili mevcuttur. Rudist fosilleri içerisinde poligonal boşluklar bulunmaktadır. Boşluk miktarı fazladır ve kayaç mikrit ve mikrosparit çimentoludur.



Şekil 2.20: AL3 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

DT örnek grubu

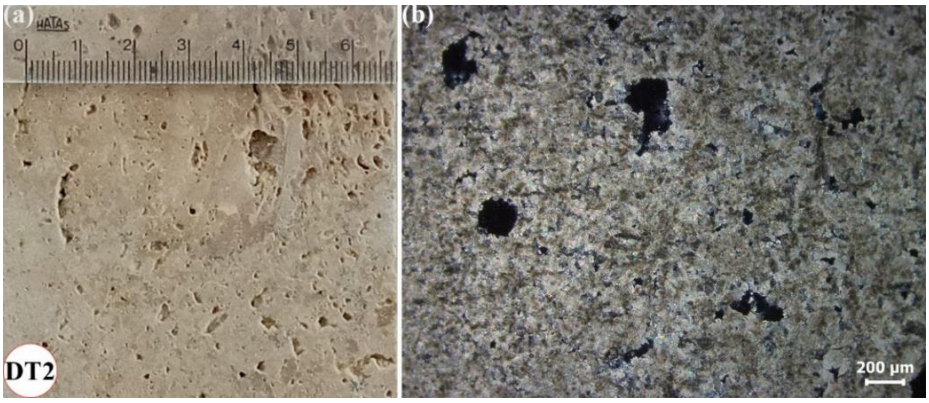
Kayaç traverten olarak tanımlanmıştır. Mikrit çimentolu olup mikrit bağlayıcı mevcuttur.Boşluk çeperleri bir kaç mm ve boşluklar bağlantısızdır. Kristal yapısı çok belirgin değildir sadece çeper kenarlarında Kristal gözlenmiştir. Kayaç kötü yıkanmıştır.



Şekil 2.21: DT örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

DT2 örnek grubu

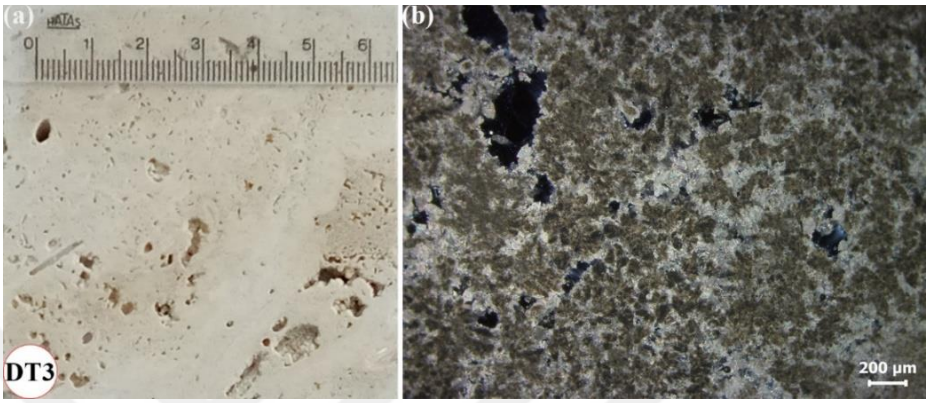
Boşluklu yapıda kötü yıkanmış bir travertendir. Boşlukları bağlantısız ve geometric şekilleri belirsizdir. Kayaç içerisindeki kahverengi ince taneli formdan dolayı çalı tipi traverten olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.22: DT2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

DT3 örnek grubu

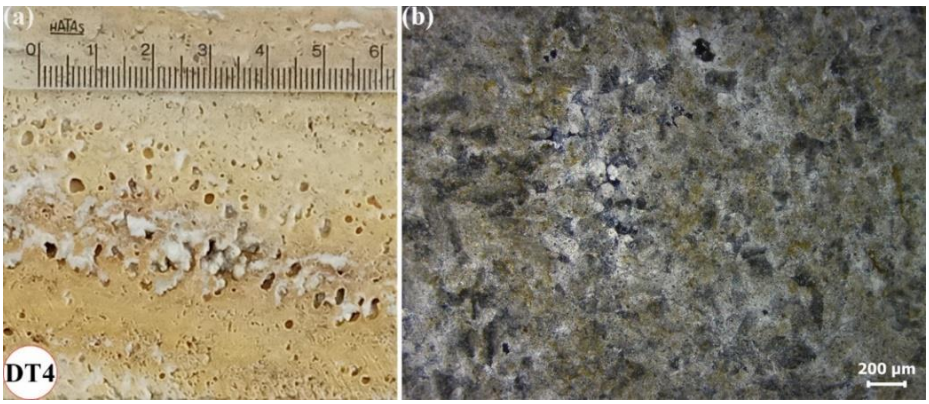
Kayaç traverten olarak tanımlanmıştır. Karbonatlar kötü yıkanmıştır. İçerisindeki kahverengi ince taneli formdan dolayı çalı tipi traverten olarak tanımlanabilir. Kayacın boşlukları bağlantısızdır. Boşluk çeperleri boyunca Kristal yapıları belirgindir.



Şekil 2.23: DT3 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

DT4 örnek grubu

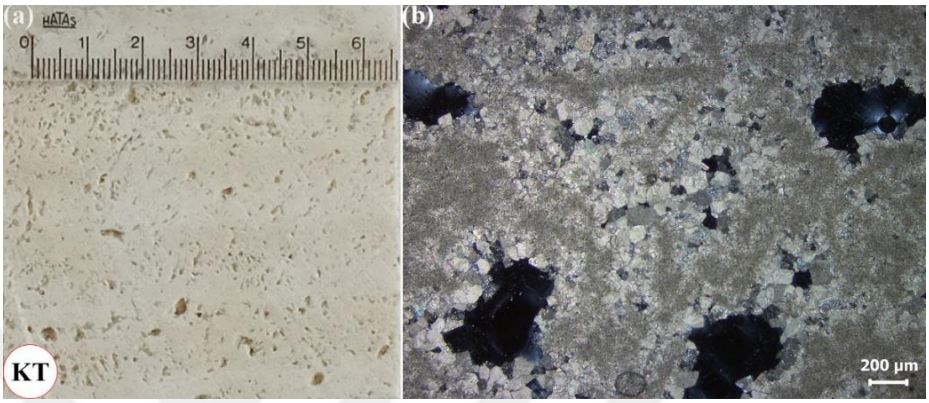
Kayaç sarı renkte bir traverten olup karbonatları iyi yıkanmıştır. Boşluk oranı azdır. Kristal boyutları yaklaşık olarak birbirine eşittir. Kristaller yarı öz şekilli olup 30-80 mikron arasındadır. Kayaçtta metamorfik kayaçlardaki gronoblastik mozaik dokuyu andıran bir şeker dokusu mevcuttur.



Şekil 2.24: DT4 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

KT örnek grubu

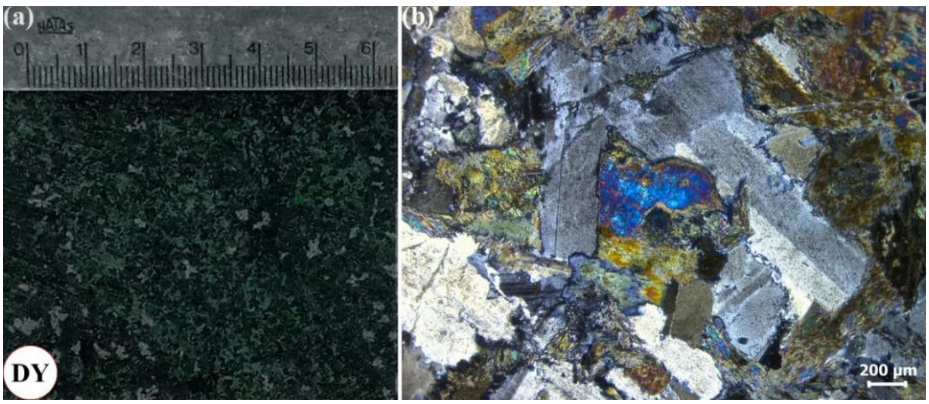
Kayaç traverten olarak tanımlanmıştır ve kayaçta mikrosparitik bir çimento mevcuttur. Özellikle boşluk çeperleri boyunca yarı öz şekilli kalsit-dolomit mevcuttur. Boşluk miktarı fazladır ve boşluklar 150-200 mikron arasındadır. Boşluklar biribiriyle bağlantısızdır. Karbonatları ise kötü yıkanmıştır.



Şekil 2.25: KT örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

DY örnek grubu

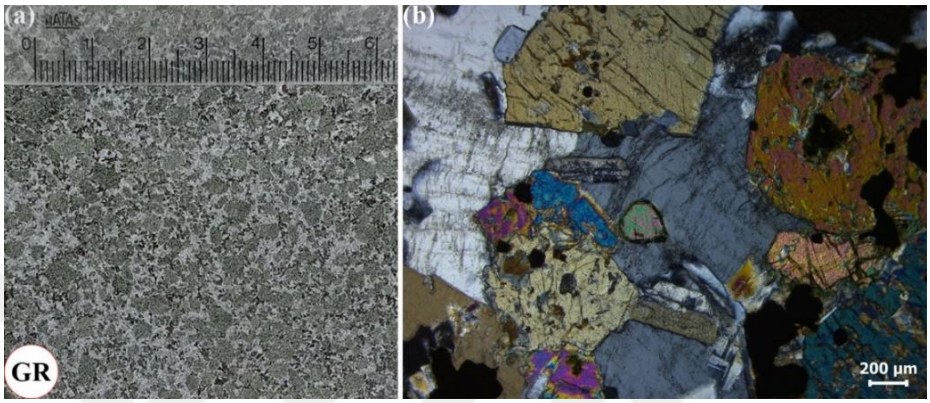
Yeşil renkte olan kayaç diyabaz (mikro gabro) olarak tanımlanmıştır. Kayaç ofitik/subofitik bir dokuya sahiptir. İçerik olarak plajioklas, piroksen ve klorit ve opak mineraller (ilmenit) bulunmaktadır. Plajioklaslarda yaygın killeşmeler mevcuttur. Piroksenler kloritleşmiş, aktinolitleşmiş ve tremolitleşmiştir. Kloritler mor renkli ve penin türündedir. Ayrıca kayaç içerisinde iğnemsi kristaller halinde apatitler bulunmaktadır ve kriptokristalin halde manyezit damarı mevcuttur.



Şekil 2.26: DY örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

GR örnek grubu

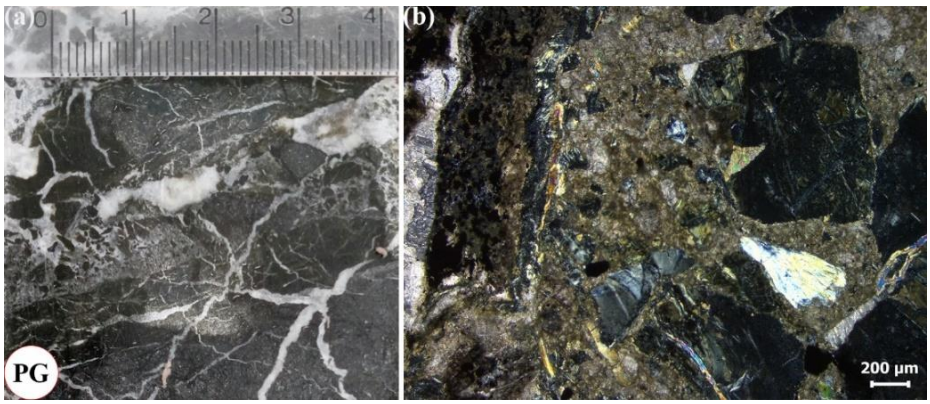
Kayaç gabro olarak tanımlanmıştır. İri kristallidir ve subofitik doku göstermektedir. İçerisinde piroksen, plajioklas, biyotit ve opak mineralleri mevcuttur. Piroksenler tipik öz şekilli (sekizgen) yapıya sahiptir ve piroksenlerde magmatik uralitleşme, plajioklaslarda ise yoğun killeşme ve sosusitleşme vardır. Kayaç ayrıca eksolüsyon lamelleri içermektedir.



Şekil 2.27: GR örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

PG örnek grubu

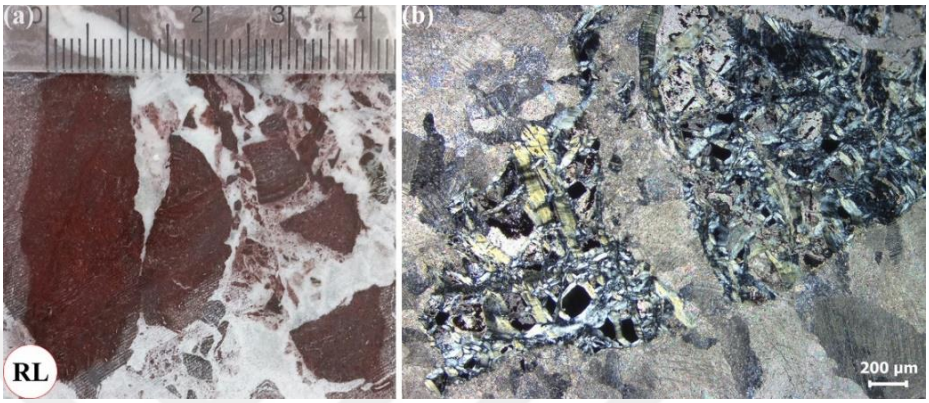
Breşik bir yapıya sahip olan kayaç ofikalsit olarak tanımlanmıştır. Kayaç oldukça kırıklı ve ezikli bir yapı sergilemektedir. İçerisinde serpantinleşmiş ultramafik kayaç parçaları ve bu parçaların arasını dolduran ince kristalli kalsitler mevcuttur. Ultramafik kayaç parçaları elek dokusu göstermektedir. Elek dokusu kayaçların dayanımını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 2.28: PG örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

RL örnek grubu

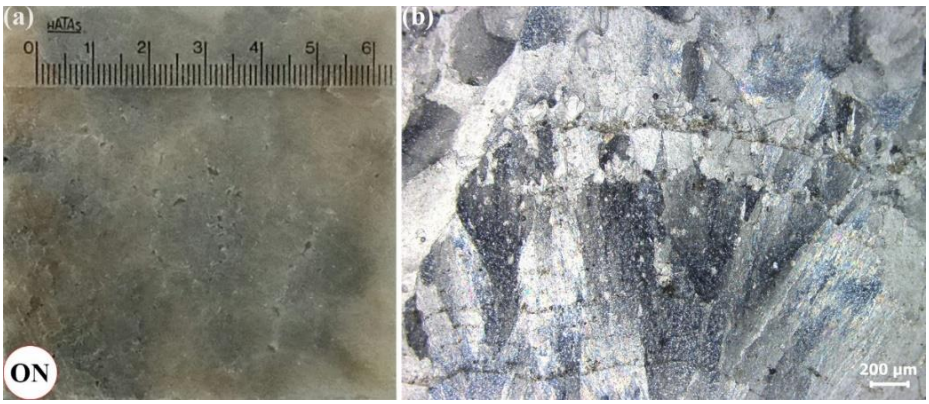
Kayaç ofikalsit olarak tanımlanmıştır ve breşik bir yapıya sahiptir. Kısmen yarı öz şekilli iri karbonat kristalleri içermektedir. İçerisinde serpantinleşmiş ultramafik kayaç parçaları vardır. Ultramafik kayaç parçaları elek dokusu göstermekte ve kromit türü opak mineraller içermektedir.



Şekil 2.29: RL örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

ON örnek grubu

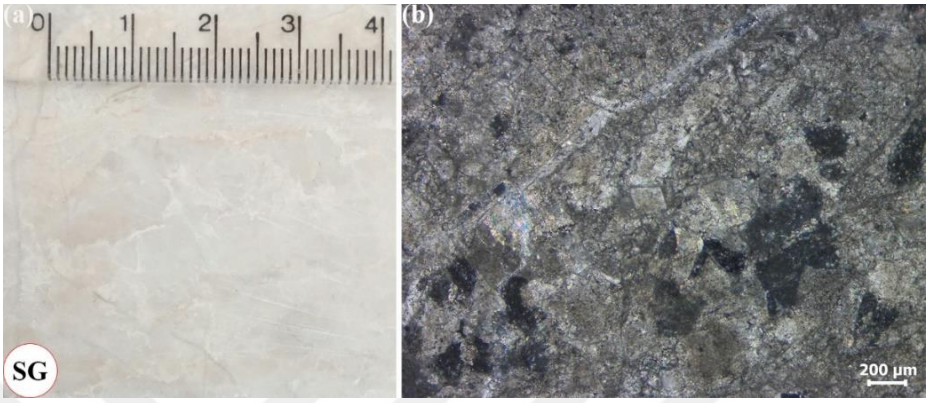
Kayaç bantlı traverten (kalsit alabaster) olarak tanımlanmıştır. Kayaç içerisinde ışınsal karbonat mineralleri mevcuttur ve kayaç belirgin olmamakla birlikte renk bantlanması göstermektedir. Renk bantları arasında çok ince kil seviyeleri veya boşluklar bulunmaktadır.



Şekil 2.30: ON örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

SG örnek grubu

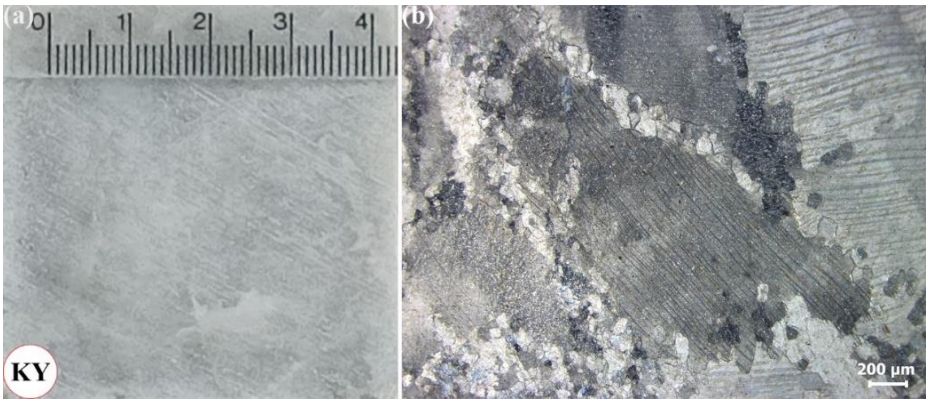
Kayaç dolomitik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır ve breşik bir yapıya sahiptir. Kayacın damarlı bir yapısı mevcut olup, damarlar iri kalsit kristalleri ile doldurulmuştur.



Şekil 2.31: SG örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

KY örnek grubu

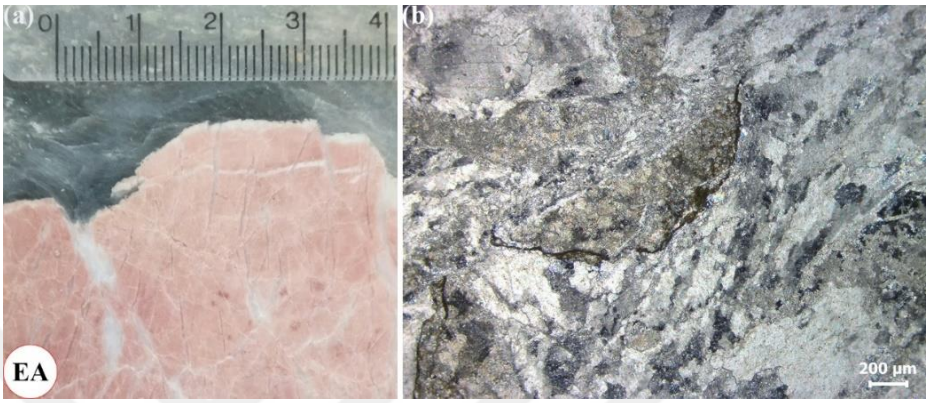
Kayaç dolomitik mermer olarak tanımlanmıştır ve kataklazma göstermektedir. Kristal dağılımı heterojendir. Kataklazma derecesine göre porfiroklastik doku göstermektedir.



Şekil 2.32: KY örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

EA örnek grubu

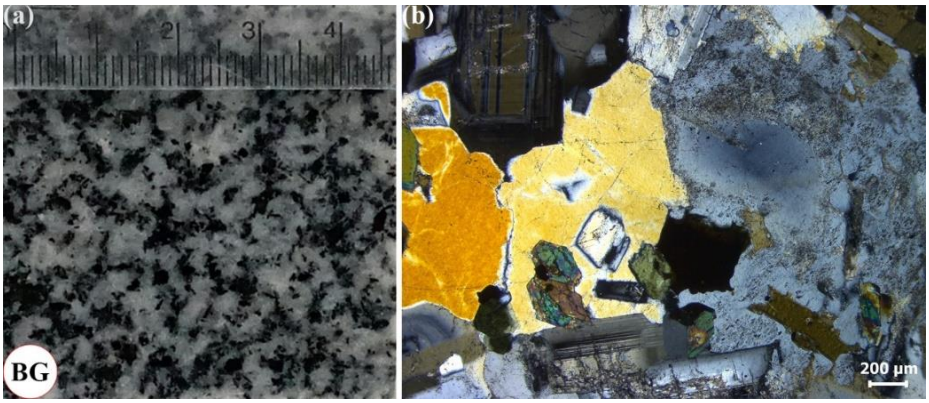
Mermer olarak tanımlanan kayaç, yer yer mikritik porfiroblastlar içermektedir. Tipik olarak yönlenme gösteren belli bir yönelimi olan kayacın heteroblastik dokusu vardır. Kayaç ayrıca kinkbant ve yer yer stilolit yapıları içermektedir.



Şekil 2.33: EA örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

BG örnek grubu

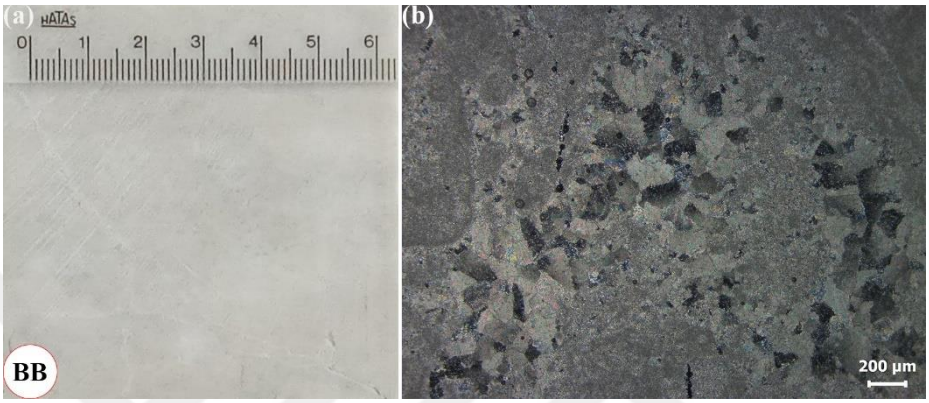
Kayaç granit olarak tanımlanmıştır. K-feldispat, prizmatik formlarda özşekilli/yarı özşekilli kristaller olarak bulunmakta ve pertitik iç içe büyümeler göstermektedir. K-feldispat kristallerinde plajiyoklaz, biyotit ve amfibol kapanımları gözlenmiştir. İri K-feldispat/plajiyoklaz minerallerinde hafif killeşme ve serizitleşme gözlenirken, amfibol/biyotit minerallerinde hafif kloritleşme gözlenmektedir. Feldispatlardaki killeşmeden dolayı büyük oranda ayrışma içermektedir. Kristaller arasında gözenek yoktur ve birbirine kenetlenme oldukça iyidir.



Şekil 2.34: BG örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

BB örnek grubu

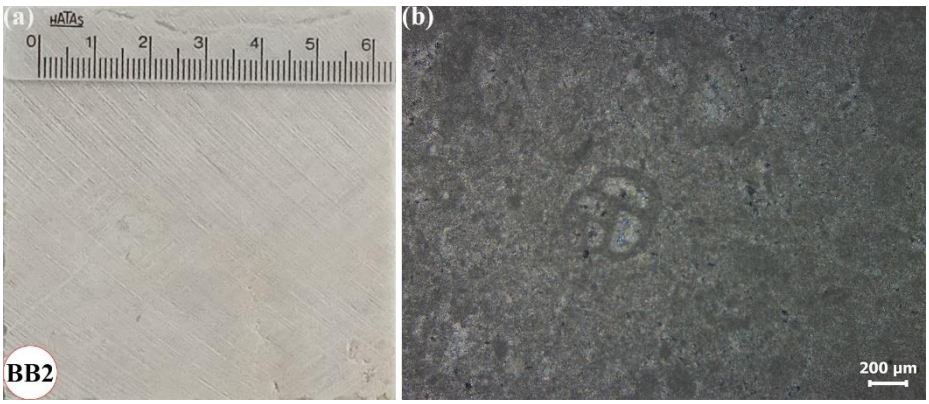
Kayaç kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. İçerisinde pelletler ve bol miktarda kalsit ve kalsit kümelenmeleri mevcuttur. Kalsitler boşluk dolguları şeklinde ve çimento (mikro sparit çimento) olarak bulunmaktadır. Kırıklı, çatlaklı bir yapısı vardır. Çatlakların bazıları dolgu içermemektedir. Ayrıca kayaç Globotruncana fosilleri içermektedir.



Şekil 2.35: BB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

BB2 örnek grubu

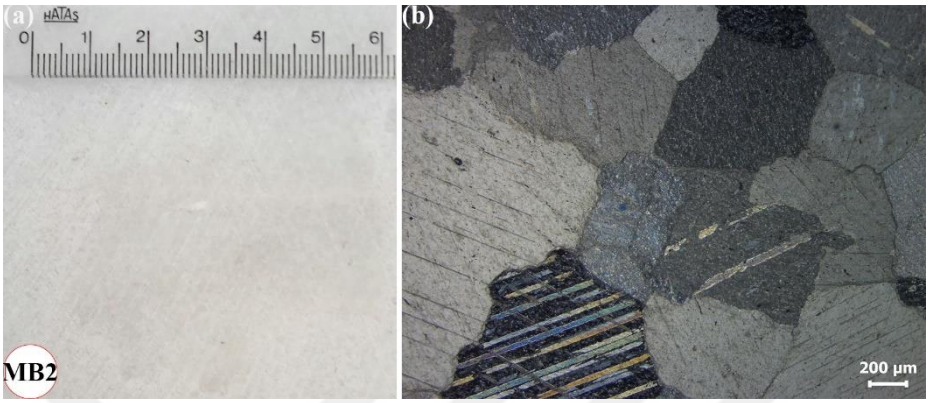
Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Mikrit, kalsit ve Alg parçaları içermektedir ve kalsitler ince kristaller halinde ve boşluk dolgusu olarak bulunmaktadır. Kayaç içerisinde foraminifer fosilleri gözlenmiştir.



Şekil 2.36: BB2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

MB2 örnek grubu

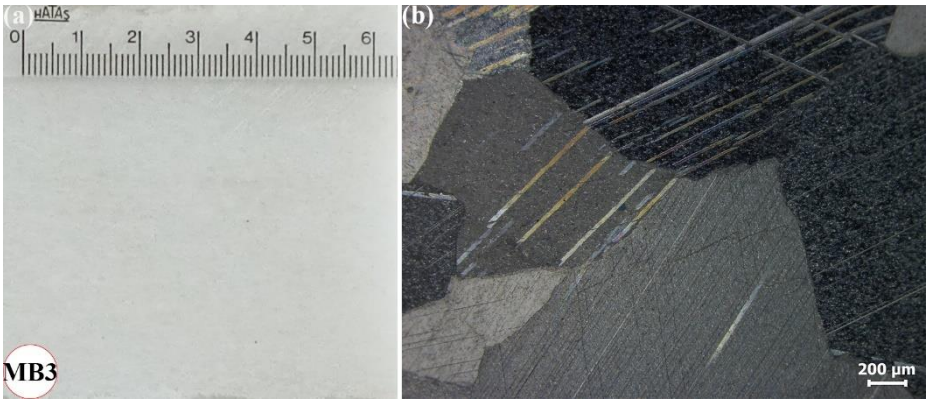
Kayaç mermer olarak tanımlanmıştır. Orta-iri kristalli olan kayaç heteroblastik poligonal doku göstermektedir.



Şekil 2.37: MB2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

MB3 örnek grubu

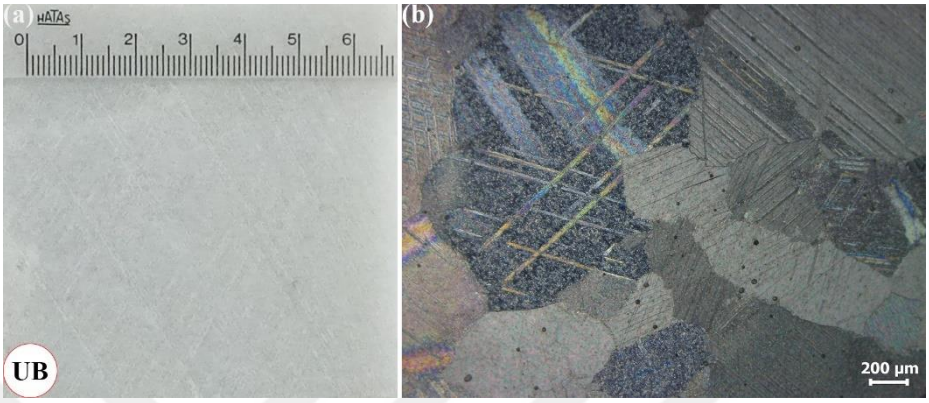
Kayaç mermer olarak tanımlanmıştır ve iri kristallidir. Yuvarlaklaşmış kuvars taneleri ve muskovit taneleri içermektedir. Heteroblastik bir dokuya sahiptir.



Şekil 2.38: MB3 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

UB örnek grubu

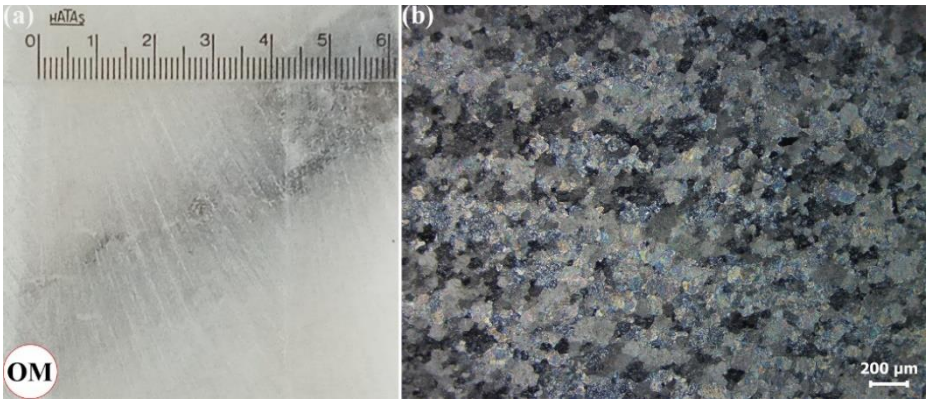
Makro olarak beyaz renkte olan kayaç mermer olarak tanımlanmıştır. Heteroblastik mozaik dokuya sahiptir. İçerisindeki kalsitler polisentetik ikizlenme içermektedir.



Şekil 2.39: UB örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

OM örnek grubu

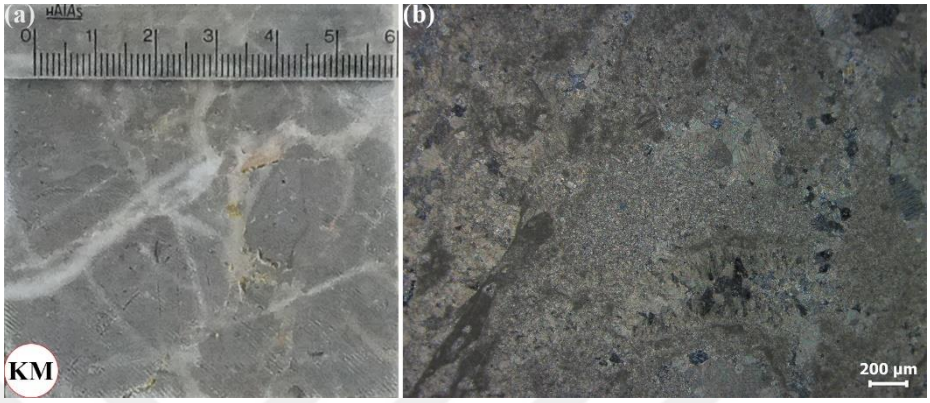
Kayaç mermer olarak tanımlanmıştır. İnce taneli bir mermerdir ve homoblastik mozaik dokuya sahiptir. Kalsit porfiroblastlar içermektedir. Kalsit kristalleri ince ve dilinim göstermemektedir. Kayaçta tipik bir yönlenme mevcuttur.



Şekil 2.40: OM örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

KM örnek grubu

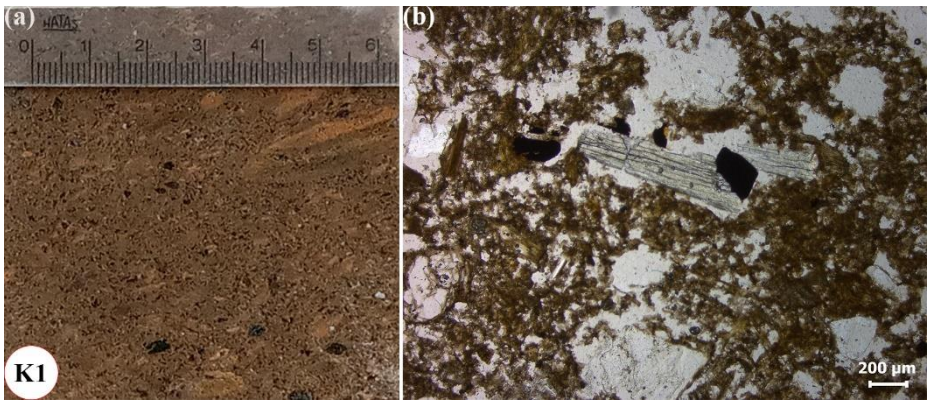
Kayaç breşik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. İçerisinde mikrit ve kalsit mevcut olup, kalsitler boşluk dolguları şeklindedir. Kayaç mikrosparitik bir dokuya sahiptir.



Şekil 2.41: KM örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

K1 örnek grubu

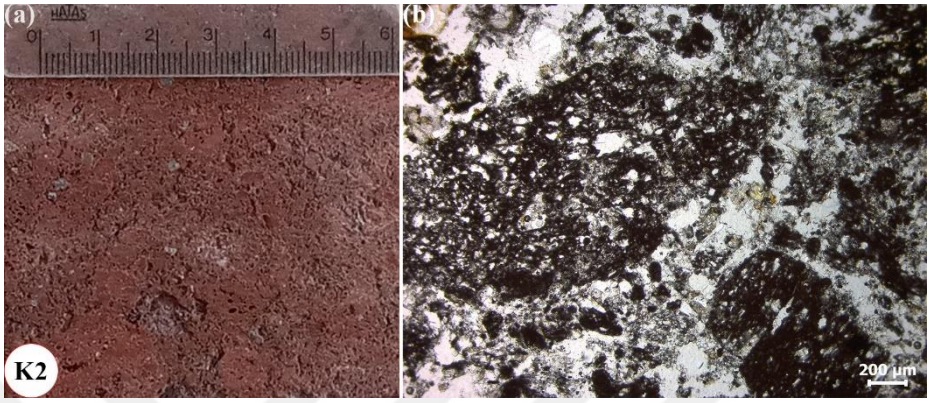
Kayaç ignimbirit olarak tanımlanmıştır. Mineralojik bileşim olarak piroksen, plajioklas ve opak mineraller içermektedir. Zayıf kaynaklaşmış bir kayaçtır ve andezitik bileşiminde ignimbirittir. Pomza parçaları içermektedir ve pomzalarda yoğun derecede killeşmeler gözlenmiştir. Vitrofirik doku göstermektedir. Sınıflandırma olarak kayaç vitrik tüf olarak da ifade edilebilir.



Şekil 2.42: K1 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

K2 örnek grubu

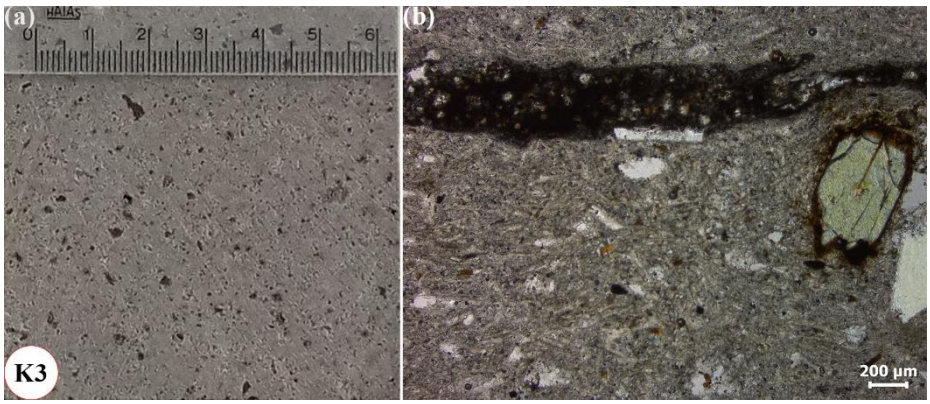
Kayaç ignimbirit olarak tanımlanmıştır. Kaynaklaşmamış bir ignimbirittir. Plajioklas ve piroksen ve pomza parçaları içermektedir ve vitrofirik bir dokuya sahiptir. Pomza bileşenlerinde yaygın olarak killeşmeler gözlenmiştir.



Şekil 2.43: K2 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

K3 örnek grubu

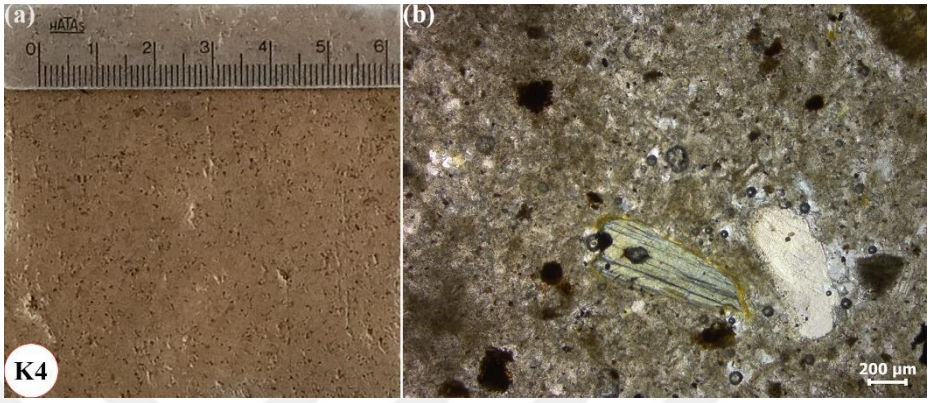
Kayaç ignimbirit olarak tanımlanmıştır. Öteksitik bir dokuya sahiptir. Mineralojik bileşim olarak bol miktarda plajioklas, kuvars kırıkları, piroksen, olivin içermektedir. Kaynaklaşması iyi-orta olup, bazaltik andezit bileşimindedir. Kayaç içerisinde volkanik cam kıymıkları (shard) gözlenmiştir. İçerdiği pomza parçaları yassılaşmış şekildedir ve olivinlerde ise iddingsitleşme gözlenmiştir.



Şekil 2.44: K3 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

K4 örnek grubu

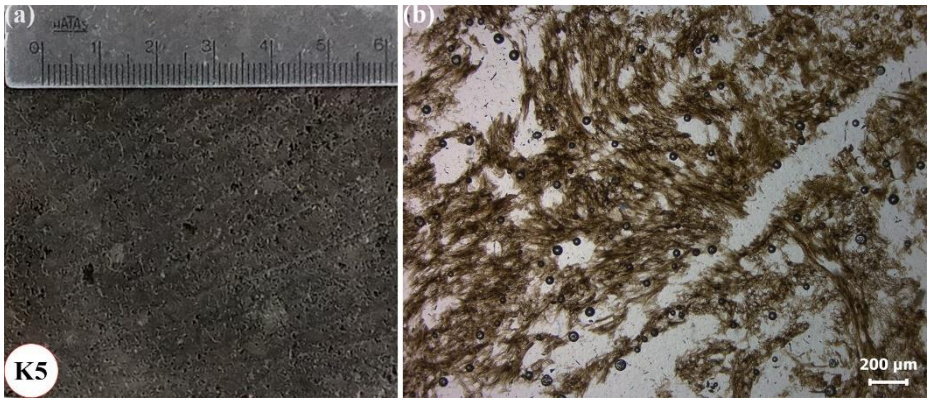
Kayaç tüf (kristal tüf) olarak tanımlanmıştır. Mineralojik olarak bileşiminde plajioklas, piroksen ve opak mineraller mevcuttur. Ayrıca bol miktarda opaklaşmış biyotit ve çok az da pomza parçaları içermektedir. Kayaç vitrofirik dokuya sahiptir.



Şekil 2.45: K4 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

K5 örnek grubu

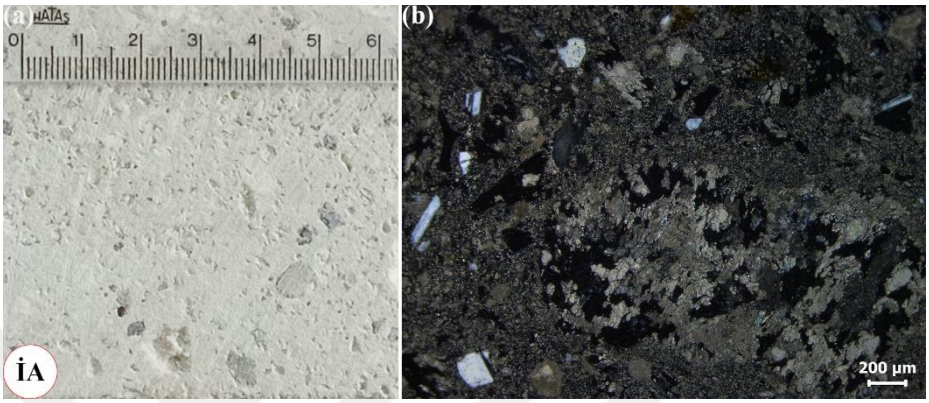
Kayaç ignimbirit olarak tanımlanmıştır. Mineralojik olarak plajioklas, piroksen ve opak mineraller içermektedir. Tanımsal olarak vitrik tüf olarak da ifade edilebilen kayaç, elipsoidal pomza parçaları içermektedir. Andezitik bileşimindedir ve vitrofirik dokuya sahiptir. Kaynaklaşma derecesi ortadır.



Şekil 2.46: K5 örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

İA örnek grubu

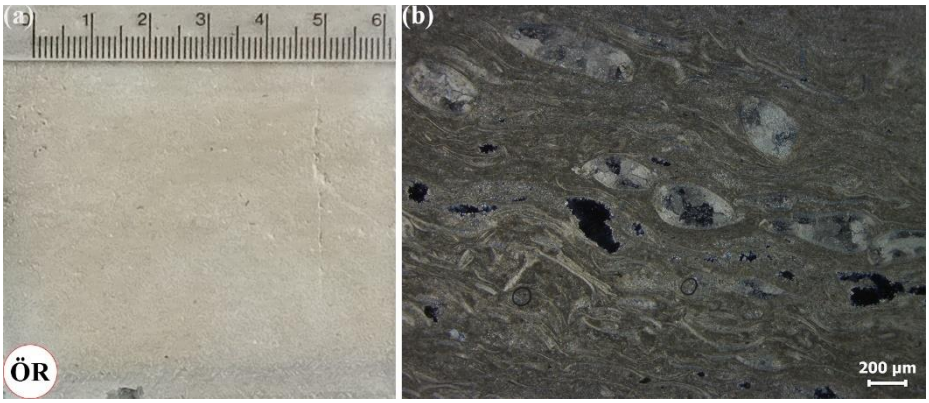
Kayaç tüf olarak tanımlanmış olup, plajioklas ve bol miktarda pomza içermektedir. Pomzalar yuvarlak şekilli olup, karbonatlar tarafından doldurulmuştur. Vitrik tüf olarak da tanımlanabilen kayaç bol miktarda kil taşları içermektedir ve vitrofirik doku göstermektedir.



Şekil 2.47: İA örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

ÖR örnek grubu

Bol miktarda kavkı ve kil içeren, kil matriksine sahip kayaç fosilli kiltaşı olarak tanımlanmıştır. Kayaçta belirgin bir laminasyon görülmektedir.



Şekil 2.48: ÖR örnek grubunun makro (a) ve mikro (b) görünümü.

2.3 Laboratuvar Deneyleri

Tez çalışması kapsamındaki örnek grupları üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemeye yönelik tüm deneysel çalışmalar Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, kuru birim hacim ağırlık (γ_k) ve doygun birim hacim ağırlık (γ_d), görünür porozite (n), ağırlıkça su emme oranı (A_w), P-dalgası geçiş hızı (V_P), geniş disk aşınma değeri (GD); Leeb sertlik değeri (HL_D), tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerleri belirlenmiştir.

2.3.1 Birim Hacim Ağırlık, Su Emme (A_W) ve Görünür Porozite (n)

Birim hacim ağırlık, bir cismin birim hacmine karşılık gelen hacmin ifadesi olup gr/cm^3, t/m^3, kN/m^3 gibi birimlerle ifade edilmektedir. Temelde 5 çeşit birim hacim ağırlığı değeri bulunmakta olup bu çalışmada sadece kuru ve doygun birim hacim ağırlığı (γ_k ve γ_d) değerleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında kuru ve doygun birim hacim ağırlık, görünür porozite (n) ve ağırlıkça su emme (A_W) değerleri temel fiziksel özellikler olarak tüm gruplar için (46 farklı doğaltaş) belirlenmiştir. Fiziksel özellikler TS EN 1936 (2010) ve TS EN 13755 (2014) standartları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Her kaya grubundan 10 adet örnek üzerinde doğal taş gruplarının fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Kumpas yardımıyla eni, boyu ve yüksekliği ölçülen küp örneklerin hacmi hesap edilmiştir. Örneklerin kuru durumdaki ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla deney numuneleri, (70 ± 5) ºC sıcaklıkta sabit kütleye erişinceye kadar etüvde bekletilmiştir. Ölçümlerde, 24 ± 2 saat aralıklarla birbirini izleyen iki tartım arasındaki fark, numune kütlesinin %0.1'inden daha büyük değilse numunenin sabit kütleye eriştiği kabul edilmiş, sonrasında 48 saat süreyle atmosfer basıncında su içinde bekletilmiştir. Her bir numune, suya doygun duruma gelip sabit bir kütleye eriştiğinde doygun ağırlığı belirlenmiştir. Ayrıca doygun durumdaki örnekler Arşimet terazisinde tartılarak örneklerin sudaki ağırlığı da ölçülmüştür.

Örneklerin etüvde kurutulması, hassas terazide tartılması ve su içinde bekletilmesi işlemleri Şekil 2.49'da ki gibi olup, örneklerin fiziksel özellikleri olarak

kuru ve doygun birim hacim ağırlık değerleri (γ_k ve γ_d), görünür porozite (n) ve ağırlıkça su emme oranları (A_w) eşitlikler (2.1-2.4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$A_w = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (2.1)$$

$$n = \frac{W_d - W_k}{W_d - W_s} \times 100 \quad (2.2)$$

$$\gamma_k = 9.81 \times \frac{W_k}{V} \quad (2.3)$$

$$\gamma_d = 9.81 \times \frac{W_d}{V} \quad (2.4)$$

Bu eşitliklerde,

W_k: kuru örnek ağırlığı (g), W_d: doygun örnek ağırlığı (g), W_s: doygun örneğin su içindeki ağırlığı (g), V: hacim (cm^3), n: görünür porozite (%), A_w: ağırlıkça su emme oranı (%), γ_k: kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3), γ_d: doygun birim hacim ağırlık (kN/m^3) değeridir.



Şekil 2.49: Örneklerin tartılması, kurutulması ve suda bekletilmesi.

2.3.2 P-dalgası Geçiş Hızları (V_P)

P-dalgası geçiş hızları (V_P) doğaltaş ve kaya malzemelerinin tahribatsız olarak karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Her doğaltaş grubunun 10 örneği üzerinde en, boy ve yükseklik olarak üç yönde ölçüm alınmıştır. Deneyler TS EN 14579 (2015) standardı doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup, ölçümler Proceq Pundit Lab+ ultrasonik test cihazı (Şekil 2.50) kullanılarak 54 kHz frekansı hassasiyetli alıcı ve verici transdüserler ile yapılmış ve her örnek için P dalgasının geçiş zamanları belirlenmiştir.

Örneklerin P-dalgası geçiş hızları (V_P) (2.5) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_P = \frac{L}{T} \tag{2.5}$$

Burada,

V_P: P-dalgası geçiş hızı (km/s),
L: Örneğin boyu (sinyalin katettiği mesafe) (mm),
T: P dalgasının ilerleme süresi (μs) olarak verilmiştir.



Şekil 2.50: Sonik hız cihazı (a) ve ölçüm alım işlemi (b).

2.3.3 Leeb Sertlik Değerleri (HL_D)

Leeb sertlik yöntemi dinamik sıçrama esasına dayalı pratik ve tahribatsız bir deney yöntemidir. 1970'li yıllarda metal malzemelerin yüzey sertliğinin belirlenmesi amacıyla Dietmar Leeb tarafından geliştirilmiştir (Leeb 1979). Leeb sertlik cihazları temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; buton, yay mekanizması ve tungsten karbür uçtan oluşan darbe kısmı ve pil, ekran ve elektronik bileşenlerden oluşan ana ünitedir. 0.5 g ağırlıklı ucun çarpmasıyla kaya yüzeyine 11 Nmm çarpma enerjisi uygulanmaktadır. Leeb sertliği, ucun sıçrama hızının çarpma hızına oranının 1000 katı olarak cihaz tarafından tanımlanmaktadır (2.6).

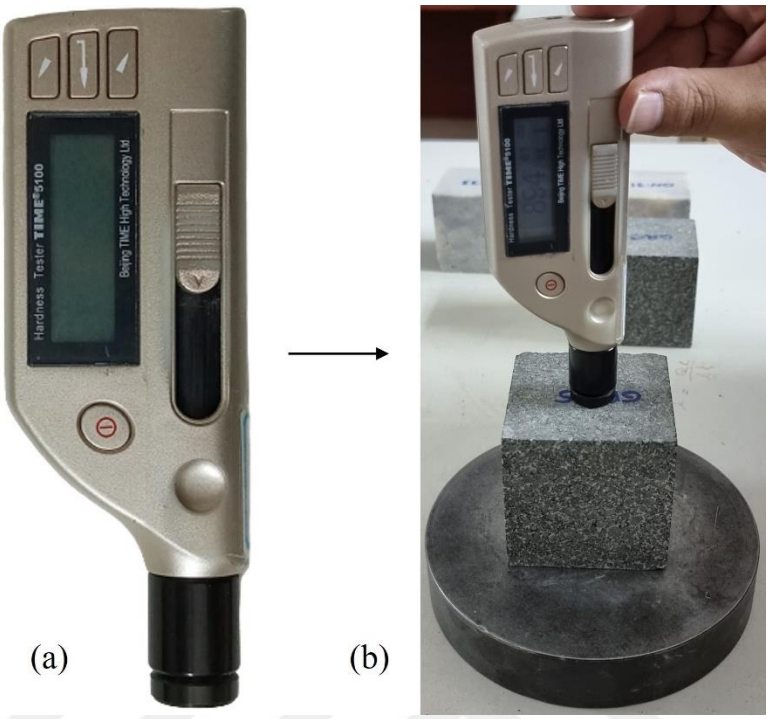
$$HL_D = \frac{V_{sıçrama}}{V_{çarpma}} \times 1000 \tag{2.6}$$

Burada;

HL_D: Leeb sertlik değeri,
$V_{sıçrama}$: Ucun geri sıçrama hızı,
$V_{çarpma}$: Ucun çarpma hızıdır.

Leeb sertlik değeri kayalarda kullanılan L-tipi Schmidt sertlik çekicine göre 67 kat daha düşük çarpma enerjisi uygulamaktadır. Düşük çarpma enerjisi bu testin ana avantajı ve yaygınlaşmasındaki en önemli etkendir (Çelik ve Çobanoğlu 2019). Kaya malzemelerin Leeb sertliğinin belirlenmesi üzerine önerilmiş bir standart yöntem bulunmamaktadır. Farklı araştırmacılar farklı ölçüm yöntemleri kullanmıştır. Bu yöntemlerde Leeb sertlik değeri belli sayıda alınan ölçümlerin ortalaması olarak verilmiştir (Verwaal ve Mulder 1993; Aoki ve Matsukura 2008; Yılmaz 2013; Corkum ve diğ. 2018; Çelik ve Çobanoğlu 2019). Bu tez kapsamında, küp örneklerin bir yüzeyine mümkün olduğu kadar homojen dağıtılmış 20 ölçümün aritmetik ortalaması örneklerin Leeb sertlik değeri olarak belirlenmiştir. Ölçümler, TIME® 5100 cep tipi portatif sertlik cihazı kullanılarak alınmıştır (Şekil 2.51). Her doğaltaş grubunun 10 örneği üzerinde çevrim öncesi sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Literatürde özellikle tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin tahminine yönelik korelasyon çalışmaları bulunmakta olup bu tez çalışmasında donma çözünme çevrim sayısının artışına bağlı olarak doğaltaşların yüzey bozunması, izlenen sertlik

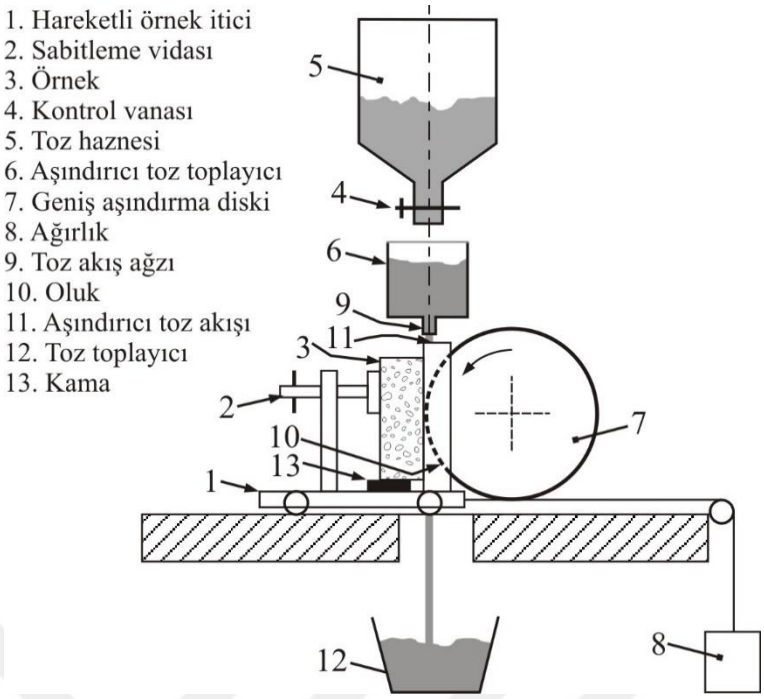
değerleriyle karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Bunun için belirlenen her çevrim sayısı sonunda bozunmuş örnekler üzerinde sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.51: Leeb sertlik cihazı (a) ve ölçüm alınması (b).

2.3.4 Geniş Disk Aşınma Değeri (GD)

Geniş disk aşınma deneyi pratik olması nedeniyle son yıllarda kullanımı yaygınlaşan, doğaltaşlar için önerilmiş bir deney yöntemidir. Daha önceleri, doğaltaş grubu için Böhme aşınma deneyi kullanılırken, günümüz uygulamalarında tercih edilir deney yöntemi olarak "geniş disk aşınma deneyi" benimsenmiştir. Bu çalışmada her doğaltaş grubunun 10 örneği üzerinde çevrim öncesi ve sonrası geniş disk aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler TS EN 14157 (2017) standardı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Geniş disk aşınma cihazı Şekil 2.52 ve Şekil 2.53a'daki gibi olup, geniş disk aşınma deneyinde, 200 ± 1 mm çap ve 70 ± 1 mm genişliğe sahip disk 75 devir yaparak örneği aşındırmaktadır. Aşındırma esnasında dönen disk ile örneğin temas alanı arasına sürekli aşındırıcı toz beslemesi yapılmaktadır. Deney sonunda Şekil 2.53b ve Şekil 2.53c'deki gibi örnekler üzerindeki aşınan alan ince uçlu kalemle çizilir ve kumpas ile ölçülerek genişlik mm olarak belirlenir, bu değer geniş disk aşınma değeri olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.52: GD cihazının şematik görünümü (TS EN 14157 2017).



Şekil 2.53: Geniş disk aşınma cihazı (a) ve aşınan örnekler (b, c).

2.3.5 Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS)

Kayaların tek eksenli basınç dayanımlarının (UCS) belirlenmesi amacı ile yapılan deneyler, kesilerek boyutlandırılmış 7x7x7 cm küp örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Donma çözünme çevrim öncesi ve sonrasında yapılan deneylerde 2000 kN yükleme kapasiteli deney sistemi kullanılmıştır (Şekil 2.54a, b). Deneyler TS EN 1926 (2013) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Örneklerin tek eksenli basınç dayanımları ise (2.7) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$UCS = \frac{F}{A} \times 10^{-3} \qquad (2.7)$$

Burada,

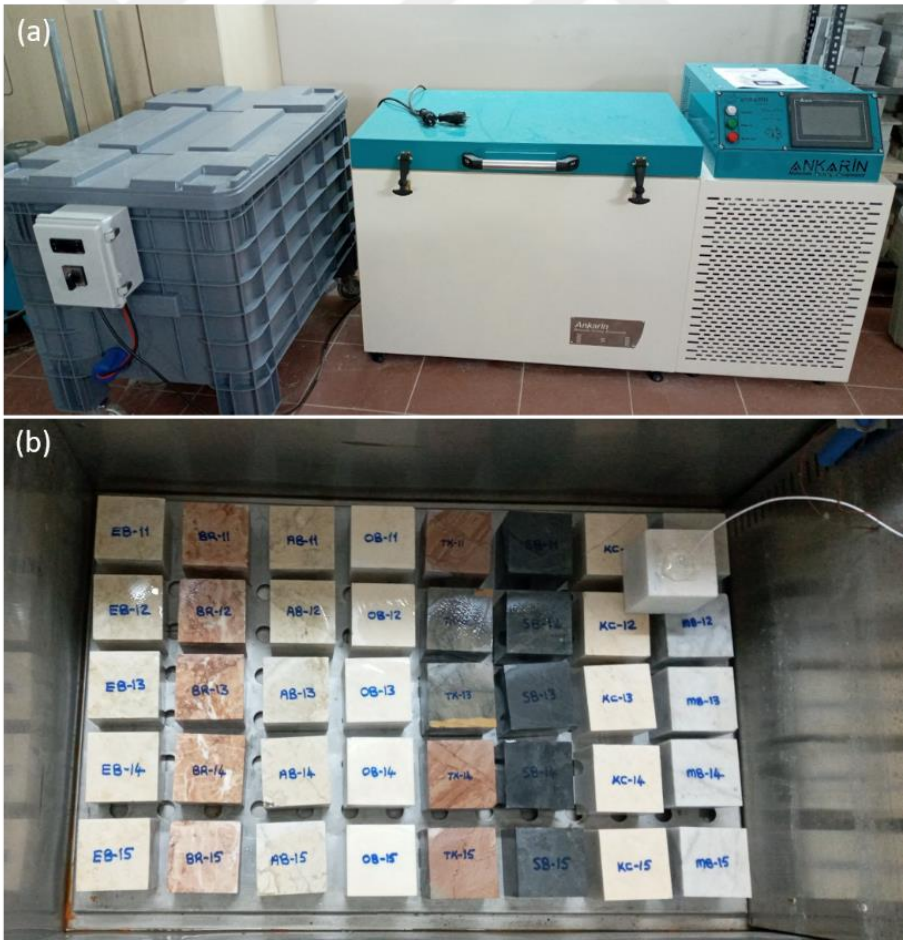
UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa),
F: Yenilme anındaki kaydedilen yük (kN),
A: Küp örneğin kesit alanı (m^2) olarak verilmiştir.



Şekil 2.54: Tek eksenli basınç dayanımı deney cihazı (a) ve örneğin yenilmesi (b).

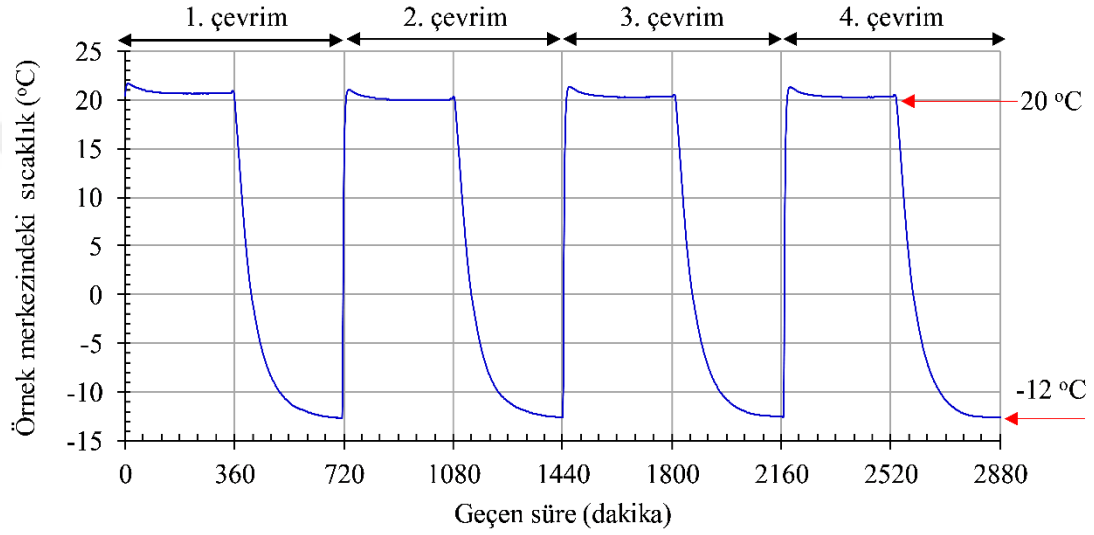
2.3.6 Donma Çözünme Deneyleri

Donma çözünme deneyi, artan donma çözünme çevrimleri (DÇ) sonrası kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin belirlenmesi amacıyla yapılır. Donma-çözünme kayaçların fiziksel bozunmasında etkilidir. Tekrarlanan donma çözünme çevrimleri kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirir. Kayacın çevrim sayısına bağlı olarak göstereceği fiziksel ve mekanik özellik değişimlerinin hassas olarak ortaya konulabilmesi için çevrimler 4, 7, 10, 14, 20, 28, 35, 56, 70 ve 84 olarak ayrı ayrı uygulanmıştır. Her çevrim 6 saat boyunca havada donma (-12ºC'de) ve 6 saat suda çözünme (+20ºC'de) periyotlarından oluşmaktadır. Çevrimler sonrasında örneklerin kütlece ağırlık kaybı, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Donma çözünme deneyi, TS EN 12371 (2011) standartları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Deney öncesi örnekler 48 saat suda bekletilip doygun hale getirilmiştir.



Şekil 2.55: Donma çözünme cihazı (a) ve deney sırasında örneklerin kabin içindeki görünümü (b).

Donma çözünme test cihazı havada donma ve suda çözünme işlemlerini yapacak şekilde otomatik olup, toplam 80 adet küp örnek (7x7x7cm boyutlarında) alabilecek büyüklüğe sahiptir ve yaklaşık 220 litre hacmindedir (Şekil 2.55a). Örneklerin donma çözünme test cihazı içindeki görünümü Şekil 2.55b'deki gibidir. Deneyler öncesinde standartta belirtilen sıcaklık değerlerinin doğru ve tam olarak elde edilebilmesi amacıyla deneme ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca örneklerin merkezindeki sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 2.56).



Şekil 2.56: DÇ süreci boyunca örneklere uygulanan sıcaklık değişimlerinin zamana bağlı değişimi.

Yapılan donma çözünme deneylerinde donma süreci, ilk iki saatte -8°C ve son 4 saatte -8°C ile -12°C arasında bir değerde kalmak üzere, toplam 6 saatte tamamlanmaktadır. Sonrasında donmuş örneklerin 20°C'de 6 saatlik çözünme süreci ile bir donma çözünme çevrimi tamamlanmaktadır. Örneklerin çözünme esnasındaki su içindeki görünümü ve donma çözünme çevrim sonrası görünümü Şekil 2.57'de verilmiştir.



Şekil 2.57: Örneklerin donma kabini içinde çözünme esnasında (a) ve donma süreci sonrası görünümleri (b).

3. FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER

Bu çalışmada farklı fiziksel ve mekanik özelliklerdeki 46 farklı doğaltaş örneği incelenmiştir. Deneysel çalışmaların bütününde her kaya grubundan 10 adet örnek üzerinde donma çözünme çevrimleri öncesi fiziksel ve mekanik özellikler belirlenmiş ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Fiziksel özellikler TS EN 1936 (2010) ve TS EN 13755 (2014) standartları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Tüm gruplar için kuru ve doygun birim hacim ağırlık, görünür porozite ve ağırlıkça su emme değerleri belirlenmiştir. Proceq Pundit Lab+ ultrasonik test cihazı kullanılarak TS EN 14579 (2015) standardı doğrultusunda örnekler üzerinde P-dalgası geçiş zamanı ölçülerek, geçiş hızları (V_P) hesaplanmıştır. Fiziksel özelliklerden biri olan aşınma değerlerinin ölçülmesi geniş disk aşınma cihazı ile yapılmış olup tüm örneklerin aşınma değeri belirlenmiştir. Geniş disk aşınma deneyi (GD) pratik olması nedeniyle son yıllarda kullanımı artan, doğaltaşlar için önerilmiş bir deney yöntemidir. Her doğaltaş grubunun 10 örneği üzerinde GD deneyleri TS EN 14157 (2017) standardı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Örneklerin yüzey sertliği Leeb sertlik cihazı ile ölçülmüş olup, donma çözünme çevrimleri öncesi TS EN 1926 (2013) standardı doğrultusunda örneklerin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerleri belirlenmiştir.

Donma çözünme öncesi yapılan deneyler ile tüm örnek gruplarının kuru birim hacim ağırlık, doygun birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, görünür porozite, geniş disk aşınma değeri, P-dalgası geçiş hızı, Leeb sertlik değeri ve tek eksenli basınç dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve örneklere ait değerler Tablo 3.1'de toplu olarak verilmiştir. Farklı özeliklere sahip 46 farklı örnek grubu için kuru birim hacim ağırlık değerleri minimum 12.40 kN/m^3 (K5 örnek grubu) ile maksimum 30.29 kN/m^3 (GR örnek grubu) arasında değişmektedir. Çalışmada kullanılan örneklerin görünür gözeneklilik oranı minimum %0.13 (BR örnek grubu) ile maksimum %38.46 (K5 örnek grubu) arasında değişmektedir. Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınan örnek grupları için dayanım değerleri de geniş bir aralık sunmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımları (UCS) İzmir Alaçatı tüflerine ait olan 11.97 MPa (İA örnek grubu) ile diyabaz örneğinin dayanım değeri

olan 187.47 MPa (DY örnek grubu) arasında değişmektedir. Özellikle yaya ve araç trafiğine maruz alanlarda taban döşemesi olarak kullanılacak doğaltaşlar için önemli bir parametre olan geniş disk aşınma değerlerinin (GD), diyabaz (DY örnek grubu) için 12.84 mm ve K4 kodlu örnek grubu için 50.06 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Örnek gruplarının Leeb sertlik yöntemi ile belirlenen yüzey sertlikleri 298 (İA örnek grubu) ile daha sert yüzey sertliğine sahip olan diyabaz (DY örnek grubu) için belirlenen 871 değeri arasında değişmektedir. Doğaltaşların P-dalgası geçiş hızları (V_P) ise 2.225 km/s (K4 örnek grubu) ile 6.926 km/s (DY örnek grubu) arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3.1: Örneklerin DÇ öncesi fiziksel ve mekanik indeks değerleri.

		γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	n (%)	A_w (%)	GD (mm)	HL_D -	V_p (km/s)	UCS (MPa)
TK	Min.	26.52	26.55	0.22	0.08	17.75	700	6.471	61.51
	Max.	26.57	26.59	0.30	0.11	21.48	739	6.725	126.69
	Ort.	**26.55**	**26.57**	**0.25**	**0.09**	**19.64**	**724**	**6.571**	**83.80**
	SS	0.01	0.01	0.02	0.01	1.01	12	0.067	23.85
SB	Min.	27.68	27.75	0.41	0.14	17.80	719	5.583	100.38
	Max.	27.85	27.89	0.69	0.24	20.79	732	6.647	222.19
	Ort.	**27.78**	**27.83**	**0.54**	**0.19**	**19.10**	**726**	**6.122**	**147.89**
	SS	0.05	0.04	0.11	0.04	0.84	4	0.360	38.88
EB	Min.	26.50	26.53	0.20	0.07	18.23	673	6.432	64.81
	Max.	26.55	26.58	0.26	0.10	21.01	695	6.734	119.75
	Ort.	**26.52**	**26.54**	**0.23**	**0.09**	**20.08**	**682**	**6.540**	**87.48**
	SS	0.01	0.02	0.02	0.01	0.81	8	0.098	20.50
KC	Min.	26.38	26.43	0.32	0.12	17.99	699	6.550	83.31
	Max.	26.47	26.50	0.55	0.20	19.21	715	6.815	113.19
	Ort.	**26.43**	**26.47**	**0.41**	**0.15**	**18.79**	**708**	**6.700**	**99.02**
	SS	0.03	0.02	0.08	0.03	0.37	4	0.072	8.78
DT	Min.	23.49	23.87	2.66	1.09	20.78	592	5.602	51.86
	Max.	24.06	24.40	4.14	1.71	25.94	643	6.329	70.10
	Ort.	**23.83**	**24.15**	**3.32**	**1.37**	**23.07**	**618**	**5.886**	**58.51**
	SS	0.19	0.17	0.46	0.19	1.44	14	0.221	6.35
DT2	Min.	23.39	23.75	2.12	0.87	21.20	569	5.127	51.46
	Max.	23.95	24.36	6.19	2.60	23.57	636	6.255	69.51
	Ort.	**23.66**	**24.06**	**3.99**	**1.66**	**22.25**	**609**	**5.851**	**57.55**
	SS	0.18	0.15	1.42	0.60	0.69	23	0.300	6.49
DT3	Min.	23.01	23.56	3.24	1.34	21.38	579	5.743	46.14
	Max.	23.87	24.25	5.62	2.40	23.91	631	6.062	73.35
	Ort.	**23.65**	**24.04**	**3.97**	**1.65**	**22.48**	**605**	**5.932**	**60.24**
	SS	0.24	0.20	0.63	0.28	0.75	15	0.089	9.13
DT4	Min.	21.65	22.36	3.62	1.51	23.67	468	4.604	46.64
	Max.	23.66	24.22	7.16	3.24	26.82	599	5.403	66.35
	Ort.	**23.09**	**23.67**	**5.88**	**2.51**	**25.45**	**552**	**5.165**	**54.90**
	SS	0.67	0.60	1.07	0.51	0.90	35	0.274	6.03
KT	Min.	23.69	24.00	1.78	0.71	22.71	551	4.795	44.41
	Max.	24.58	24.78	3.14	1.30	27.00	604	5.659	66.40
	Ort.	**24.29**	**24.51**	**2.32**	**0.94**	**24.14**	**583**	**5.259**	**56.01**
	SS	0.28	0.24	0.40	0.17	1.41	16	0.263	7.27
AB	Min.	26.50	26.53	0.18	0.06	18.85	705	6.423	64.80
	Max.	26.54	26.56	0.26	0.10	20.18	721	6.628	107.15
	Ort.	**26.52**	**26.55**	**0.24**	**0.09**	**19.69**	**711**	**6.485**	**84.81**
	SS	0.01	0.01	0.03	0.01	0.40	5	0.079	15.11
ÇK	Min.	27.17	27.34	1.03	0.37	17.66	647	3.547	83.10
	Max.	27.65	27.75	1.78	0.64	20.45	723	4.662	114.84
	Ort.	**27.38**	**27.53**	**1.55**	**0.56**	**19.20**	**688**	**4.197**	**102.15**
	SS	0.13	0.11	0.22	0.08	0.91	26	0.349	11.12

Tablo 3.1 (devam): Örneklerin DÇ öncesi fiziksel ve mekanik indeks değerleri.

		γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	n (%)	A_w (%)	GD (mm)	HL_D -	V_p (km/s)	UCS (MPa)
OB	Min.	26.47	26.49	0.14	0.05	18.26	672	6.351	67.62
	Max.	26.57	26.60	0.41	0.15	20.82	706	6.732	114.82
	Ort.	**26.52**	**26.55**	**0.27**	**0.10**	**19.79**	**694**	**6.571**	**99.04**
	SS	0.03	0.04	0.10	0.04	0.76	10	0.107	13.01
MB	Min.	26.57	26.60	0.23	0.09	22.34	615	3.653	65.65
	Max.	26.63	26.65	0.41	0.15	25.67	646	5.297	82.73
	Ort.	**26.60**	**26.63**	**0.31**	**0.11**	**23.72**	**630**	**4.434**	**73.39**
	SS	0.02	0.01	0.06	0.02	1.08	9	0.507	5.42
MB2	Min.	26.53	26.56	0.26	0.10	21.24	557	3.959	57.17
	Max.	26.55	26.59	0.42	0.16	23.29	618	4.687	74.16
	Ort.	**26.54**	**26.57**	**0.31**	**0.12**	**22.25**	**591**	**4.271**	**63.16**
	SS	0.01	0.01	0.05	0.02	0.63	20	0.238	6.35
MB3	Min.	26.55	26.57	0.19	0.07	19.31	566	3.630	54.79
	Max.	26.61	26.63	0.33	0.12	23.46	626	3.874	76.21
	Ort.	**26.57**	**26.60**	**0.26**	**0.10**	**22.21**	**589**	**3.761**	**64.33**
	SS	0.02	0.02	0.03	0.01	1.16	18	0.087	7.21
BR	Min.	26.55	26.56	0.09	0.03	18.19	700	6.433	65.17
	Max.	26.64	26.65	0.20	0.08	19.11	720	6.706	119.31
	Ort.	**26.58**	**26.59**	**0.13**	**0.05**	**18.58**	**713**	**6.559**	**100.38**
	SS	0.03	0.03	0.03	0.01	0.32	7	0.083	17.71
AL	Min.	24.55	25.14	3.28	1.26	18.39	608	5.447	48.34
	Max.	25.53	25.85	5.98	2.39	21.89	662	6.041	73.18
	Ort.	**25.22**	**25.62**	**4.10**	**1.60**	**20.70**	**640**	**5.884**	**65.18**
	SS	0.27	0.20	0.74	0.31	1.09	16	0.169	7.61
AL2	Min.	22.19	23.35	10.85	4.65	25.73	473	4.010	46.21
	Max.	22.89	23.95	13.02	5.72	33.35	547	5.162	60.02
	Ort.	**22.49**	**23.68**	**12.12**	**5.29**	**30.61**	**510**	**4.537**	**53.02**
	SS	0.21	0.20	0.72	0.33	2.39	23	0.402	4.09
AL3	Min.	23.00	23.80	5.72	2.36	24.64	511	4.084	45.85
	Max.	23.74	24.31	8.20	3.50	29.07	577	5.088	68.62
	Ort.	**23.41**	**24.07**	**6.77**	**2.84**	**27.00**	**533**	**4.596**	**58.30**
	SS	0.26	0.18	0.84	0.38	1.36	24	0.308	7.51
RL	Min.	26.15	26.23	0.55	0.20	-	673	5.643	71.25
	Max.	26.39	26.44	0.93	0.35	-	730	6.015	89.71
	Ort.	**26.30**	**26.37**	**0.80**	**0.30**	-	**698**	**5.848**	**78.02**
	SS	0.06	0.06	0.10	0.04	-	14	0.107	6.84
PG	Min.	25.18	25.33	0.79	0.29	-	670	5.108	66.69
	Max.	26.56	26.64	1.70	0.66	-	736	5.816	82.12
	Ort.	**26.01**	**26.15**	**1.37**	**0.52**	-	**697**	**5.414**	**73.36**
	SS	0.45	0.43	0.30	0.11	-	20	0.222	3.81
EA	Min.	26.42	26.48	0.35	0.13	-	627	5.586	59.70
	Max.	26.65	26.69	0.66	0.24	-	655	6.131	81.79
	Ort.	**26.57**	**26.61**	**0.45**	**0.17**	-	**640**	**5.877**	**70.95**
	SS	0.06	0.05	0.11	0.04	-	9	0.179	7.88

Tablo 3.1 (devam): Örneklerin DÇ öncesi fiziksel ve mekanik indeks değerleri.

		γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	n (%)	A_w (%)	GD (mm)	HL_D -	V_p (km/s)	UCS (MPa)
SG	Min.	26.19	26.30	0.48	0.18	-	665	6.318	67.86
	Max.	27.03	27.14	1.24	0.46	-	714	6.811	87.03
	Ort.	**26.50**	**26.58**	**0.82**	**0.31**	**-**	**689**	**6.573**	**78.38**
	SS	0.22	0.22	0.30	0.11	-	16	0.207	7.63
KM	Min.	26.15	26.19	0.24	0.09	18.37	678	6.308	78.07
	Max.	26.52	26.55	0.80	0.30	21.24	699	6.580	130.90
	Ort.	**26.41**	**26.45**	**0.39**	**0.15**	**19.48**	**692**	**6.434**	**104.43**
	SS	0.12	0.11	0.17	0.06	0.93	6	0.088	19.59
UB	Min.	26.27	26.29	0.24	0.09	21.50	546	5.016	61.80
	Max.	26.61	26.63	0.37	0.14	23.66	622	5.348	85.18
	Ort.	**26.47**	**26.50**	**0.30**	**0.11**	**22.97**	**592**	**5.184**	**74.48**
	SS	0.12	0.12	0.03	0.01	0.58	21	0.115	7.36
KB	Min.	26.31	26.62	2.11	0.77	18.68	682	5.447	94.95
	Max.	26.99	27.22	3.15	1.18	20.09	770	5.900	157.11
	Ort.	**26.71**	**26.95**	**2.41**	**0.89**	**19.29**	**729**	**5.719**	**127.36**
	SS	0.21	0.19	0.30	0.11	0.38	26	0.148	20.32
K1	Min.	14.27	17.65	30.11	19.64	26.99	341	2.769	13.06
	Max.	15.12	18.16	34.49	23.71	38.60	426	2.970	16.76
	Ort.	**14.85**	**17.96**	**31.66**	**20.93**	**32.65**	**367**	**2.906**	**15.01**
	SS	0.23	0.13	1.19	1.12	3.87	27	0.058	1.16
K2	Min.	17.03	19.82	26.16	14.86	26.49	384	2.183	14.93
	Max.	17.46	20.09	28.51	16.43	31.00	463	2.394	20.24
	Ort.	**17.22**	**19.93**	**27.67**	**15.77**	**29.15**	**424**	**2.285**	**17.20**
	SS	0.13	0.09	0.66	0.47	1.56	24	0.058	1.66
K3	Min.	16.15	18.58	21.67	12.28	35.05	478	2.213	29.03
	Max.	17.32	19.45	24.81	15.07	43.54	558	2.428	40.00
	Ort.	**16.75**	**19.05**	**23.54**	**13.80**	**39.56**	**521**	**2.337**	**33.41**
	SS	0.34	0.26	1.02	0.84	2.74	25	0.063	3.37
K4	Min.	14.96	18.26	30.68	18.64	40.79	366	2.120	13.77
	Max.	16.15	19.16	33.96	22.12	53.39	451	2.422	20.84
	Ort.	**15.23**	**18.50**	**33.36**	**21.51**	**50.06**	**402**	**2.225**	**16.70**
	SS	0.32	0.23	0.92	0.98	3.48	22	0.082	2.19
K5	Min.	11.85	15.56	35.24	25.96	32.77	282	2.472	10.61
	Max.	13.32	16.78	39.72	31.79	61.51	364	2.738	17.24
	Ort.	**12.40**	**16.18**	**38.46**	**30.47**	**47.36**	**310**	**2.549**	**12.39**
	SS	0.37	0.30	1.23	1.62	8.41	21	0.082	1.81
KY	Min.	25.70	25.75	0.51	0.19	-	579	4.948	58.36
	Max.	26.32	26.37	0.63	0.24	-	626	5.225	70.77
	Ort.	**26.09**	**26.15**	**0.57**	**0.21**	**-**	**606**	**5.069**	**63.93**
	SS	0.24	0.24	0.04	0.02	-	15	0.095	4.28
BK	Min.	26.53	26.72	1.75	0.64	18.60	714	4.971	92.72
	Max.	26.89	27.09	2.28	0.84	20.01	728	5.946	115.30
	Ort.	**26.74**	**26.93**	**2.00**	**0.73**	**19.10**	**719**	**5.439**	**107.43**
	SS	0.12	0.11	0.17	0.06	0.48	5	0.378	7.73

Tablo 3.1 (devam): Örneklerin DÇ öncesi fiziksel ve mekanik indeks değerleri.

		γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	n (%)	A_w (%)	GD (mm)	HL_D -	V_p (km/s)	UCS (MPa)
MD	Min.	27.67	27.74	0.54	0.19	22.22	624	3.355	103.23
	Max.	27.78	27.83	0.69	0.24	24.08	658	4.204	147.41
	Ort.	**27.75**	**27.81**	**0.60**	**0.21**	**23.30**	**646**	**3.624**	**129.32**
	SS	0.03	0.03	0.04	0.01	0.61	9	0.222	13.93
KK	Min.	27.54	27.60	0.49	0.17	15.07	636	4.163	70.27
	Max.	28.23	28.30	1.19	0.42	19.02	703	5.103	199.38
	Ort.	**27.90**	**27.97**	**0.68**	**0.24**	**16.57**	**670**	**4.618**	**112.29**
	SS	0.24	0.24	0.20	0.07	1.11	18	0.303	36.82
BB	Min.	25.67	25.78	0.31	0.12	15.12	653	5.697	65.03
	Max.	26.50	26.53	1.24	0.47	21.18	729	6.524	92.46
	Ort.	**26.12**	**26.21**	**0.96**	**0.36**	**18.58**	**697**	**6.120**	**78.28**
	SS	0.22	0.20	0.27	0.10	1.63	23	0.213	8.88
BB2	Min.	26.44	26.47	0.13	0.05	17.44	695	6.572	71.70
	Max.	26.55	26.56	0.28	0.10	19.80	726	6.754	112.70
	Ort.	**26.51**	**26.53**	**0.21**	**0.08**	**18.49**	**712**	**6.649**	**90.01**
	SS	0.03	0.03	0.04	0.02	0.81	9	0.069	14.52
TS	Min.	26.75	26.80	0.20	0.07	17.87	712	5.900	80.53
	Max.	27.21	27.25	0.80	0.29	20.32	746	6.907	143.69
	Ort.	**26.93**	**26.98**	**0.44**	**0.16**	**19.19**	**728**	**6.549**	**97.61**
	SS	0.14	0.14	0.17	0.06	0.65	11	0.260	17.05
İA	Min.	10.20	13.65	19.51	12.12	31.01	241	2.054	8.90
	Max.	15.79	17.70	35.86	33.85	53.23	370	3.317	16.25
	Ort.	**12.66**	**15.52**	**29.06**	**23.60**	**40.77**	**298**	**2.645**	**11.97**
	SS	1.84	1.34	5.20	7.56	6.11	43	0.379	2.43
ÖR	Min.	19.99	22.04	14.48	6.61	26.36	393	3.698	12.32
	Max.	21.50	22.92	20.91	10.26	35.45	500	4.886	19.66
	Ort.	**20.57**	**22.38**	**18.47**	**8.84**	**32.78**	**437**	**4.066**	**15.90**
	SS	0.52	0.29	2.36	1.32	2.99	39	0.430	2.35
ON	Min.	25.31	25.40	0.23	0.08	18.20	650	4.163	74.14
	Max.	26.68	26.70	0.95	0.36	20.80	687	5.425	96.04
	Ort.	**26.30**	**26.35**	**0.51**	**0.19**	**19.51**	**664**	**4.629**	**86.11**
	SS	0.44	0.41	0.29	0.11	0.73	12	0.396	7.78
DY	Min.	29.40	29.47	0.11	0.04	12.42	855	6.730	166.47
	Max.	30.49	30.51	0.62	0.21	13.38	884	7.285	201.29
	Ort.	**29.94**	**29.96**	**0.23**	**0.08**	**12.84**	**871**	**6.926**	**187.47**
	SS	0.29	0.28	0.15	0.05	0.31	8	0.154	11.13
GR	Min.	30.03	30.05	0.14	0.05	14.06	832	6.149	135.62
	Max.	30.42	30.44	0.34	0.11	15.63	859	6.612	161.83
	Ort.	**30.29**	**30.31**	**0.21**	**0.07**	**14.68**	**844**	**6.517**	**147.57**
	SS	0.13	0.13	0.05	0.02	0.44	9	0.128	8.51
BG	Min.	26.28	26.36	0.76	0.28	-	819	4.879	92.70
	Max.	26.33	26.41	0.89	0.33	-	837	5.169	112.21
	Ort.	**26.31**	**26.39**	**0.83**	**0.31**	**-**	**829**	**5.016**	**101.48**
	SS	0.02	0.02	0.04	0.01	-	6	0.095	7.53

Tablo 3.1 (devam): Örneklerin DÇ öncesi fiziksel ve mekanik indeks değerleri.

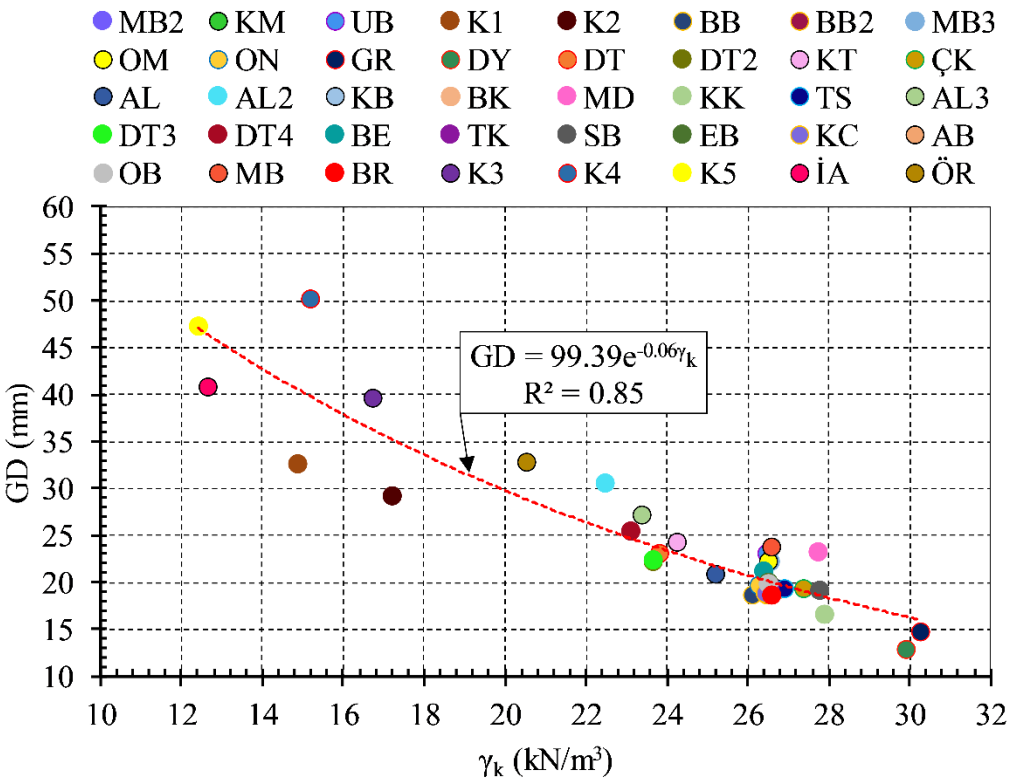
		γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	n (%)	A_w (%)	GD (mm)	HL_D -	V_p (km/s)	UCS (MPa)
OM	Min.	26.37	26.39	0.21	0.08	19.00	606	6.157	58.01
	Max.	26.58	26.61	0.35	0.13	24.24	637	6.582	76.78
	Ort.	**26.54**	**26.56**	**0.27**	**0.10**	**22.18**	**626**	**6.449**	**65.05**
	SS	0.06	0.06	0.03	0.01	1.77	9	0.116	5.87
BE	Min.	26.09	26.53	2.57	0.95	20.45	625	4.569	66.20
	Max.	26.66	26.94	5.09	1.91	22.03	668	5.208	91.32
	Ort.	**26.39**	**26.74**	**3.58**	**1.33**	**21.27**	**649**	**4.950**	**77.42**
	SS	0.19	0.13	0.72	0.28	0.44	13	0.178	7.14

Tüm örnek gruplarının donma çözünme deneyleri öncesinde belirlenen fiziksel ve mekanik özelliklerine ait veriler hem çalışma grubu örneklerinin temel özelliklerinin belirlenmesinde hem de bu fiziksel ve mekanik özelliklerin donma çözünme karşısındaki durumlarına nasıl etki yaptığının tahmin edilebilmesi için referans olmuştur. Donma çözünme öncesi örneklere ait fiziksel ve mekanik indeks değerleri karşılaştırılıp anlamlı ilişkiler belirlenmiş ve grafiksel olarak verilmiştir.

3.1 Geniş Disk Aşınma (GD) Değerlerinin Değerlendirilmesi

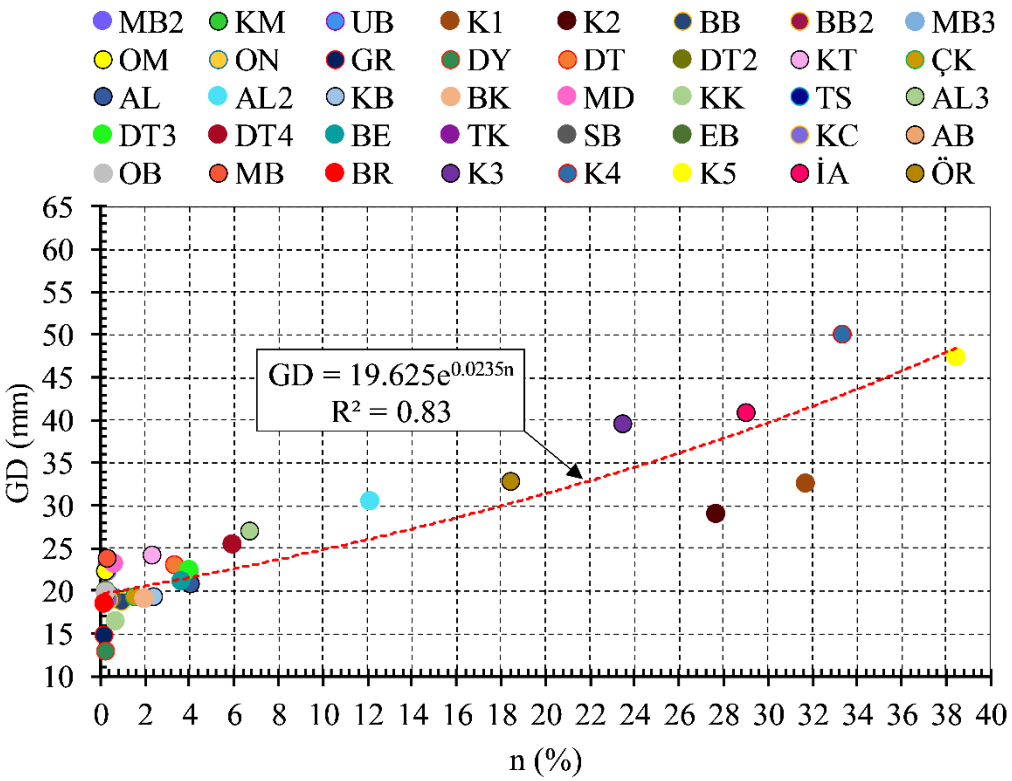
Geniş disk aşınma verileri değerlendirildiğinde sertlik, dayanım, görünür porozite, kuru birim hacim ağırlık değerlerinin aşınma üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek görünür poroziteye sahip örneklerin ve düşük kuru birim hacim ağırlık, sertlik ve dayanıma sahip örneklerin fazla aşındığı belirlenmiştir. Ayrıca P-dalgası geçiş hızları yüksek olan örneklerin aşınmadan az etkilendiği belirlenmiştir (Şekil 3.1-3.4).

GD değerleri, yüksek γ_k değerine sahip örnek gruplarında düşük olmaktadır. GD ile γ_k değerleri arasında üstel olarak tanımlanmış kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle γ_k değerinin 20 kN/m^3 üzerinde olan örnek gruplarında GD ile γ_k değerleri arasındaki ilişki daha kuvvetlidir (Şekil 3.1). Bu durum kayaçların γ_k değeri kullanılarak GD değerlerinin tahmin edilmesinde özellikle bu değerin üzerinde (γ_k>20 kN/m^3) olan kayaçlarda uygulanmasının daha doğru tahmin değerleri vereceğini göstermektedir.

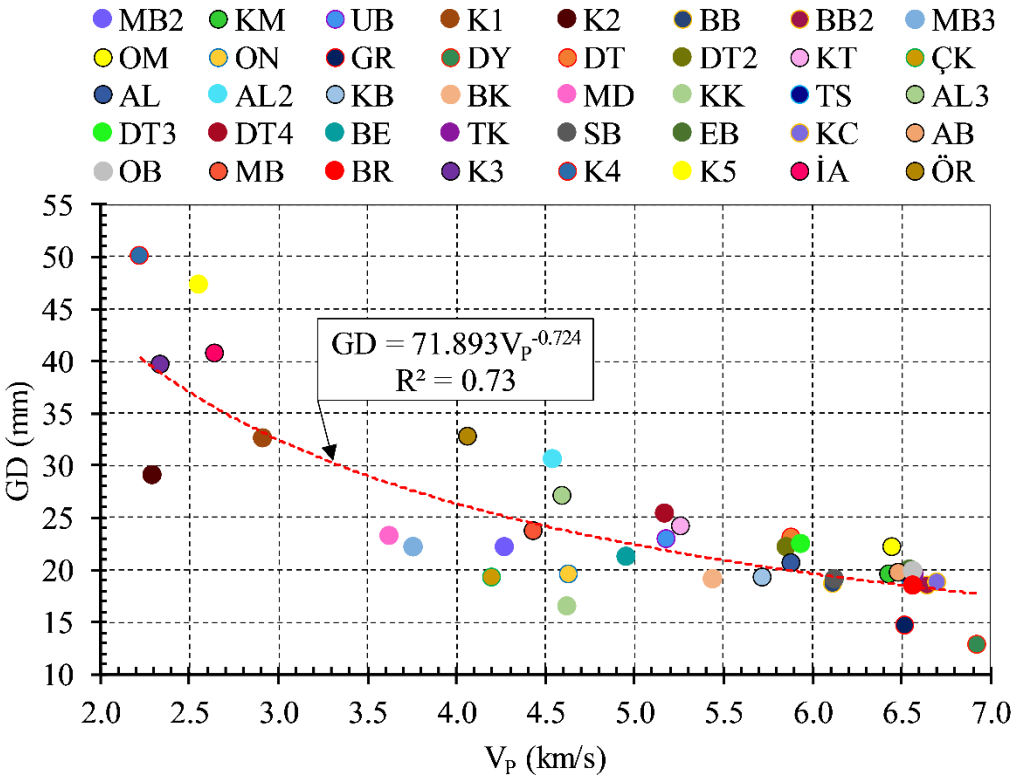


Şekil 3.1: GD ile γ_k verilerinin karşılaştırılması.

Kayaçların aşınmasında, görünür porozite (n) etkili olmaktadır ve yüksek n değerine sahip olan örnek gruplarında GD değerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. n değeri ortalama %10'dan fazla olan örnek grupları için GD değerleri 30 mm ve üzerindedir (Şekil 3.2). n değerinin örneklerin P-Dalgası geçiş hızlarında da etkili olmasından dolayı, yüksek n değerine sahip olan örneklerin P-Dalgası geçiş hızları düşüktür. Düşük P-Dalgası geçiş hızına sahip olan örnek gruplarında GD değerinin daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.3). Yüksek n içeren tüf, ignimbirit ve kiltaşı gibi örnek gruplarının yüksek GD ve düşük V_P değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Düşük n ve yüksek V_P değerine sahip olan gabro, diyabaz gibi örnek gruplarında ise GD değerinin çok az olduğu (GD<15 mm) tespit edilmiştir.



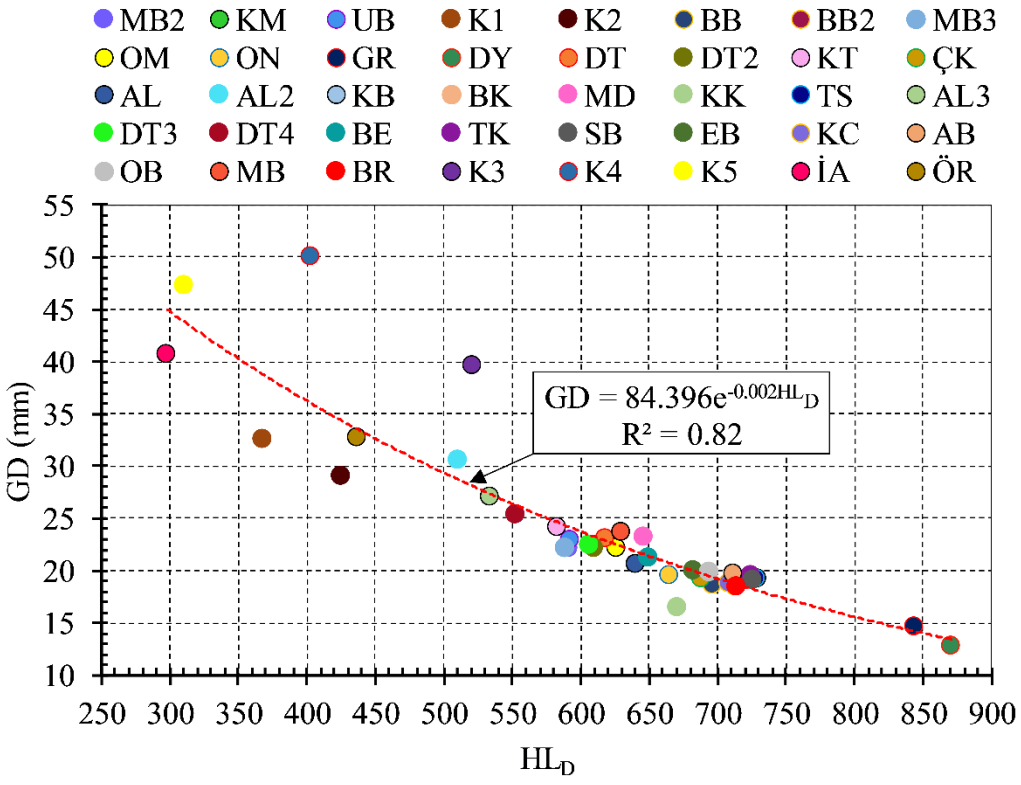
Şekil 3.2: GD ile n verilerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.3: GD ile V_P verilerinin karşılaştırılması.

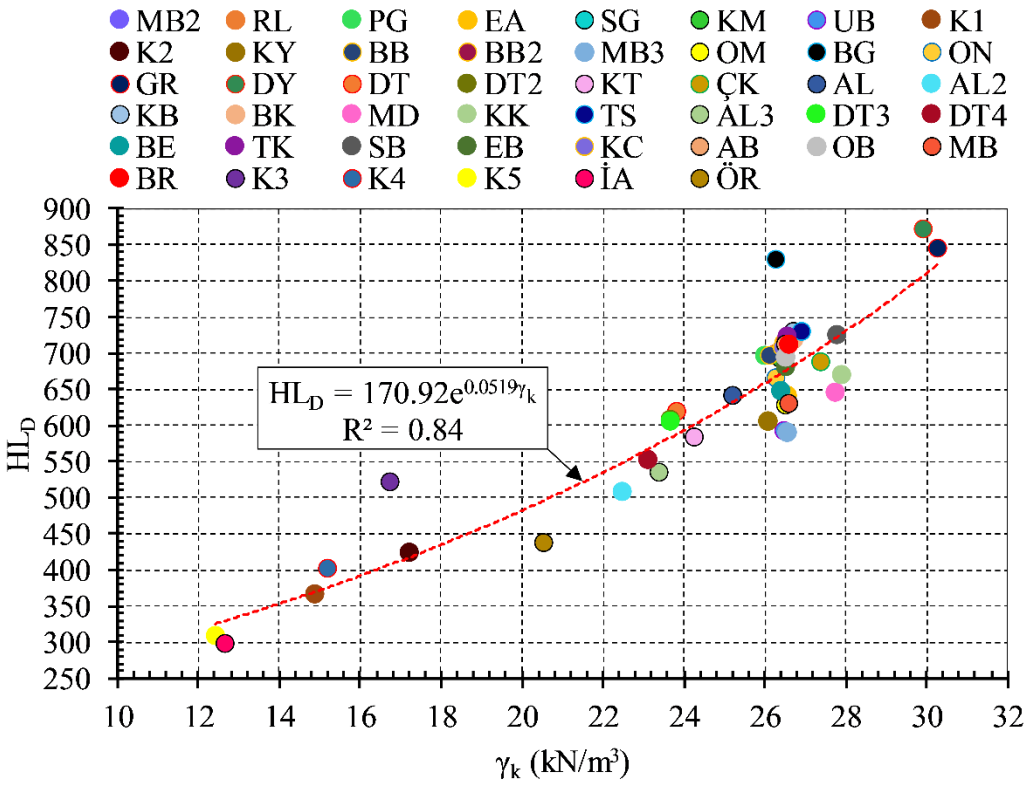
3.2 Yüzey Sertliği (HL_D) Değerlendirmeleri

Kayaçların aşınmasında n gibi etkili olan bir diğer parametre de kayaçların sahip olduğu yüzey sertliğidir. Örneklerin yüzey sertliği Leeb sertlik yöntemiyle belirlenmiştir. Örneklerin belirlenen Leeb sertlik değerleri (HL_D) ile GD değerleri korele edildiğinde, yüksek HL_D değerine sahip olan örnek gruplarının (DY ve GR) daha az aşındığı belirlenmiştir (Şekil 3.4). Örnek gruplarının GD ile HL_D değerleri arasında kuvvetli bir ilişki gözlenmiştir ve örneklerin HL_D değeri kullanılarak GD değerlerinin tahmini üzerine eşitlik elde edilmiştir. Elde edilen eşitlikte belirleme katsayısı ($R^2 = 0.82$) yüksektir. Özellikle 550 ve üzerinde HL_D değerine sahip olan örnek gruplarında HL_D ile GD arasındaki ilişkinin daha kuvvetli olabileceği söylenebilir.

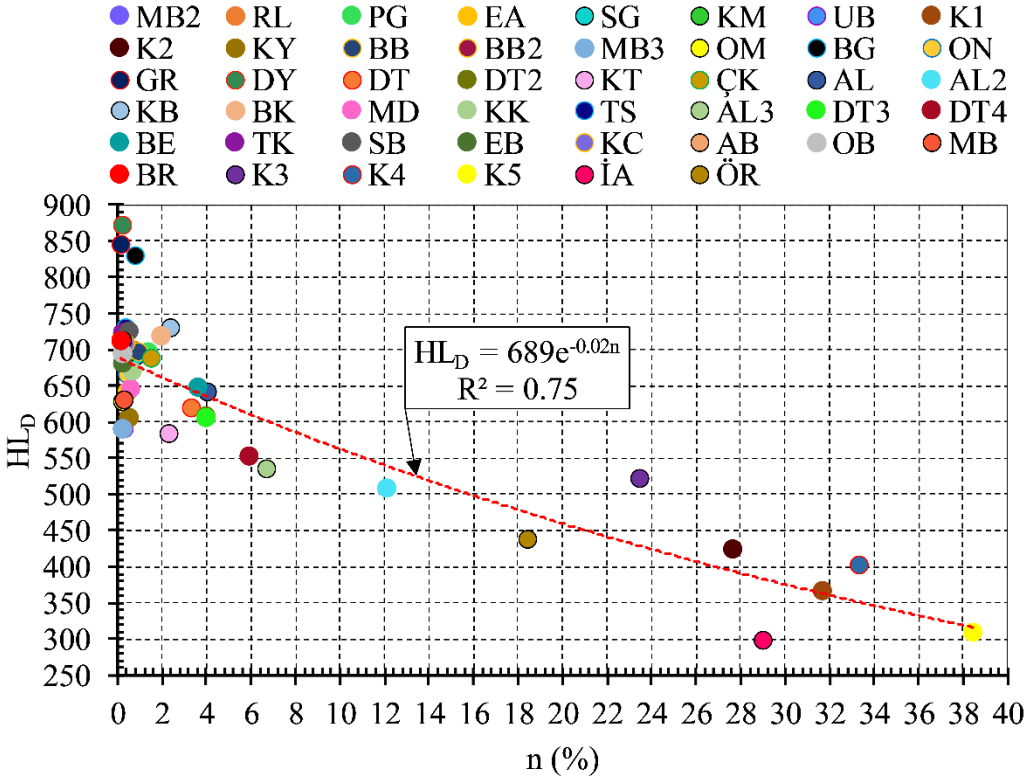


Şekil 3.4: GD ile HL_D verilerinin karşılaştırılması.

n değeri düşük ve (γ_k) değeri yüksek olan örnek gruplarında HL_D değerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek n ve düşük (γ_k) değerine sahip örneklerde ise HL_D değerinin düşük olduğu belirlenmiş ve grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 3.5 ve 3.6).



Şekil 3.5: HL_D ile γ_k verilerinin karşılaştırılması.

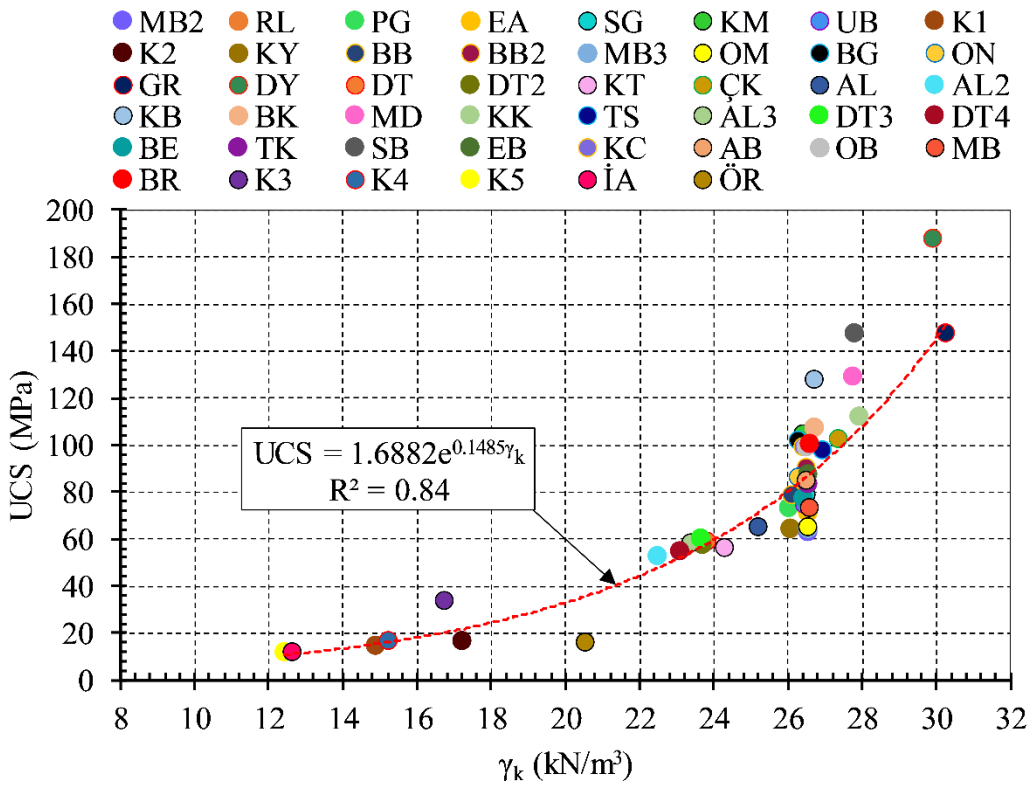


Şekil 3.6: HL_D ile n verilerinin karşılaştırılması.

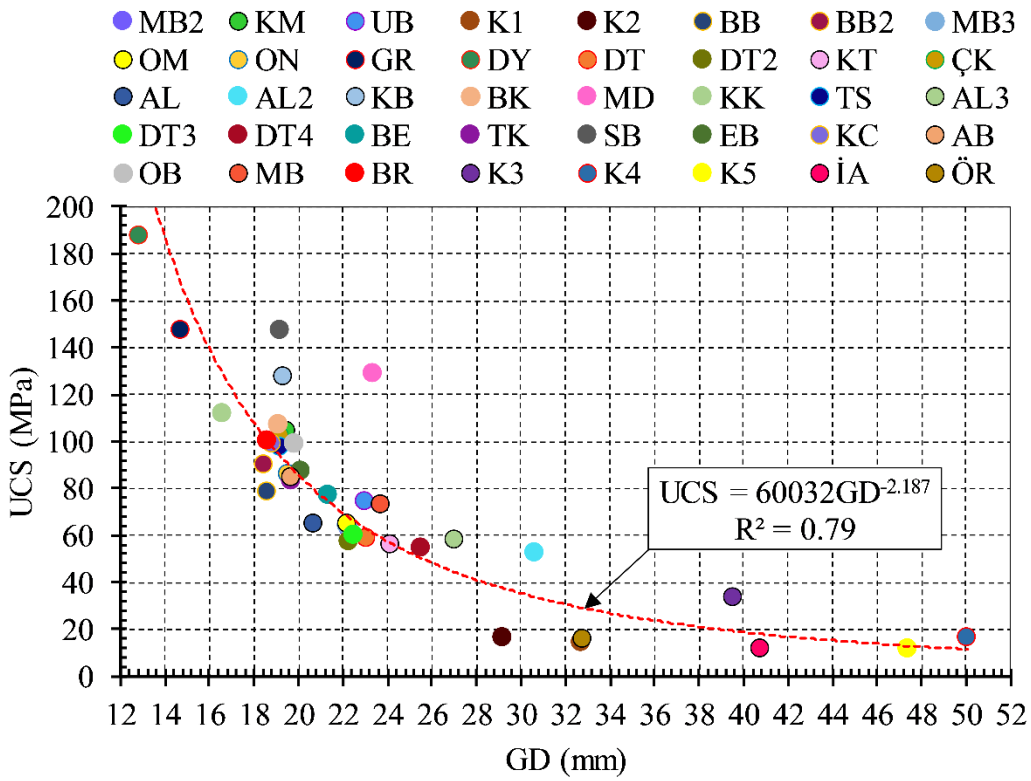
3.3 Tek eksenli Basınç Dayanımı (UCS) Değerlendirmeleri

UCS değeri yüksek olan örnek gruplarının γ_k ve HL_D değerlerinin yüksek olduğu ve bazı örnek gruplarında GD değerinin ise düşük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırılıp, yüksek determinasyon katsayılarına sahip denklemler elde edilmiştir (Şekil 3.7-3.9).

GD değeri çok yüksek olan örnek gruplarının (K1, K2, K3, K4, K5, İA, ÖR) γ_k ve UCS değerleri düşüktür. Diyabaz ve gabro gibi örnek gruplarında ise bu durum tam tersidir. Kayaçların UCS tahmininde GD'nin özellikle de pratik, ekonomik ve kolay olması ile kuru birim hacim ağırlığın önemli bir parametre olduğu söylenebilir.

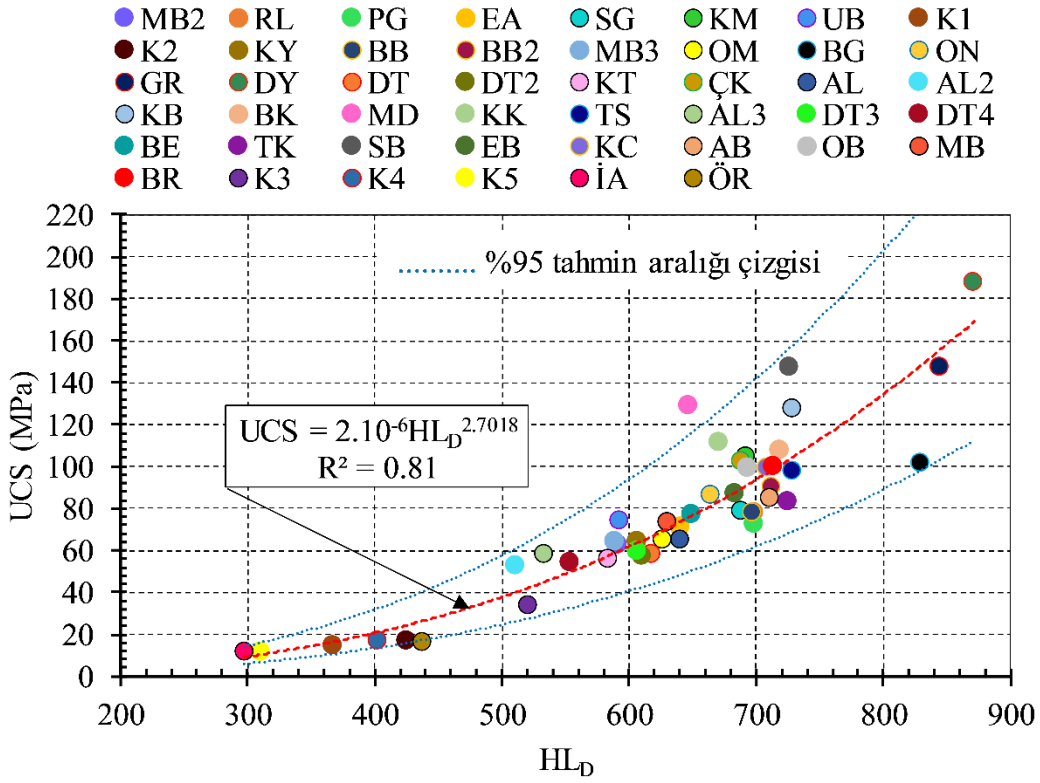


Şekil 3.7: UCS ile γ_k verilerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.8: UCS ile GD verilerinin karşılaştırılması.

Doğaltaşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmini için yapılan çalışmalarda, pratik ve ekonomik testlerin yanı sıra tahribatsız test yöntemlerinin de kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu doğrultuda, kayaçların HL_D değeri kullanılarak UCS tahmini amacıyla üstel bir fonksiyonla tanımlanmış bir ilişki bu tez çalışması kapsamında literatüre kazandırılmıştır (Şekil 3.9). HL_D değeri yüksek olan örnek gruplarının UCS değerleri yüksek çıkmıştır. Düşük HL_D değerine sahip örnekler ise zayıf dayanımlıdır. UCS ve HL_D arasındaki ilişkide, dolomit içeren bazı örnek grupları (MD kodlu örnek grubu) tahmin aralığı çizgisinin dışında kalmıştır. Nispeten düşük HL_D değerine rağmen gronablastik mozaik dokuya sahip olan ve tane büyüklükleri hemen hemen birbirine yakın olan bu örnek grubunda MD (dolomitik mermer) dayanım yüksek çıkmıştır. UCS ve HL_D parametrelerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen üstel bir fonksiyonla tanımlanan ilişkiyi zayıflatan diğer bir örnek grubu granittir. BG (granit) örnek grubu içerdiği kuvars mineralleri ile 800'ün üzerinde HL_D değerine sahip olmasına ragmen, ayrışma etkisiyle düşük dayanım göstermektedir. Yani 800 ve üzerinde HL_D değerine sahip olan gabro ve diyabaz gibi örnek gruplarının dayanımlarına göre düşük dayanım sergilemiştir.

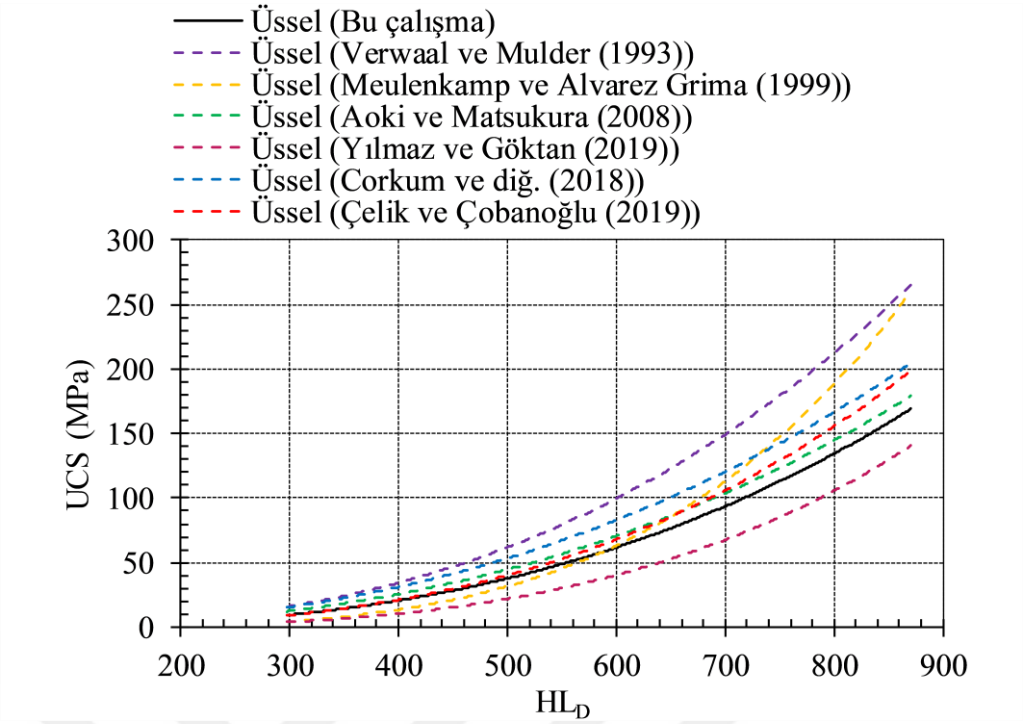


Şekil 3.9: UCS ile HL_D verilerinin karşılaştırılması.

Literatürde kayaçların HL_D değeri kullanılarak kayacın UCS değerinin tahmini üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Farklı kaya türleri için ölçülen HL_D değerlerinden UCS değerlerinin tahmini için yapılan bu çalışmalarda önerilen denklemler Tablo 3.2'de ve UCS-HL_D değerlerinin karşılaştırılması grafiksel olarak Şekil 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.2: Değişik kayaç türleri için literatürdeki UCS ile HL_D arasındaki eşitlikler.

Eşitlikler	**Kayaç türleri**	**R^2**	**Kaynaklar**
$UCS = 5x10^{-6}HL_D^{2.6275}$	Kırıntılı kireçtaşı, kumtaşı ve yapay malzemeler	0.82	Verwaal ve Mulder (1993)
$UCS = 1.75x10^{-9}HL_D^{3.8}$	Kumtaşı, kireçtaşı, dolomit, granit ve granodiyorit	0.81	Meulenkamp ve Alvarez Grima (1999)
$UCS = 8x10^{-6}HL_D^{2.5}$	Tüf, kumtaşı, granit, gabro, kireçtaşı ve andezit	0.77	Aoki ve Matsukura (2008)
$UCS = 2x10^{-8}HL_D^{3.3492}$	Bazalt, kireçtaşı, andezit, tüf, mermer ve traverten	0.87	Yılmaz ve Göktan (2019)
$UCS = 15.7x10^{-6}HL_D^{2.42}$	Kumtaşı, granit ve şist	0.70	Corkum ve diğ. (2018)
$UCS = 7x10^{-7}HL_D^{2.8751}$	Traverten, Kireçtaşı, Dolomit, Mermer, şist, granit, siyenit, andezit, gabro, dünit, tüf ve ignimbirit	0.80	Çelik ve Çobanoğlu (2019)



Şekil 3.10: Literatürde UCS-HL_D değerleri arasında yapılan karşılaştırmalar.

Donma çözünme çevrimleri öncesi belirlenen deneysel sonuçlar, 46 farklı kayaç grubuna aittir. Elde edilen dağılımlarda, tüm deneyler için her örnek grubuna ait 10 değerin ortalaması kullanılmıştır. Önerilen eşitlikler pratikte yaygın olarak kullanılabilir. Eşitliklere ait determinasyon katsayıları (R^2) 0.73 ile 0.85 arasında değişmektedir (Tablo 3.3). Kayaç gruplarının fiziksel ve mekanik özelliklerine ait veriler ile yapılan korelasyonların (yüksek korelasyon katsayıları) kuvvetli (yüksek) ile çok kuvvetli ilişki arasında olduğu ortaya konmuştur (Alpar 2011).

Tablo 3.3: Örneklerin DÇ öncesi fiziksel ve mekanik değerleri arasında tanımlanmış eşitlikler.

Eşitlikler	R^2	Kayaç türleri
$UCS = 1.6882e^{0.1485\gamma k}$	0.84	46 farklı kayaç grubu (Kireçtaşı, mermer, dolomit, tüf, ignimbirit, hornfels, granit, bazalt, gabro, diyabaz, kiltaşı, traverten)
$UCS = 60032GD^{-2.187}$	0.79	
$UCS = 2.10^{-6}HL_D^{2.7018}$	0.81	
$HL_D = 170.92e^{0.0519\gamma k}$	0.84	
$HL_D = 689e^{-0.02n}$	0.75	
$GD = 99.39e^{-0.06\gamma k}$	0.85	
$GD = 19.625e^{0.0235n}$	0.83	
$GD = 71.893V_P^{-0.724}$	0.73	
$GD = 84.396e^{-0.002HL_D}$	0.82	

4. DONMA ÇÖZÜNME ÇEVRİMLERİ SONRASI DEĞERLENDİRMELER

Tüm örnek gruplarında (46 farklı örnek grubu) çevrim sayısı 4, 7, 10, 14, 20, 28, 35, 56, 70, 84 olarak donma çözünme testleri uygulanmış ve donma çözünme sonrası meydana gelen değişimlerin ortaya konulması amacıyla her çevrim sonrası tüm fiziksel ve mekanik parametrelerin değişimi beş örnek üzerinde belirlenmiştir. Bu değerlerin ortalamaları alınmış ve sonraki bölümlerde değerlendirilmiştir. Belirlenen fiziksel ve mekanik parametrelerin artan çevrim sayılarına bağlı olarak değişimi değerlendirilmiş ve grafiksel olarak ortaya konmuştur. Her çevrim sonrası örneklerde gözlenen makro değişimler izlenmiş ve ayrıca örneklerin çevrim öncesi ve çevrim sonrası değerleri literatürde yaygın bir şekilde kullanılan sınıflamalara göre değerlendirilmiştir.

4.1 Örnek Gruplarındaki Değişimlerin İzlenmesi

Yapılan donma çözünme çevrimleri sonrasında örnek gruplarında makro düzeyde gözlenen değişiklikler izlenmiştir. TS EN 12371 (2011) standartları gereğince Tablo 4.1'de verilen donma çözünme çevrimleri sonrası örnek gruplarında gözlenen durumlar ve puan karşılığı dikkate alınarak 46 örnek grubu için yapılan tüm donma çözünme çevrimleri sonrası değişimler not edilerek puanlanmıştır (Tablo 4.2).

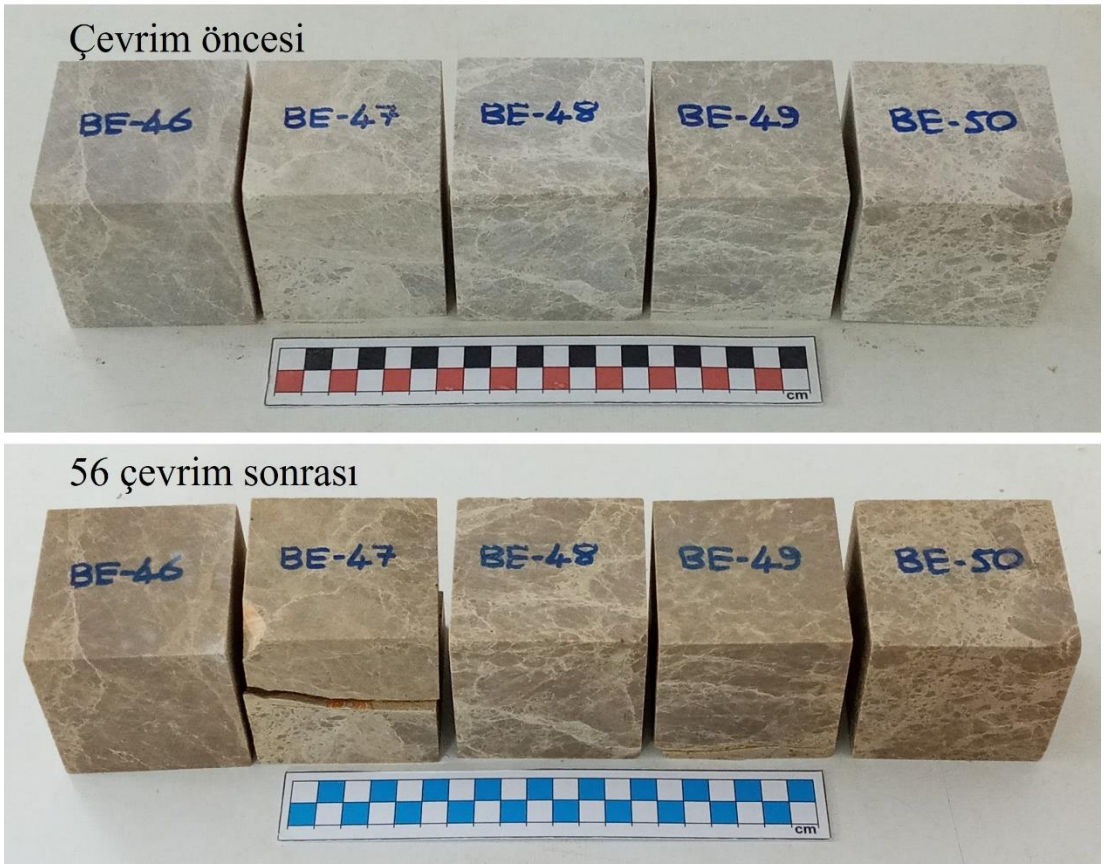
Tablo 4.1: DÇ sonrası örneklerde gözlenen durumlar ve puanlama sistemi (TS EN 12371 2011).

Skor	Örnek gruplarında gözlenen durum.
0	Örnek bütünlüğünü korumuş durumda (bozunmamış).
1	Örneğin bütünlüğünü bozmayan çok az hasarların gözlenmesi (köşeleri ve kenarlarının çok az yuvarlaklaşması şeklinde).
2	Genişliği 0.1 mm'den az olan bir ya da birkaç çatlağın gözlenmesi veya 30 mm^2'den küçük parçaların kopması.
3	Skor 2'deki çatlak genişliği ve parça büyüklüğünün daha fazlası gözlenmesi, önemli ölçüde ufalanma ve ayrışma gözlenmesi.
4	Örnekte büyük çatlak oluşumu gözlenmesi veya örneğin iki ya da daha fazla parçaya ayrılması.

Tablo 4.2: DÇ sonrası örnek gruplarında gözlenen durumlara göre puanlama (TS EN 12371 2011).

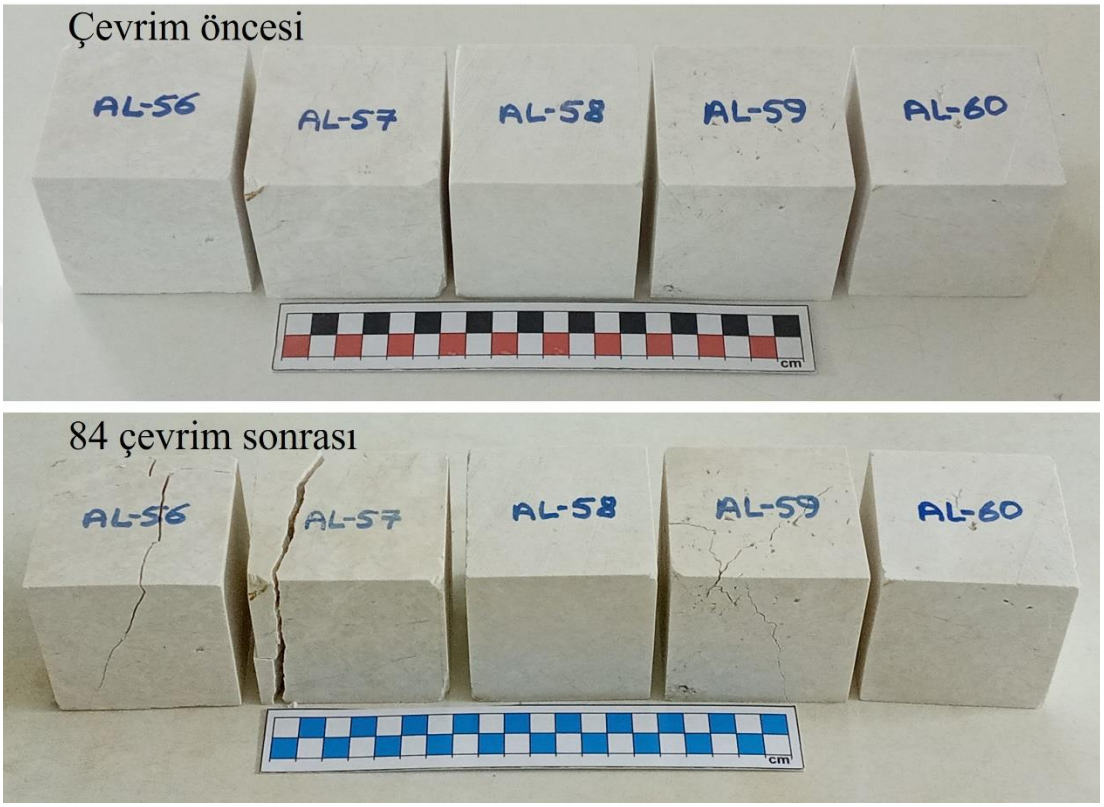
Kod	Kayaç türü	Donma çözünme çevrim sayısı										
		0	4	7	10	14	20	28	35	56	70	84
TK	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SB	Dolomitik kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EB	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KC	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AB	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OB	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	Mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DT	Traverten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DT2	Traverten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
DT3	Traverten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
DT4	Traverten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KT	Traverten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AL	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4
AL2	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AL3	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KK	Hornfels	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MD	Dolomitik mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BE	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4
ÇK	Dolomitik mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KB	Bazalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TS	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BK	Dolomitik mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB2	Mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB3	Mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UB	Mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OM	Mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BB	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BB2	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ON	Bantlı traverten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GR	Gabro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DY	Diyabaz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K1	İgnimbirit	0	0	0	4	-	-	-	-	-	-	-
K2	İgnimbirit	0	0	0	0	0	0	2	4	-	-	-
KM	Kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RL	Ofikalsit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PG	Ofikalsit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BG	Granit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SG	Dolomitik kireçtaşı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EA	Mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KY	Dolomitik mermer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K3	İgnimbirit	0	0	0	0	4	-	-	-	-	-	-
K4	Tüf	0	0	0	4	-	-	-	-	-	-	-
K5	İgnimbirit	0	0	0	0	0	4	-	-	-	-	-
İA	Tüf	0	0	1	2	4	-	-	-	-	-	-
ÖR	Kiltaşı	0	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-

Çalışılan tüm örnek grupları (46 farklı örnek grubu) donma çözünme çevrimleri sonrası genel olarak değerlendirildiğinde örnek gruplarının DÇ çevrimlerine dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Çoğunluğu DÇ çevrimleri öncesinde %1'in altında n değerine sahip olan örnek gruplarından karbonat kayalarının donma çözünme sürecinden çok etkilenmediği belirlenmiştir. Örnekler bütünlüğünü korumuş ve dikkate değer bir ağırlık kaybı olmadığı görülmüştür. Bu durum, donma çözünmede görünür porozitenin çok etkili olduğunu göstermektedir. Yine de düşük n değerine sahip bazı kireçtaşı örneklerinde (AL ve BE örnek grubu) 56 DÇ çevriminden sonra özellikle dolgulu çatlaklar boyunca parçalanma olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.1 ve 4.2). Breşik bir yapıya sahip olan BE örnek grubunda damar yapıları bulunmaktadır ve demir oksit içermektedir. Donma çözünme (56 çevrim) sonrası demir oksitten kaynaklı kırmızı renkte damarlar boyunca kırılmalar gözlenmiştir (Şekil 4.1). Bu örnek grubunda DÇ sonrası dikkate değer bir ağırlık kaybı olmamıştır.



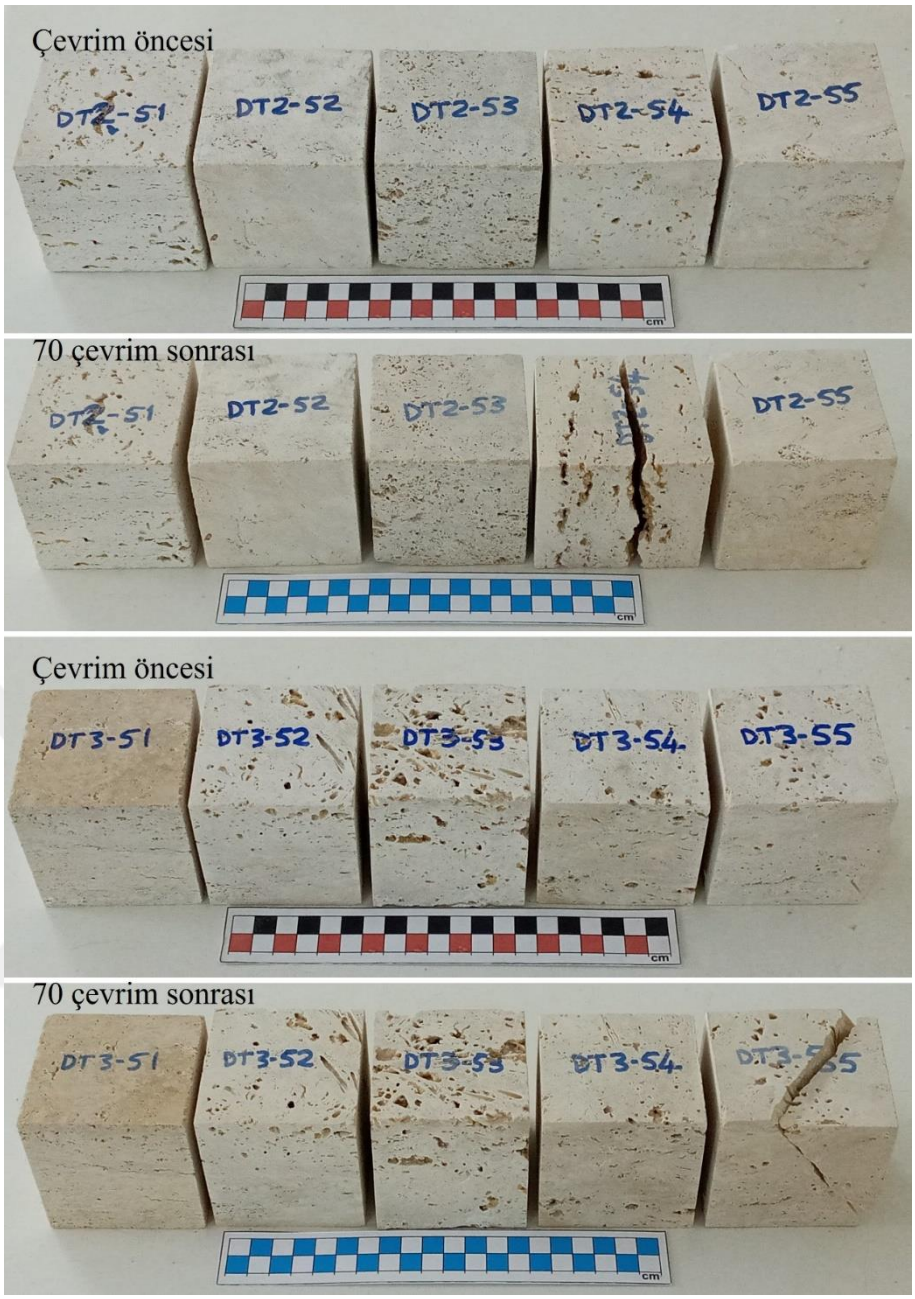
Şekil 4.1: BE örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü.

DÇ sonrası fazla ağırlık kaybı göstermeyen diğer bir örnek grubu AL'dir. Sert ve kırılgan bir yapı gösteren AL örnek grubu mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmış ve bu grup yer yer kalsit dolgulu damarlar tarafından kesilmiştir. Örneklerde DÇ çevrimleri sonrası (84 çevrim) gelişen kırılmalar, kalınlıkları kılcaldan mm ölçeğine kadar değişiklik gösteren kalsit dolgulu damarlar boyunca gözlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: AL örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü.

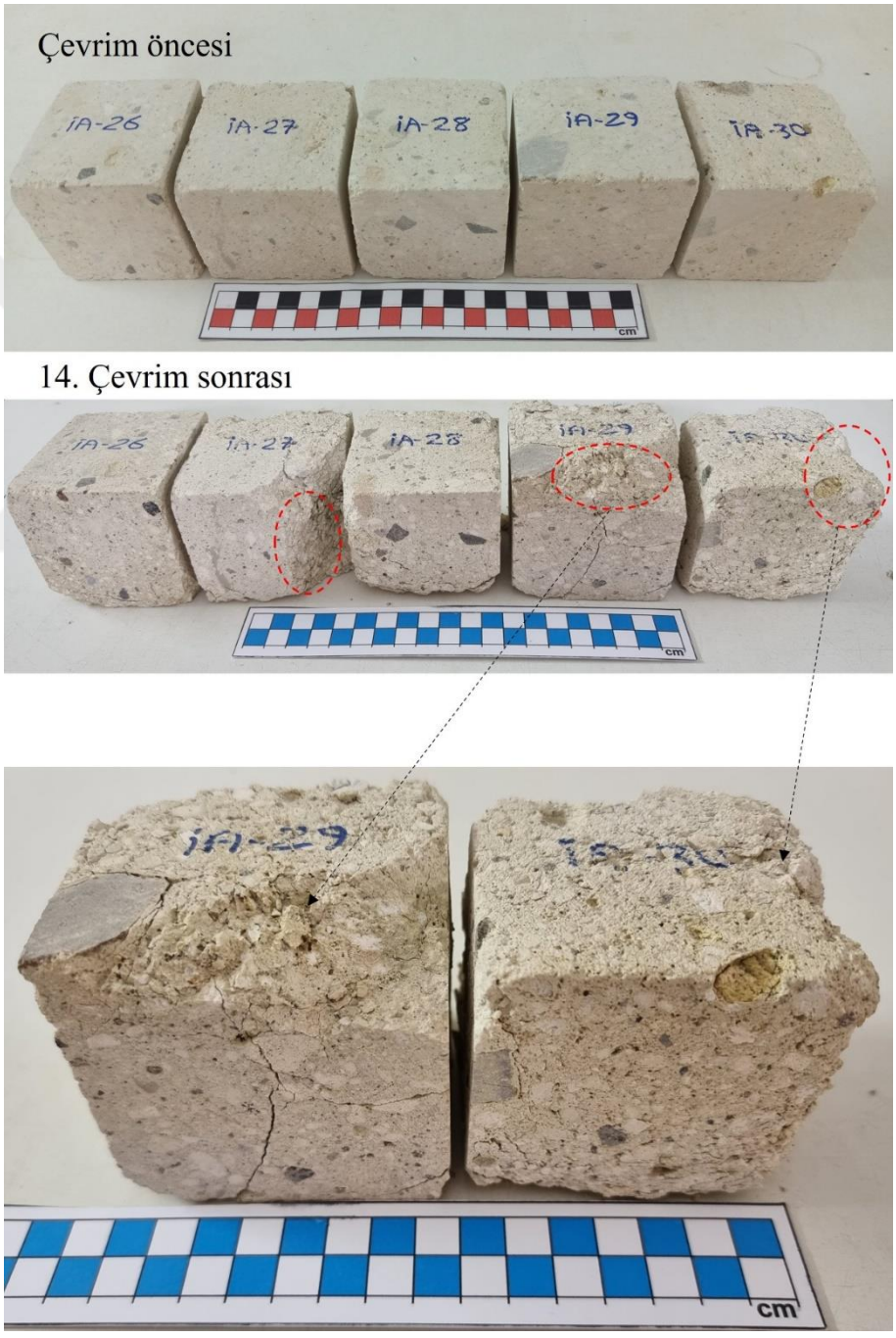
Yüksek n değerine sahip traverten örnek gruplarının (DT2 ve DT3) 70 DÇ sonrası belirgin yüzeyler boyunca parçalandığı gözlenmiştir (Şekil 4.3). Yüksek n değerine sahip olan bu travertenler, fazla miktarda su emmelerinin sonucu donma çözünmeden büyük oranda etkilenmiş ve 70 DÇ sonrası bazı örneklerinde parçalanmalar gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3: DT2 ve DT3 örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü.

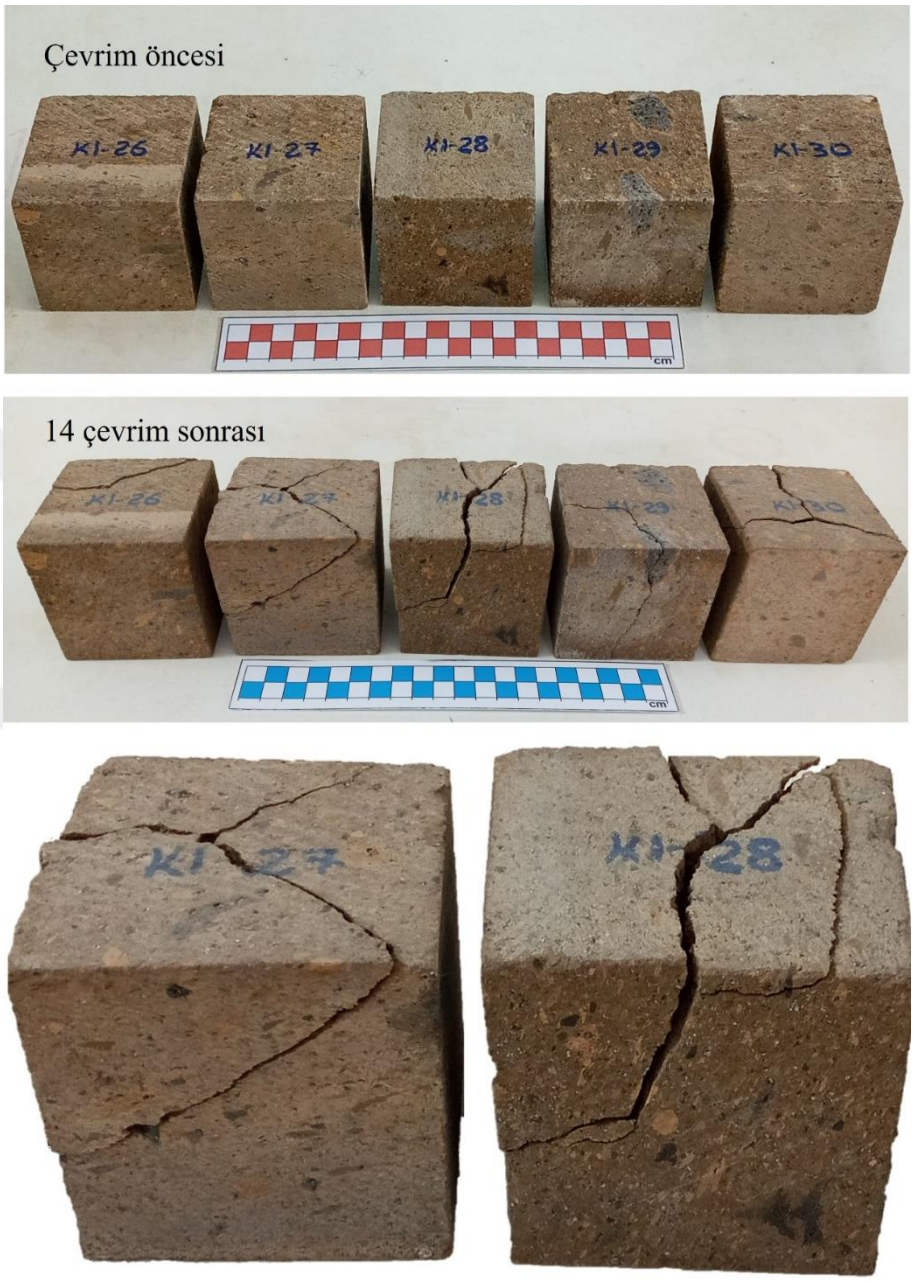
Donma çözünmenin en fazla etkilediği tüf, ignimbirit ve kiltaşı gibi örnek gruplarının ise en fazla 35 DÇ çevrimine dayanabildiği gözlenmiştir. Çevrim öncesi dayanım değeri olarak zayıf ve yüksek n değerine sahip olan bu örnek grupları artan DÇ çevrim sayılarıyla hızla bozunmaya başlamış ve örneklerde parçalanmalar gözlenmiştir (Şekil 4.4-4.8).

İA (tüf) örnek grubu, donma çözünmeden en fazla etkilenen örnek grupları arasındadır ve 14 DÇ çevrimi sonrası tamamen bütünlüğünü kaybetmiştir (Şekil 4.4). Düşük dayanıma ve yüksek poroziteye sahip olan bu örnek grubunda belirli bir çizgisellik ya da damar boyunca parçalanmadan ziyade belirgin bir ağırlık kaybı gözlenmiştir. 14 DÇ sonunda %4.31 oranında bir ağırlık kaybı belirlenmiştir. Özellikle ağırlık kayıpları içerdiği kayaç parçaları çevresinde gelişen parçalanmaların sonucudur.

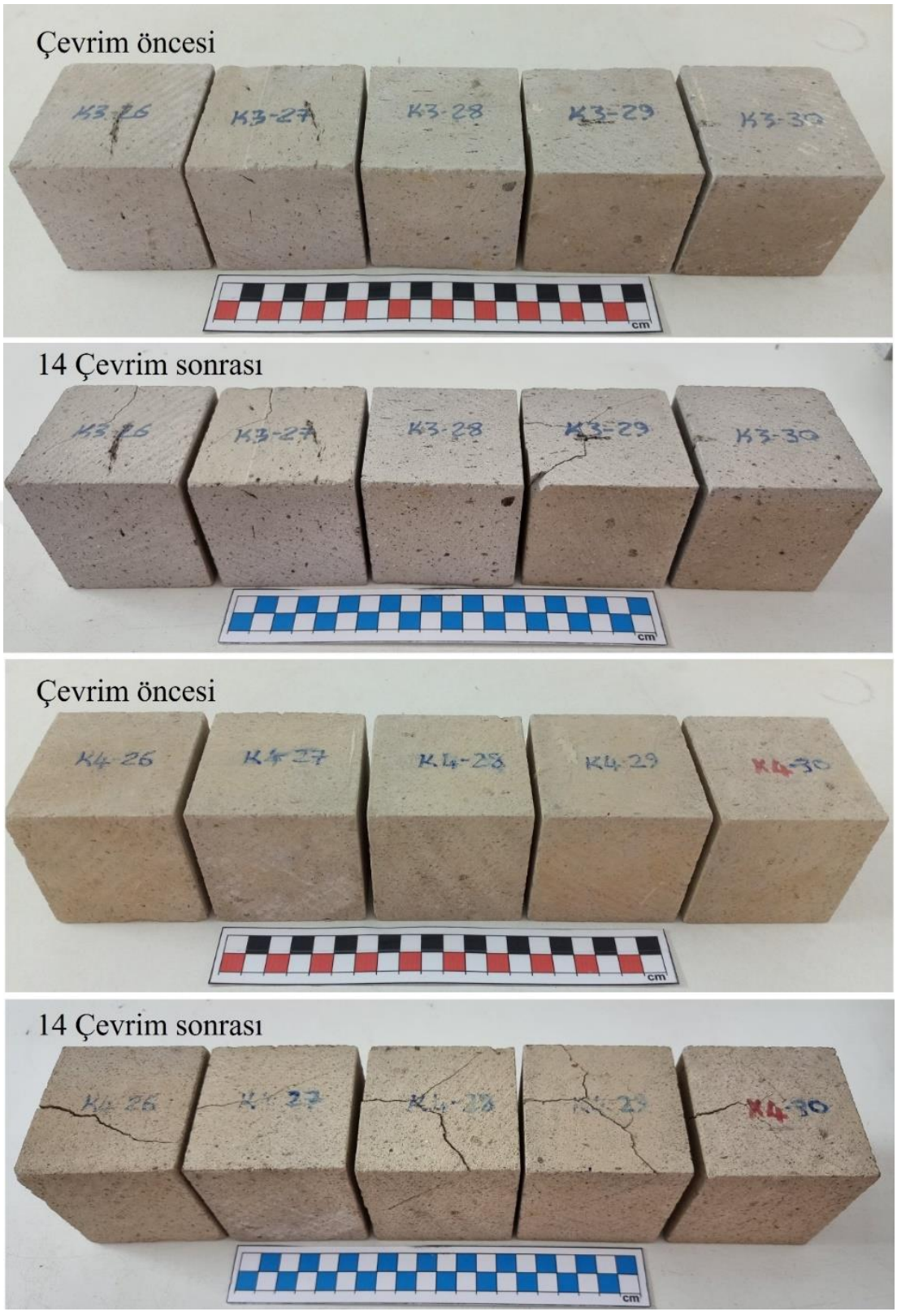


Şekil 4.4: İA örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü.

K1 (ignimbirit), K3 (ignimbirit) ve K4 (tüf) örnek gruplarında 14 DÇ sonrasında tamamen bozunma gerçekleşmiştir. Bozunma ağırlık kaybından ziyade parçalanma şeklinde olmuştur. Örnek gruplarında gelişen kırık ve çatlaklar belli bir düzlem boyunca değil verev şeklindedir (Şekil 4.5 ve 4.6).

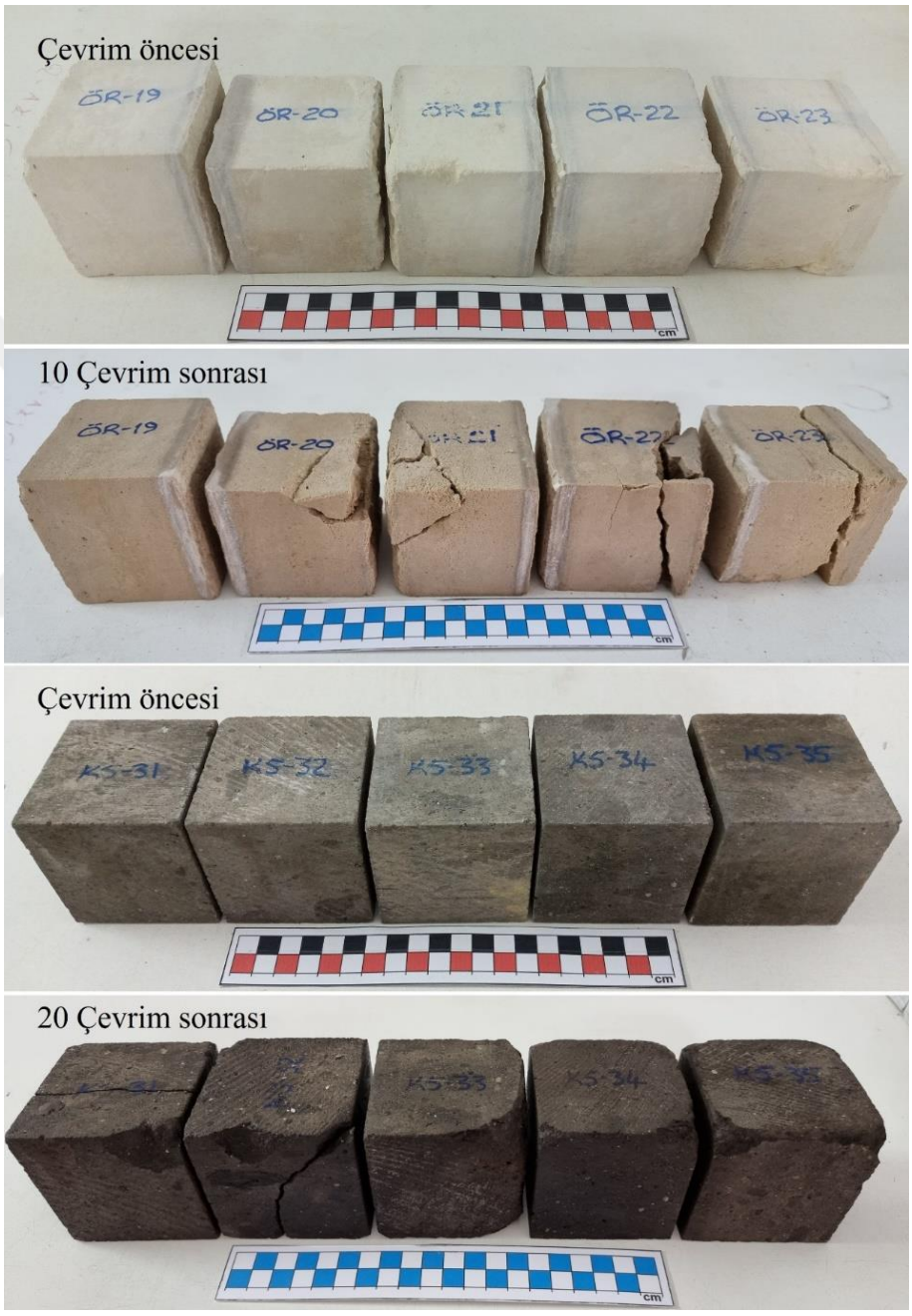


Şekil 4.5: K1 örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü.



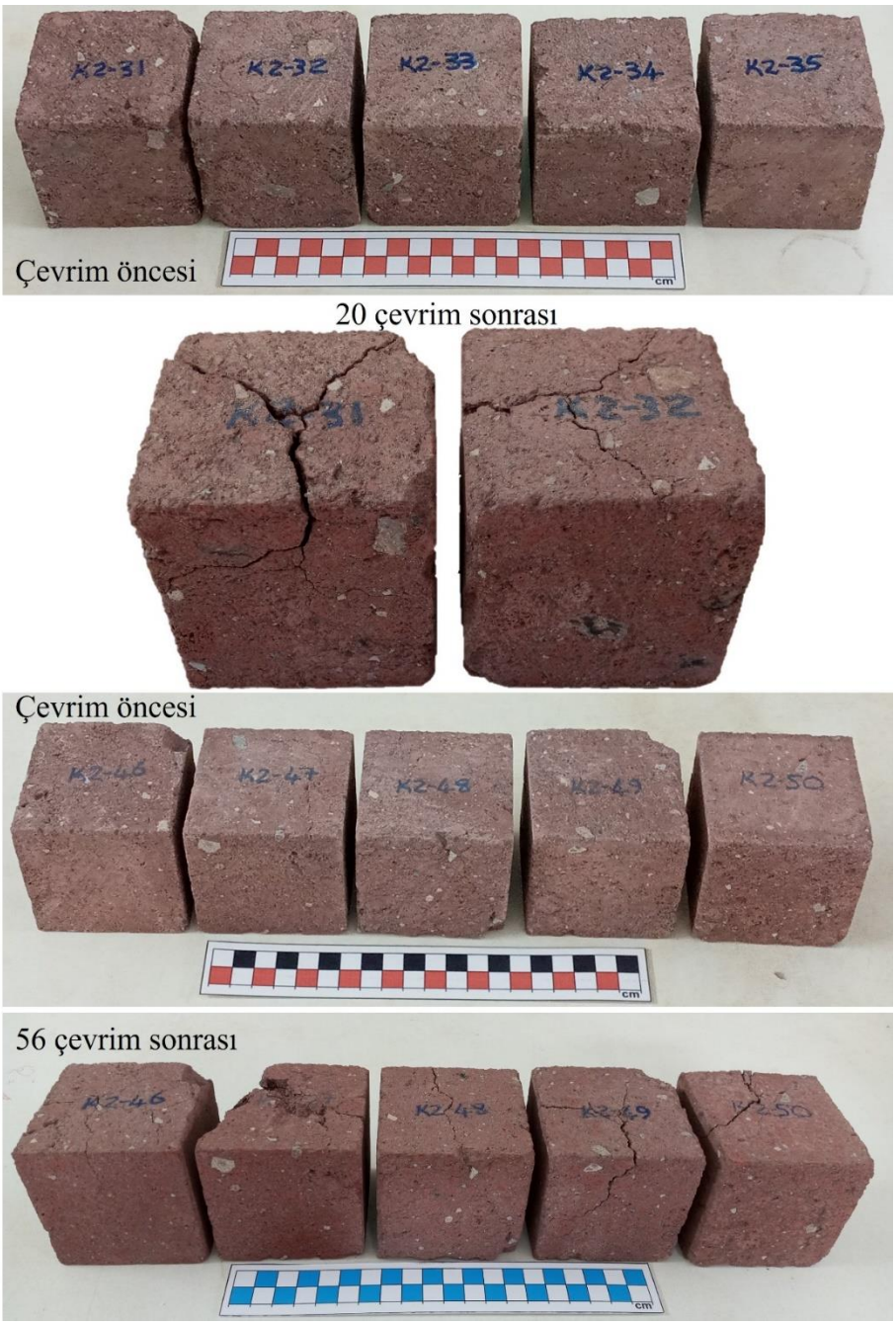
Şekil 4.6: K3 ve K4 örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü.

Donma çözünme etkisiyle hem belirli bir düzlem boyunca kırılmaların hem de belirgin ağırlık kayıplarının olduğu ÖR ve K5 grubu örnek gruplarının DÇ öncesi ve sonrasındaki görünümleri Şekil 4.7'de verilmiştir. K5 örnek grubunda 20 DÇ sonrası %3.33 ve ÖR örnek grubunda ise 10 DÇ sonrasında %0.32 oranında ağırlık kaybı gerçekleşmiştir. Yüksek kil içeriğine sahip olan ÖR örnek grubu için belirlenen %0.32 ağırlık kaybı 10 DÇ sonrası kalan tek bir örneğe ait değerdir.



Şekil 4.7: ÖR ve K5 örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü.

K2 (ignimbirit) örnek grubu, içerdiği litik parçalar ve sahip olduğu yüksek görünür porozite ve düşük dayanımla donma çözünmeden büyük oranda etkilenmiştir. İçerdiği kayaç parçaları donma çözünme karşısında farklı davranış sergilemektedir. Bu bakımdan örneklerde donma çözünme sonrası oluşan kırık ve çatlakların büyük oranda bu kayaç parçalarının etrafında geliştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).

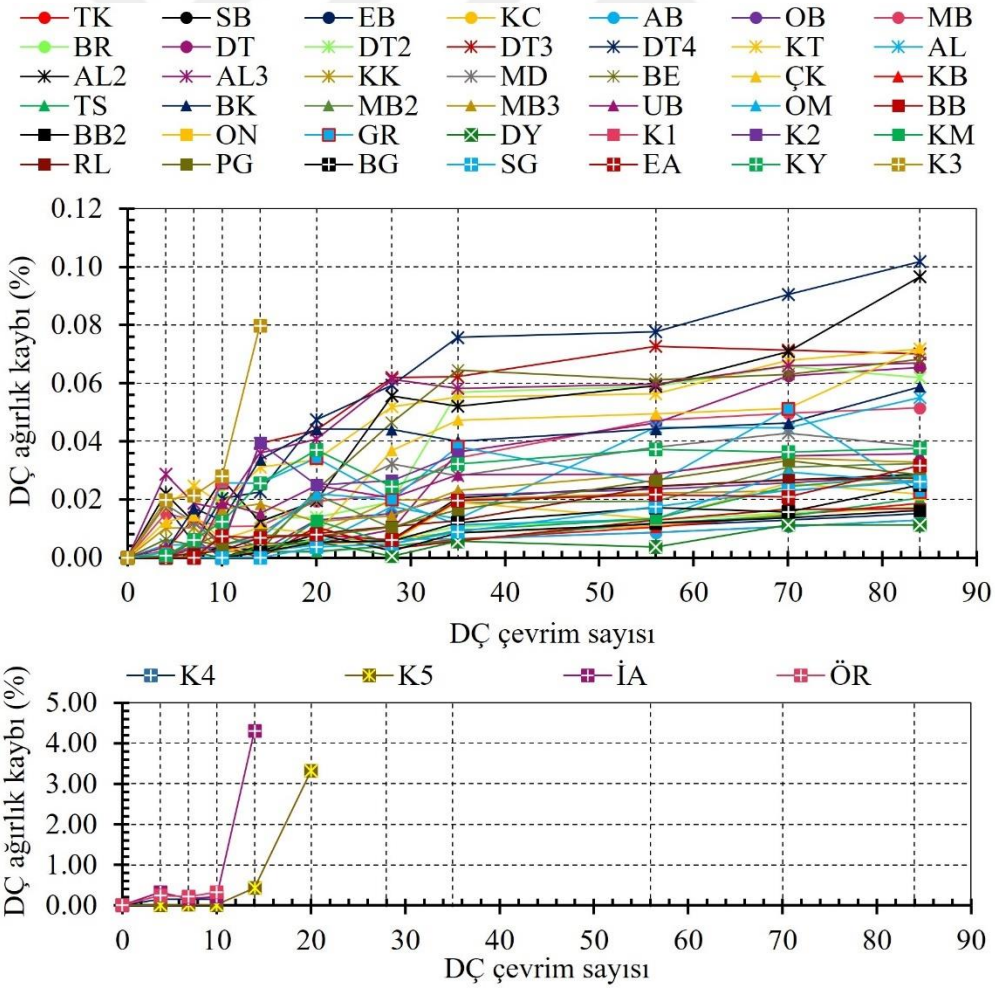


Şekil 4.8: K2 örnek grubunun donma çözünme öncesi ve sonrası görünümü.

4.2 Donma Çözünme Çevrimleri Sonrası Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.2.1 Donma Çözünme Sonrası Ağırlık Kayıpları

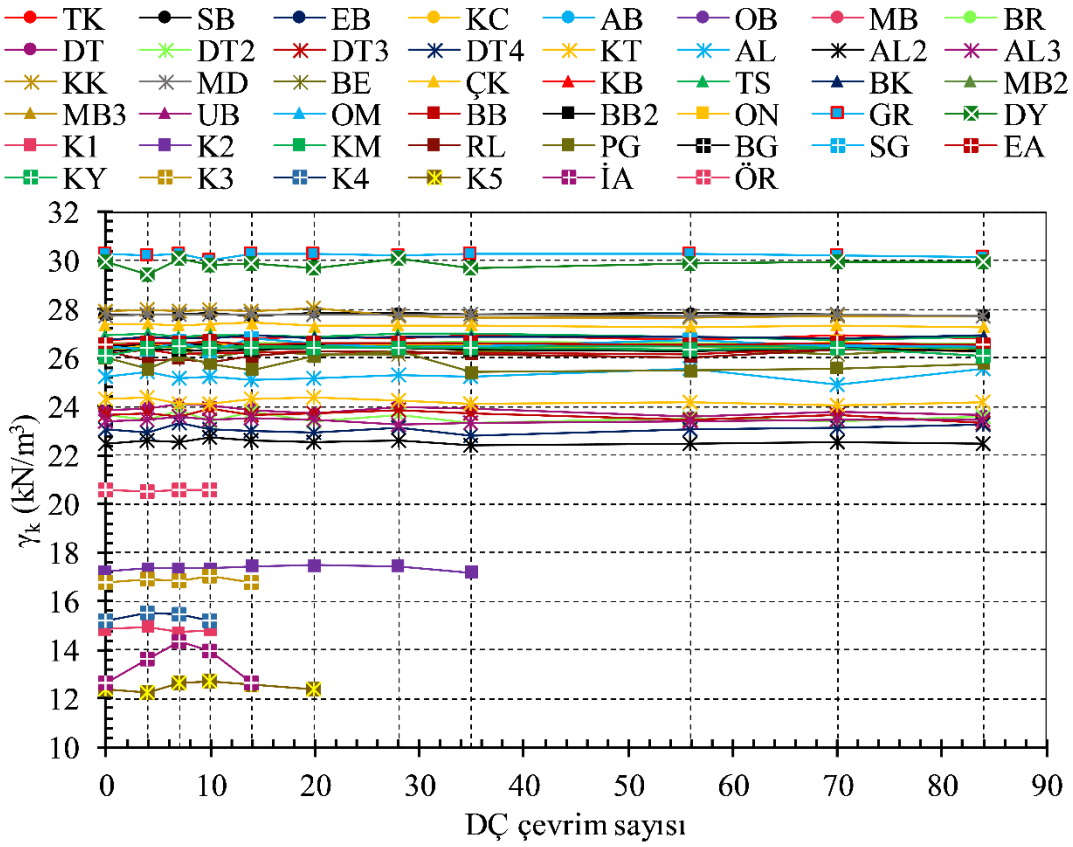
84 DÇ çevrim sonrası örnekler genel olarak bütünlüğünü korumuştur ve dikkate değer bir ağırlık kaybı görülmemiştir. Zayıf örnek gruplarında (tüf, ignimbirit, kiltaşı) artan donma çözünme sonrası bazı örneklerin parçalanması sonucu %5'lere varan önemli ağırlık kayıpları olmuştur. İzmir Alaçatı tüfü örnek grubunda (İA) 14 donma çözünme çevrimi sonunda %4.31 oranında bir ağırlık kaybı belirlenmiştir (Şekil 4.9). Ağırlık kaybının kayaçlarda donma çözünme sonucu bozunmanın değerlendirilmesinde yeterli bilgi vermediği görülmüştür. Bozunma değerlendirilmesinde farklı deney yöntemleri ile izlemenin gerekliliği görülmüştür.



Şekil 4.9: Örneklerin DÇ sonrası ağırlık kaybı değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi.

4.2.2 Kuru Birim Hacim Ağırlık, Ağırlıkça Su Emme ve Görünür Porozite Değerlerinin İncelenmesi

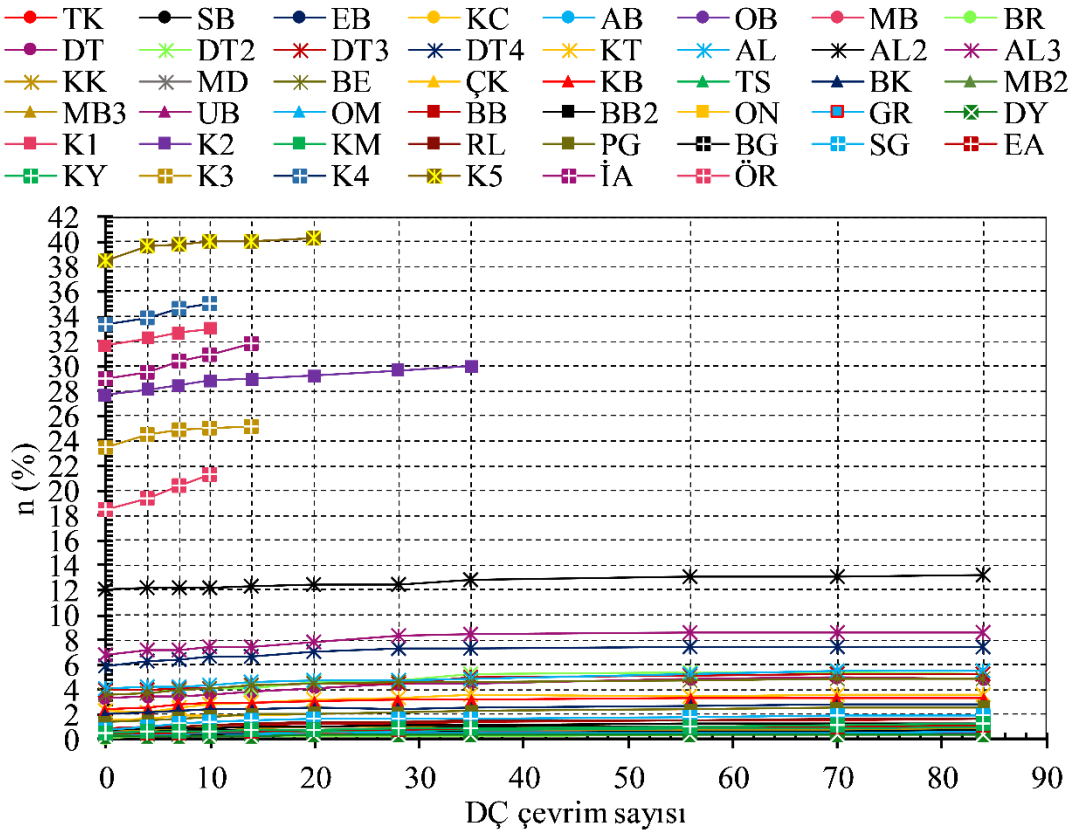
Kayaç gruplarının artan DÇ çevrimleri ile γ_k değerlerinde çok az bir azalım (<%1) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10).



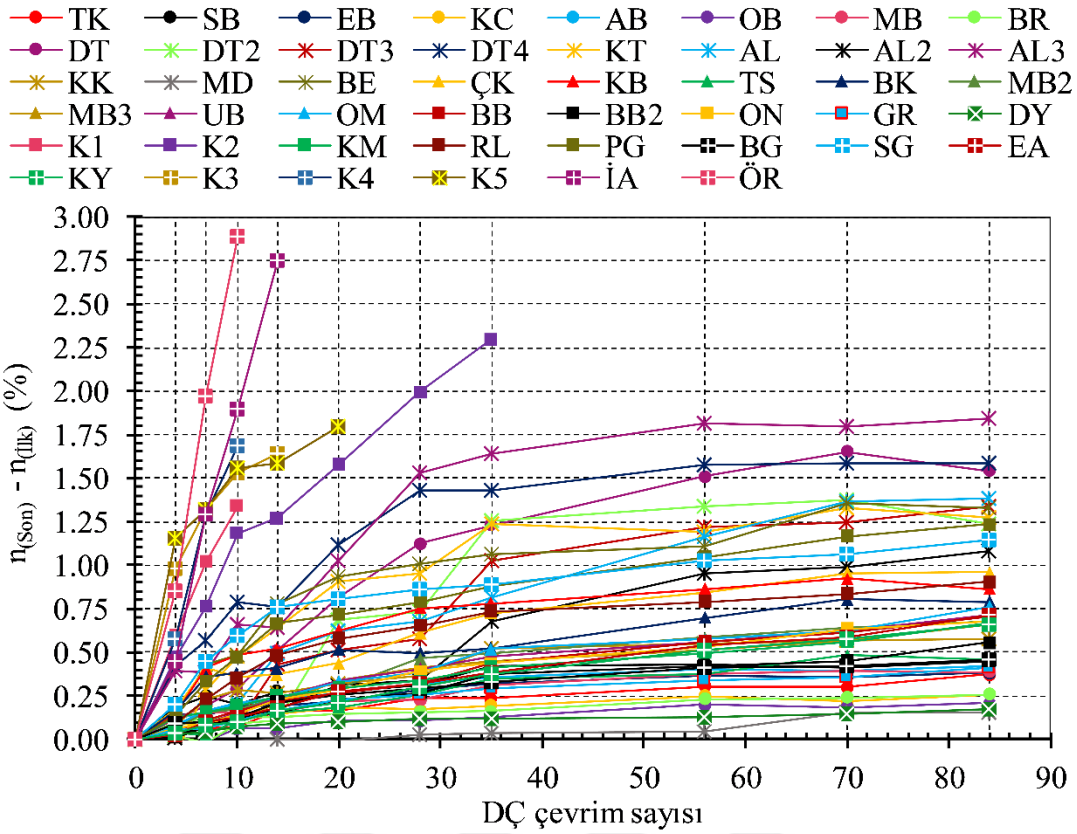
Şekil 4.10: Örneklerin γ_k değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi.

Donma çözünme sonrası yapılan deneyler ile örneklerin A_W ve n değerleri hesaplanmış ve değerlerin çevrim sayısının artışı ile birlikte belirgin bir artış gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.13). A_W ve n değerlerindeki artışın özellikle ilk 35 çevrim boyunca gerçekleştiği ve 56 çevrim sonrasında artışın daha az olduğu belirlenmiştir. Örneklerin DÇ çevrim sonrası n değerlerindeki artış miktarı 84 çevrim sonrası en az %0.16 değeri ile MD (dolomitik mermer) örneğinde, en fazla artış ise 10 çevrim sonrası %2.89 ile ÖR (kiltaşı) örneğinde gözlenmiştir (Şekil 4.12). MD (dolomitik mermer) örneğinin n değeri çevrim öncesi %0.60 iken 84 çevrim sonunda %0.76'ya yükselmiştir. ÖR (kiltaşı) örneğinin n değeri ise %18.47'den 10 DÇ çevrim sonrasında %21.36'ya yükselmiştir. ÖR (kiltaşı) örnek grubunda 10 DÇ sonrası tamamen bozunma gerçekleştiği için sonraki çevrimler uygulanmamıştır. A_W

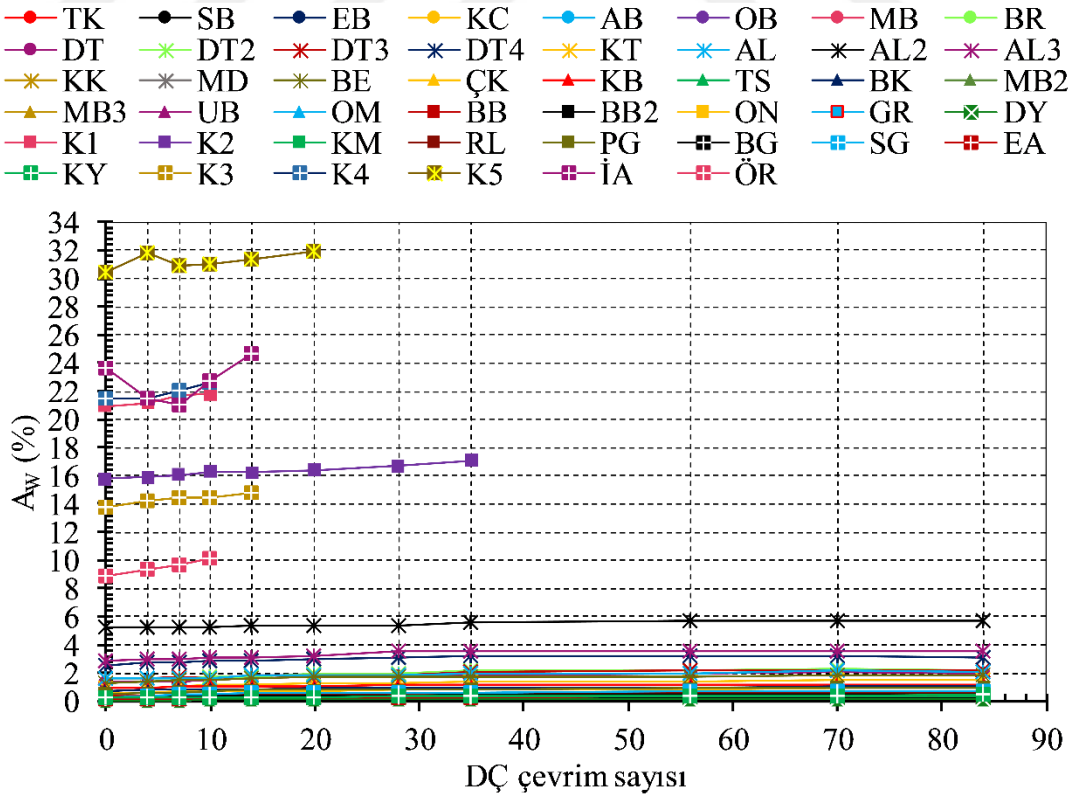
değerlerinde ise en az artış 84 çevrim sonrası %0.06 ile DY (diyabaz) örneğinde, en fazla artış ise 20 DÇ sonrası tamamen bozunmuş olan K5 kodlu örnekte gözlenmiştir ve A_W değeri %1.44 artmıştır (Şekil 4.14). Tüm örnek grupları toplu olarak değerlendirildiğinde çevrim sayısına bağlı A_W ve n değeri artışı en fazla oranda genel olarak çevrim öncesi yüksek n değerine sahip olan örneklerde gözlenmiştir. n değeri %18 üzerindeki gruplarda çok hızlı n artışı yüksek doğru eğimleri ile belirgindir. Bu durum taşın bünyesine artan oranda su emmesine ve ortalama 14. çevrimde parçalanmasına yol açmıştır.



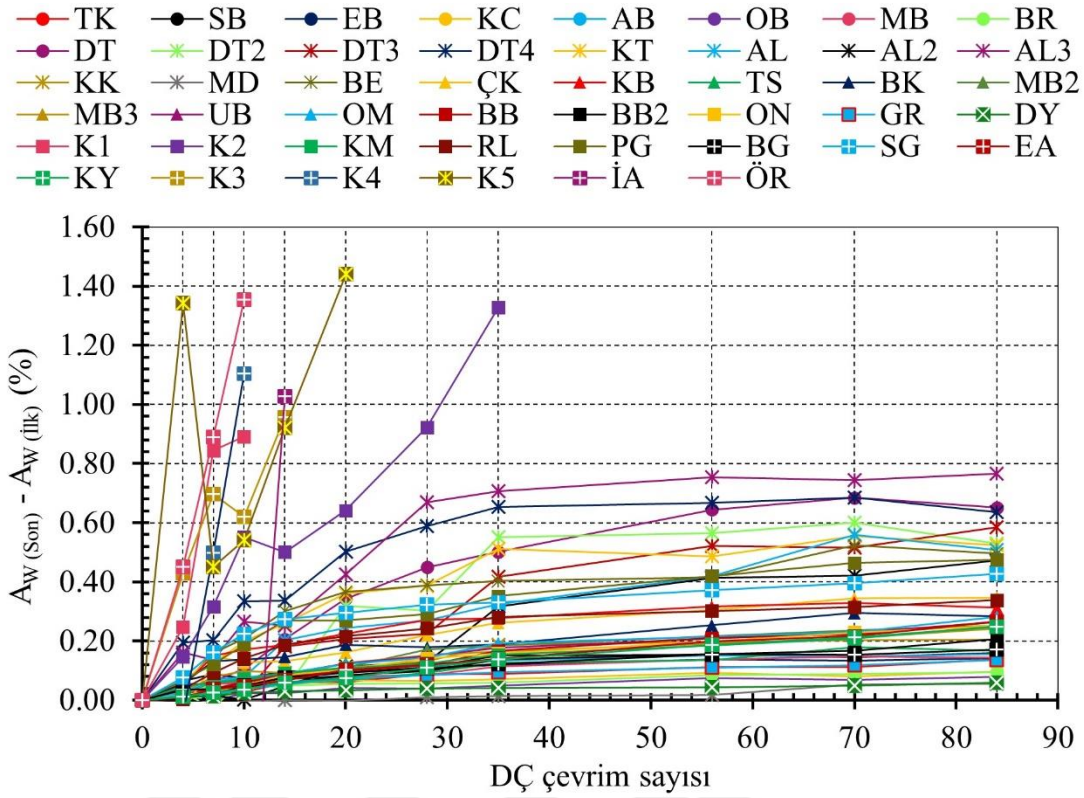
Şekil 4.11: Örneklerin n değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi.



Şekil 4.12: Örneklerin n değerlerinin DÇ çevrimleriyle artışı.



Şekil 4.13: Örneklerin A_W değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi.

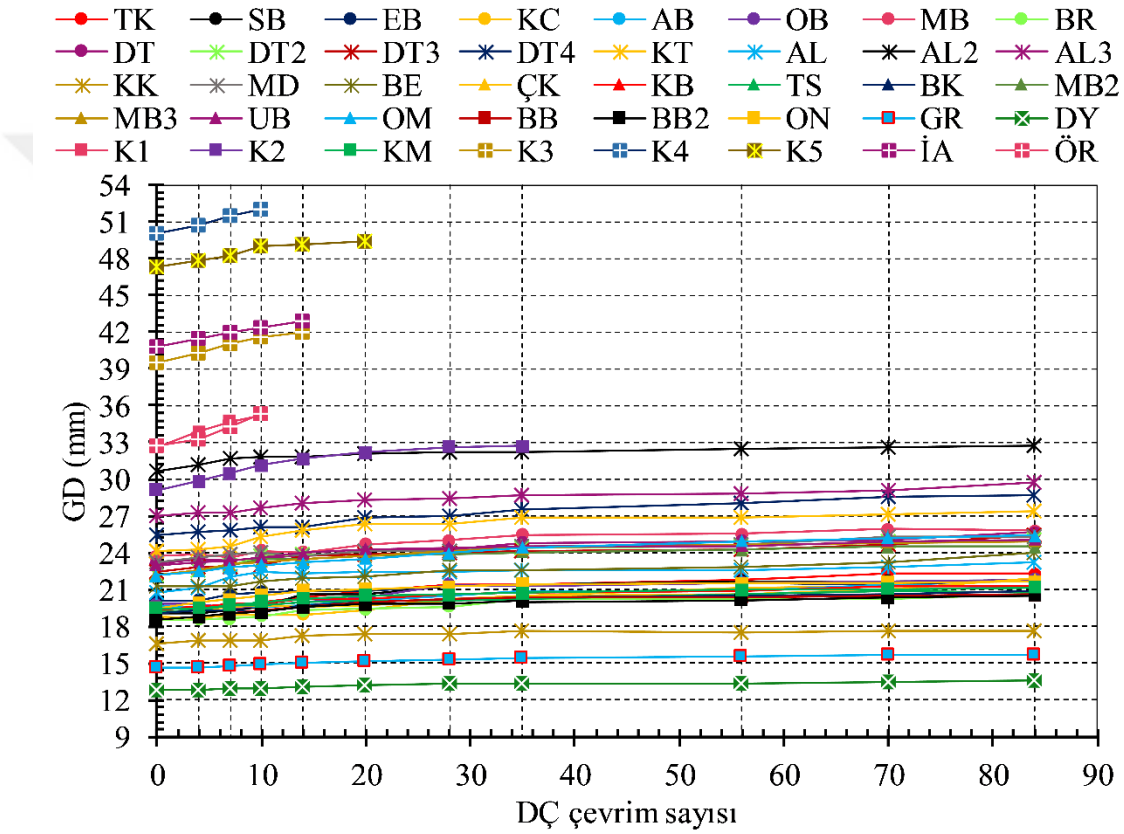


Şekil 4.14: Örneklerin A_W değerlerinin DÇ çevrimleriyle artışı.

4.2.3 Geniş Disk Aşınma Değerlerinin İncelenmesi

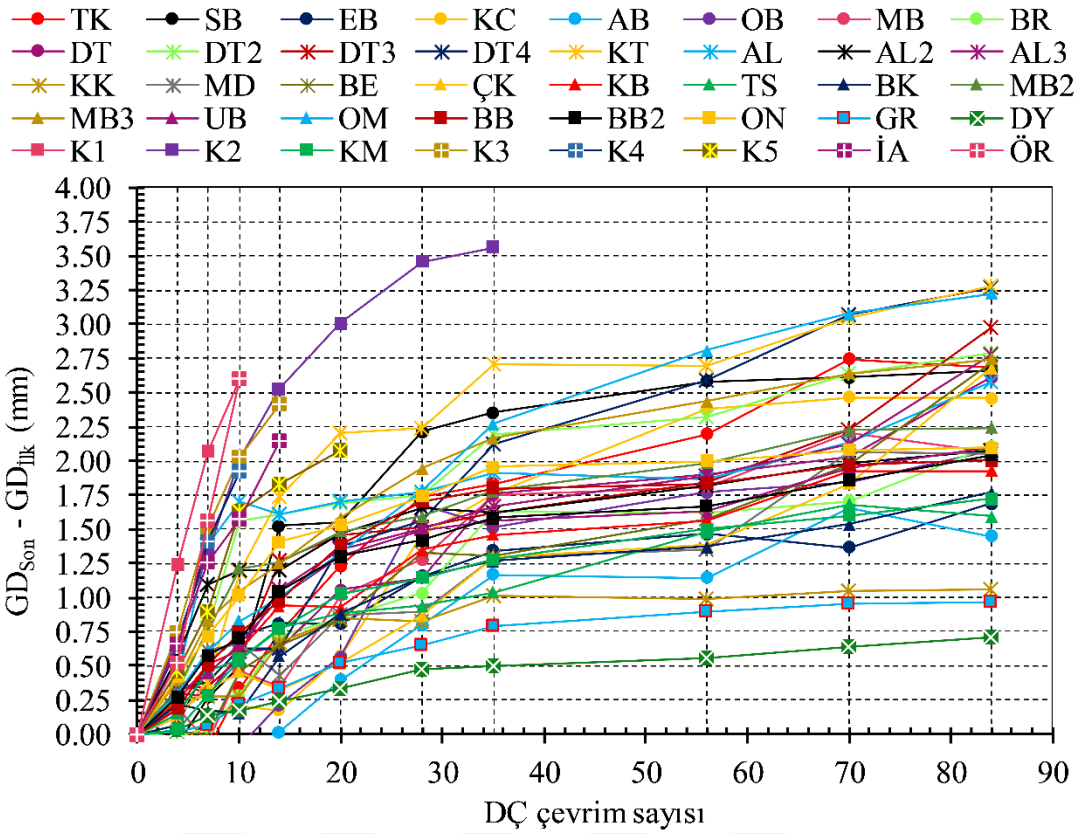
Doğaltaşlarda önemli bir parametre olan aşınma değerinin belirlenmesi TS EN 14157 (2017) standardı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma değerindeki artış, taşın aşınmaya karşı düşük dirençli olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan deneyler sonucunda donma çözünme çevrim sayısının artışı ile örneklerin geniş disk aşınma değerlerinde belirgin artış olduğu fazla sayıda örnek grubu üzerinde belirlenmiştir. Örneklerin geniş disk aşınma değerlerindeki artış miktarı özellikle görünür porozite değerinin belirgin olarak arttığı ilk 35 çevrim boyunca gözlenmiştir ve sonrasında bu artış azalarak devam etmiştir (Şekil 4.15). Bu durum kayaçların boşluk oranının artması sonucu donma çözünmeden ne kadar etkilendiğini ve taneler arasındaki bağ kuvvetinin zayıflaması sonucu yüzeyde aşınmaya karşı daha eğilimli olduğunu ortaya koymaktadır. Donma çözünme çevrimleri sonrası örneklerin geniş disk aşınma değerlerindeki artış miktarı ortalama olarak DY (diyabaz) örneğine ait olan 0.71 mm ile K2 (ignimbirit) örneğine ait artış değeri olan 3.56 mm arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.16). DY (diyabaz) örneğine ait geniş disk aşınma

değeri donma çözünme çevrim öncesi 12.84 mm değerinden 84 çevrim sonrasında 13.55 mm'ye kadar yükselmiştir. K2 (ignimbirit) örneği ise çevrim öncesi 29.15 mm geniş disk aşınma değerine sahip iken 35 çevrim sonrası geniş disk aşınma değeri 32.72 mm'ye yükselmiştir ve 35 çevrim sonunda örnek grubu tamamen parçalanmış ve bu grup için donma çözünme deneyleri sonlandırılmıştır. Tüm örnekler için değerlendirme yapmak gerekirse donma çözünme sonrası aşınma değeri en fazla değişen (artan) kayaç grupları yüksek görünür poroziteye sahip tüf, ignimbirit, kiltaşı ve traverten örnek gruplarıdır.



Şekil 4.15: Örneklerin GD değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi.

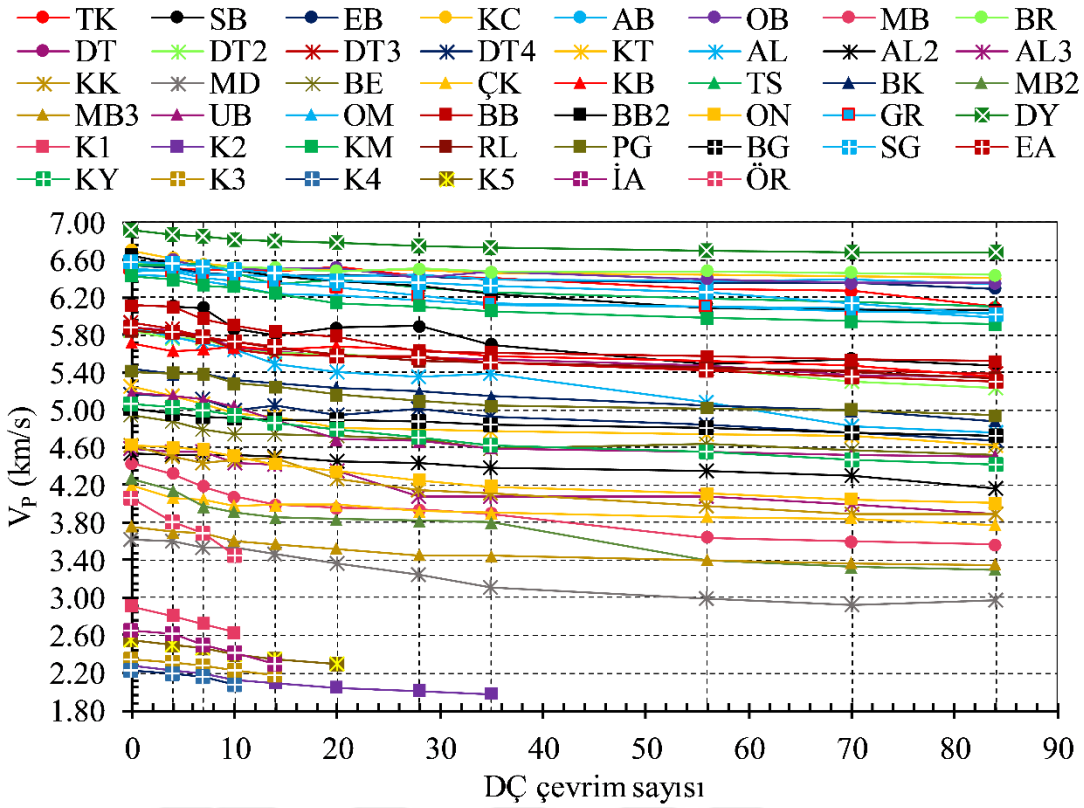
Bu tez çalışması ile özellikle DÇ çevrimlerine bağlı olarak geniş disk aşınma değerinin artış seyri, 84 DÇ çevrimine kadar ortaya konmuş ve literatüre önemli bir katkı sağlanmıştır. Elde edilen bulgular, özellikle soğuk iklim bölgelerinde kullanılacak benzer özelliklerdeki doğaltaşlar için aşınma parametresinin bilinmesi açısından uygulayıcılar için önemli bir kılavuz olma özelliğindedir.



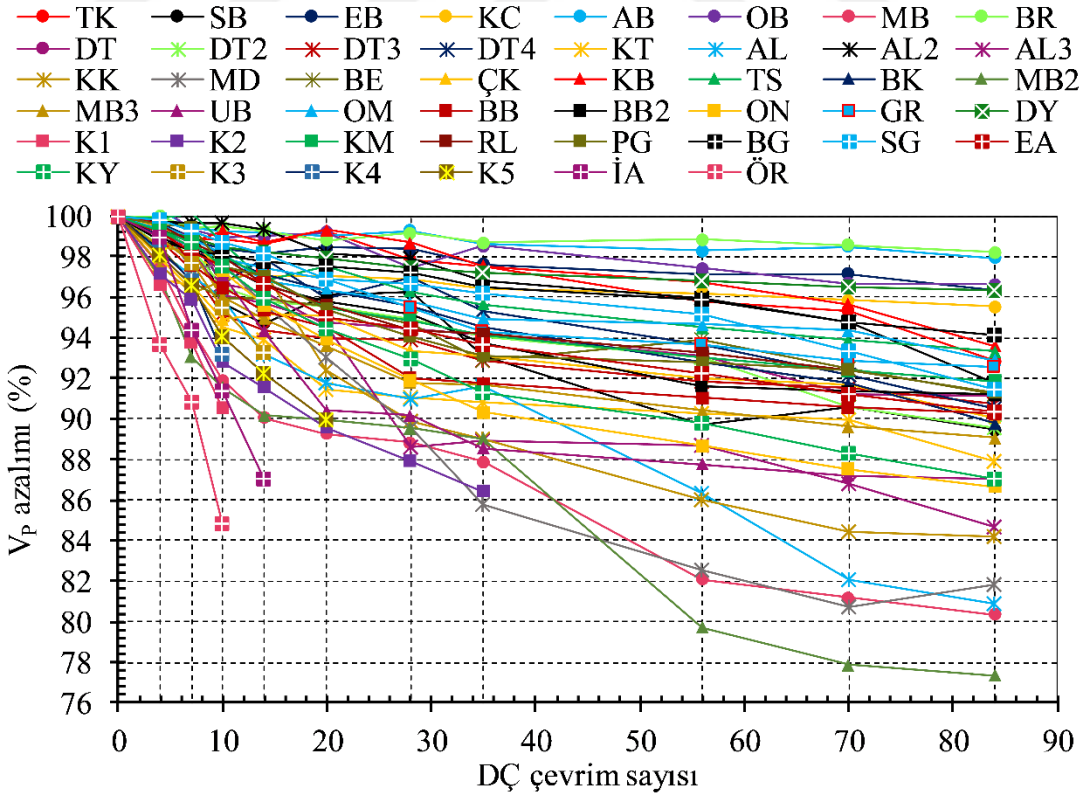
Şekil 4.16: Örneklerin GD değerlerinin DÇ çevrimleriyle artışı.

4.2.4 P-dalgası Geçiş Hızlarının İncelenmesi

Donma çözünme çevrim sayısı artışı ile birlikte tüm örneklerin ortalama P-dalgası geçiş hızlarında (V_P) bir azalım gözlenmiştir (Şekil 4.17). Donma çözünme çevrim sayısı artışı ile birlikte örneklerin V_P değerlerindeki azalımın oransal olarak BR örneğinde (mikritik kireçtaşı) %1.8 ile MB2 örneğinde (mermer) %19.65 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.18). BR (mikritik kireçtaşı) örnek grubunun V_P değeri çevrim öncesi 6.56 km/s değerinden 84 donma çözünme çevrim sonrası 6.44 km/s değerine düşmüştür. En fazla oranda azalım gösteren MB2 (mermer) örneği için ise V_P değeri çevrim öncesi 4.27 km/s değerinden 84 çevrim sonrası 3.30 km/s değerine düşmüştür. Çoğu örnek grubu için 84 DÇ çevrimi sonundaki V_P değerlerinin ortalama değerler olarak %10'a kadar düştüğü belirlenmiştir. Bu düşüm DÇ çevrimlerine bağlı olarak gerçekleşen bozunmanın taşın yüzeyinden merkezine doğru etkisinin azalmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4.17: Örneklerin V_P değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi.

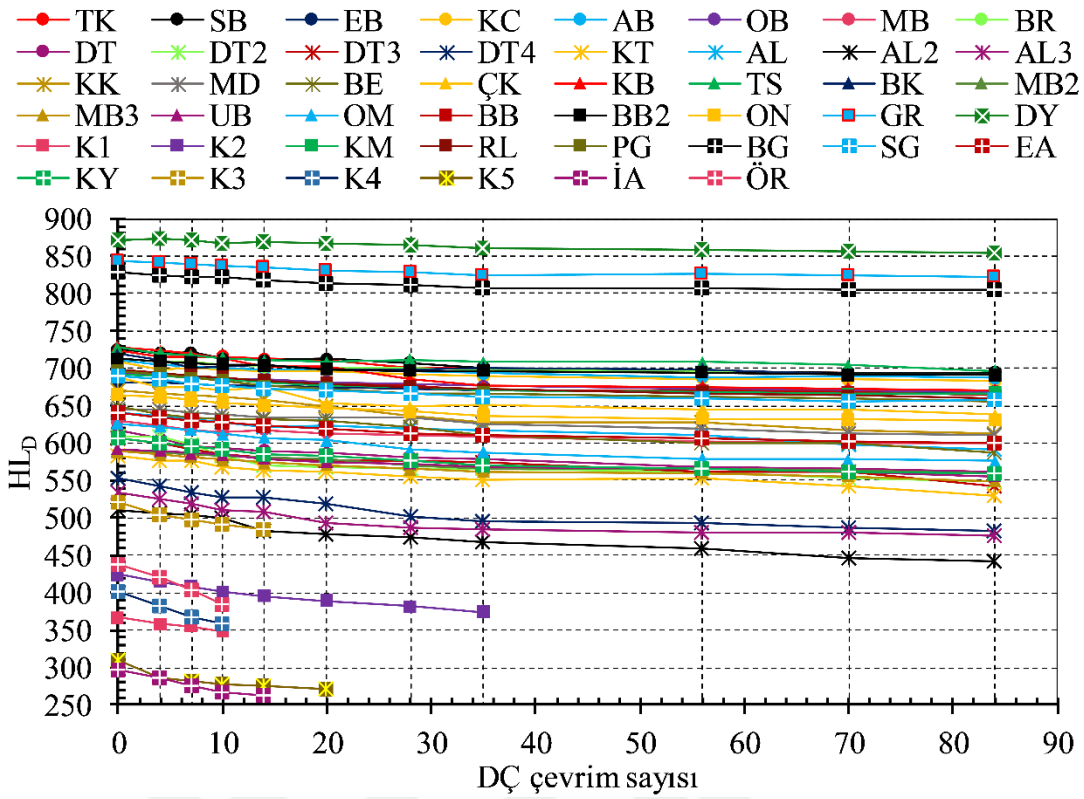


Şekil 4.18: Örneklerin V_P değerlerinin DÇ çevrimleriyle azalımı.

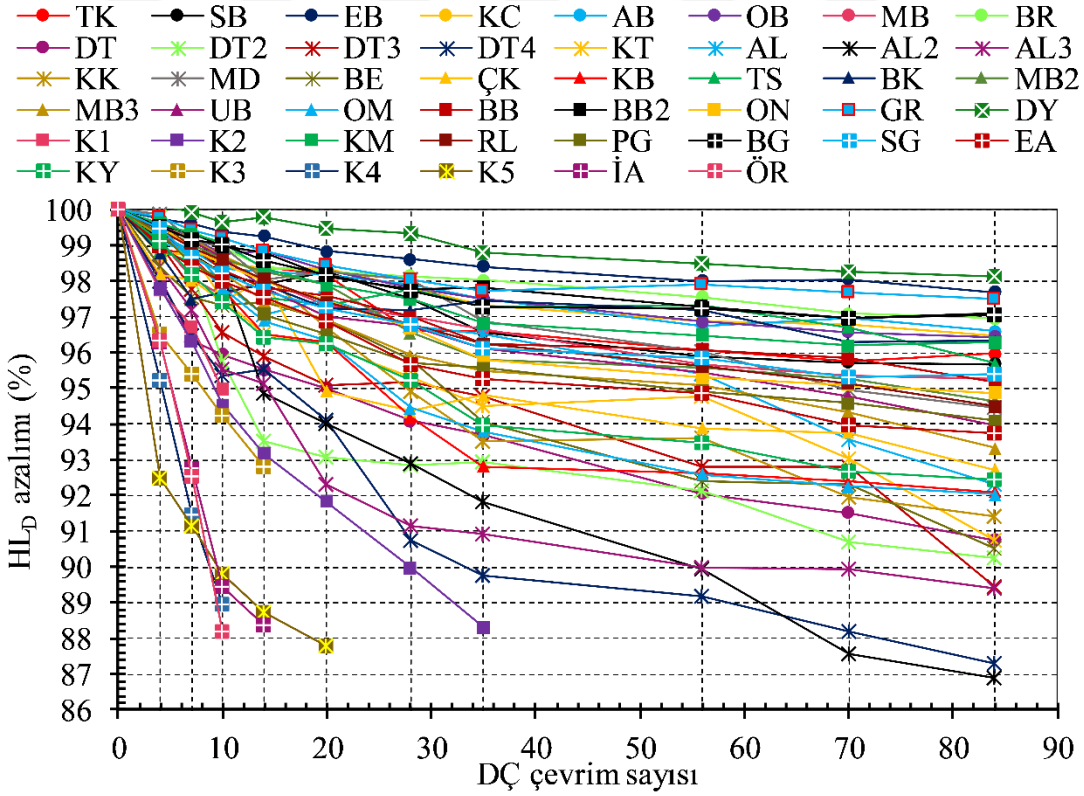
4.2.5 Leeb Sertlik Değerlerinin İncelenmesi

Leeb yüzey sertliği değerlerinin, artan donma çözünme (DÇ) çevrimleri sonucu doğaltaş örneklerinin bozulmasına paralel olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.19). Bu çalışmada, Leeb sertlik değerlerindeki azalma, artan DÇ çevrimleri ile doğaltaş bozunmasının izlenmesi için oldukça başarılı ve etkili bir yöntem olarak değerlendirilmiş ve literatüre kazandırılmıştır. 84 DÇ çevrim sonundaki ölçüm sonuçlarına göre, %13'e varan HL_D değerlerinde azalımlar elde edilmiştir (Şekil 4.20). HL_D değerinin 170 ile 960 değerleri arasında ölçülebilmesi, %13'lük bir değişim aralığının sağlıklı olarak izlenebilmesine olanak sağlamıştır. DÇ çevrimlerine bağlı olarak izlenen azalım, artan DÇ çevrimleriyle kararlı bir şekilde devam etmiştir. HL_D değerlerindeki azalım, ilk 35 donma çözünme çevrimlerinde daha net gözlenmiştir ve bu azalım 84 çevrim sonuna kadar devam etmiştir. Yüzey sertliği, ölçüm yapılan noktada uygulanan elastik geri tepme enerjisinin bir ölçüsü olarak elde edilir. DÇ çevrimlerine bağlı olarak gelişen ve ilerleyen boşluklar ve kılcal çatlaklar gibi yapısal özellikler taşın fiziksel olarak bozunmasına sebep olmakta ve bununla birlikte ölçüm noktasında elde edilen geri tepme enerjisinde azalıma bağlı olarak HL_D değerlerinde düşüşe neden olmaktadır.

DÇ çevrimleri sonrasındaki HL_D değerlerindeki azalım oransal olarak ortalama %1.85 ile %13.10 arasında değişmektedir. HL_D değerindeki azalım oranı (%1.85) en az olan DY (diyabaz) örneği donma çözünme çevrimleri öncesi 871 HL_D değerine sahip iken 84 donma çözünme çevrim sonrası 855 değerine düşmüştür. HL_D değerindeki azalım oranı (%13.10) en fazla olan AL2 (kireçtaşı) örneği ise donma çözünme çevrim öncesi 510 HL_D değerine sahip iken 84 donma çözünme çevrim sonrası 443 değerine düşmüştür.



Şekil 4.19: Örneklerin HL_D değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi.



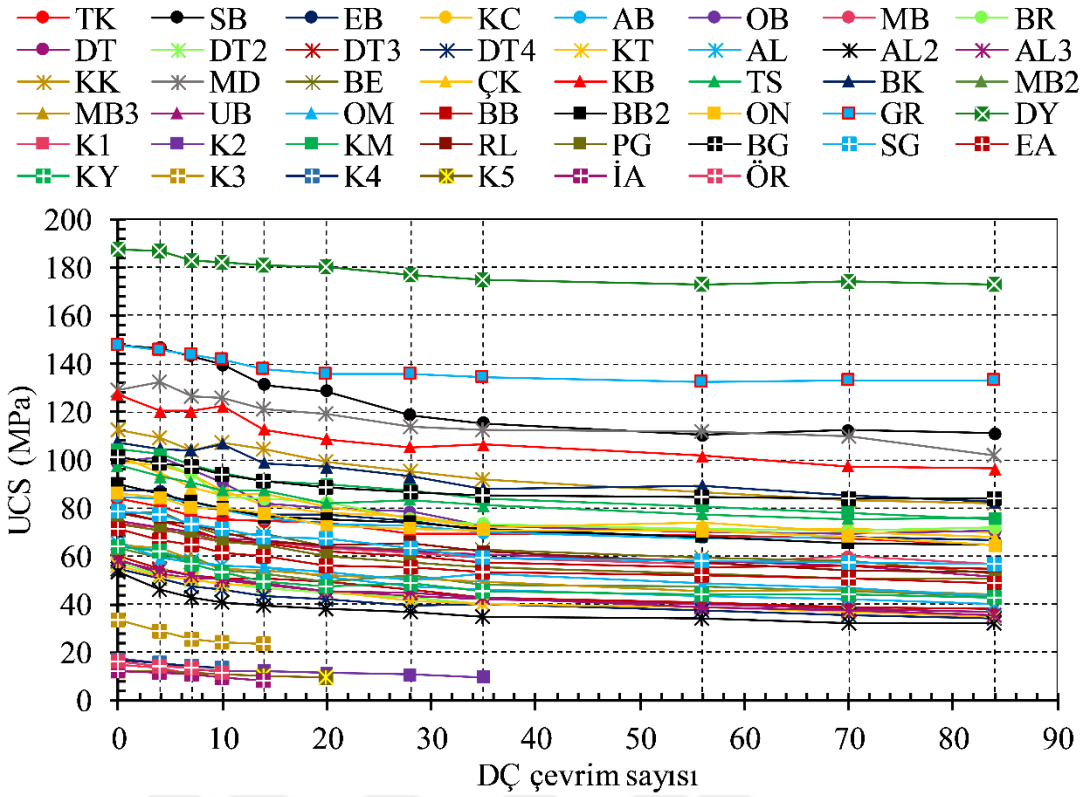
Şekil 4.20: Örneklerin HL_D değerlerinin DÇ çevrimleriyle azalımı.

4.2.6 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerlerinin İncelenmesi

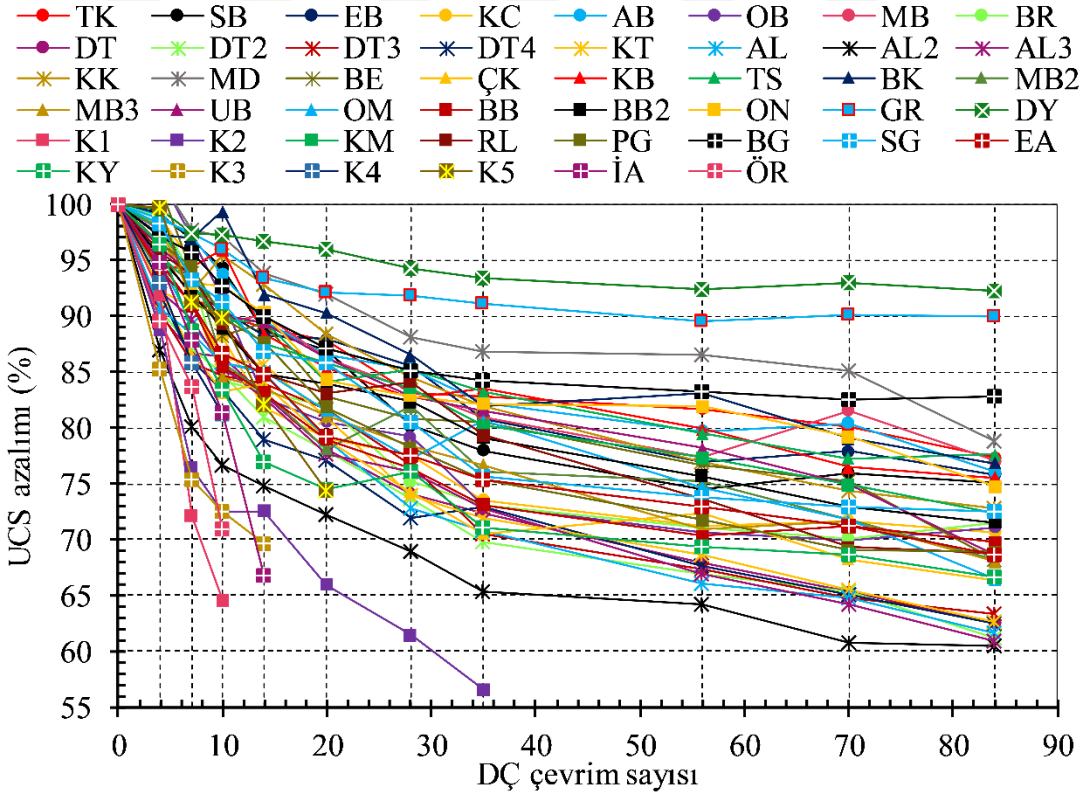
Bu çalışma kapsamında 46 farklı örnek grubunun DÇ çevrimleri sonrası tek eksenli basınç dayanımları (UCS) belirlenmiş ve donma çözünme sürecinin kayaçlarda önemli bir parametre olan dayanım üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

DÇ çevrim sayılarındaki artış ile birlikte örneklerin UCS değerlerinde belirgin azalım olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21). Örnek gruplarındaki UCS azalımı özellikle örneklerin görünür porozite değerlerinin belirgin olarak arttığı ilk 35 çevrim boyunca gerçekleşmiştir. DÇ çevrimleri öncesi yüksek görünür porozite değerine sahip olan örnek gruplarında (K1, K2, K3, K4, K5, İA, ÖR kodlu) bu azalımın daha fazla oranda olduğu ortaya konmuştur.

Örneklerin UCS değerlerindeki değişim yüzdelik olarak ortalama %7.80 ile %43.43 arasındadır (Şekil 4.22). UCS değerindeki azalım oranı (%7.80) en az olan DY (diyabaz) örneğinin donma çözünme çevrim öncesi ortalama 187.47 MPa olan tek eksenli basınç dayanımı, 84 donma çözünme çevrim sonrası ortalama 172.84 MPa değerine düşmüştür. Artan DÇ çevrimleriyle birlikte fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli değişiklikler gözlenen K2 (ignimbirit) örneği ise DÇ çevrimleri öncesi tek eksenli basınç dayanımı ortalama 17.20 MPa değerine sahip iken, 35 donma DÇ sonunda %43.43 oranında bir azalımla 9.73 MPa değerine düşmüştür. K2 (ignimbirit) örnek grubu 35 çevrim sonrasında, parçalanan örneklerin olması nedeniyle sonraki DÇ çevrimlerine tabi tutulmamıştır. Bu örnek grubu için TS EN 12371 (2011) standartlarında tanımlanan bilgiler doğrultusunda donma çözünme deneyi sonlandırılmıştır.



Şekil 4.21: Örneklerin UCS değerlerinin DÇ çevrimleriyle değişimi.



Şekil 4.22: Örneklerin UCS değerlerinin DÇ çevrimleriyle azalımı.

4.3 Donma Çözünme Sonrası Sınıflama ve Değerlendirmeler

Bu tez çalışması kapsamında, donma çözünme çevrimlerinde ağırlık kaybı, görünür porozite (n), ağırlıkça su emme oranı (A_W), geniş disk aşınma değeri (GD), Leeb sertlik değeri (HL_D), P-dalgası geçiş hızı (V_P) ve tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerindeki değişimler ele alınmış olup bu parametrelerin DÇ çevrimleri öncesi ve sonrası değişimleri incelenmiştir. Bu incelemelerde literatürde sıklıkla kullanılan sınıflandırmalar ve standartlar tarafından öngörülen değerler ele alınmıştır.

Örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve donma çözünme çevrim sonlarındaki hesaplanan kuru birim hacim ağırlık (γ_k) değerleri Anon (1979)'un kayaçlar üzerine γ_k değerine göre yaptığı sınıflaması kullanılarak değerlendirildiğinde örnek gruplarının DÇ öncesi ve sonrasındaki γ_k değerleri aynı sınıf aralıklarında kalmıştır (Tablo 4.3). Çalışılan örnek grupları görünür porozite değerleri bakımından Anon (1979)'a göre çok yüksek görünür porozite değerine sahip kayaç gruplarından çok düşük görünür porozite değerine sahip kayaç gruplarına kadar değişmektedir (Tablo 4.4). Artan çevrimlerle donma çözünme etkisinde kalan tüm örnek gruplarında görünür porozite değerlerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. DÇ öncesi çok düşük görünür porozite oranına (n<%1) sahip örnek grupları çoğunlukla 84 DÇ çevrim sonunda da artan görünür porozite oranlarına rağmen çok düşük görünür porozite sınıfının değer aralıklarında kalmıştır. Ancak bazı örnek grupları (UB, OM, BB, ON, KM, RL, BG, SG, EA, KY) donma çözünme öncesi çok düşük görünür porozite sınıfında yer almalarına rağmen (n<%1), 84 donma çözünme sonrası düşük görünür porozite sınıfına dahil olmuşlardır (%1<n<%5). Bu örnek grupları için görünür porozite değerlerindeki artış genel anlamda ince kılcal damar yapıları içermelerinden kaynaklanmaktadır (BB, KM, RL, SG, EA, KY kodlu örnek grupları). Yine bu örnek gruplarındaki görünür porozite artışı örneklerin dolomit içermelerinden ve anizotrop bir yapı sergilemelerinden kaynaklı olabilmektedir (UB, OM, EA, KY). Dolomit içeren bu örnek gruplarında dolomitin donma çözünme çevrimleri sonundaki farklı davranış sergilemesi örnek gruplarının görünür porozite artışına sebep olmaktadır.

Tablo 4.3: Örnek gruplarının γ_k değerlerine göre sınıflanması (Anon 1979).

Kayaç türü		Çevrim öncesi		84 çevrim sonrası	
		γ_k (kN/m^3)	Sınıf	γ_k (kN/m^3)	Sınıf
TK	Kireçtaşı	26.55	Yüksek	26.52	Yüksek
SB	Dolomitik Kireçtaşı	27.78	Çok yüksek	27.75	Çok yüksek
EB	Kireçtaşı	26.52	Yüksek	26.51	Yüksek
KC	Kireçtaşı	26.43	Yüksek	26.43	Yüksek
AB	Kireçtaşı	26.52	Yüksek	26.51	Yüksek
OB	Kireçtaşı	26.52	Yüksek	26.48	Yüksek
MB	Mermer	26.60	Yüksek	26.58	Yüksek
BR	Kireçtaşı	26.58	Yüksek	26.58	Yüksek
DT	Traverten	23.83	Orta	23.63	Orta
DT2	Traverten	23.66	Orta	23.56	Orta
DT3	Traverten	23.65	Orta	23.35	Orta
DT4	Traverten	23.09	Orta	23.28	Orta
KT	Traverten	24.29	Orta	24.18	Orta
AL	Kireçtaşı	25.22	Yüksek	25.55	Yüksek
AL2	Kireçtaşı	22.49	Orta	22.48	Orta
AL3	Kireçtaşı	23.41	Orta	23.43	Orta
KK	Hornfels	27.90	Çok yüksek	27.70	Çok yüksek
MD	Dolomitik mermer	27.75	Çok yüksek	27.74	Çok yüksek
BE	Kireçtaşı	26.39	Yüksek	26.38	Yüksek
ÇK	Dolomitik mermer	27.38	Çok yüksek	27.27	Çok yüksek
KB	Bazalt	26.71	Yüksek	26.82	Yüksek
TS	Kireçtaşı	26.93	Yüksek	26.89	Yüksek
BK	Dolomitik mermer	26.74	Yüksek	26.92	Yüksek
MB2	Mermer	26.54	Yüksek	26.54	Yüksek
MB3	Mermer	26.57	Yüksek	26.56	Yüksek
UB	Mermer	26.47	Yüksek	26.46	Yüksek
OM	Mermer	26.54	Yüksek	26.52	Yüksek
BB	Kireçtaşı	26.12	Yüksek	26.09	Yüksek
BB2	Kireçtaşı	26.51	Yüksek	26.50	Yüksek
ON	Bantlı traverten	26.30	Yüksek	26.29	Yüksek
GR	Gabro	30.29	Çok yüksek	30.16	Çok yüksek
DY	Diyabaz	29.94	Çok yüksek	29.93	Çok yüksek
*K1	İgnimbirit	14.85	Çok düşük	14.84	Çok düşük
*K2	İgnimbirit	17.22	Çok düşük	17.19	Çok düşük
KM	Kireçtaşı	26.41	Yüksek	26.40	Yüksek
RL	Ofikalsit	26.30	Yüksek	26.29	Yüksek
PG	Ofikalsit	26.01	Yüksek	25.77	Yüksek
BG	Granit	26.31	Yüksek	26.29	Yüksek
SG	Dolomitik kireçtaşı	26.50	Yüksek	26.47	Yüksek
EA	Mermer	26.57	Yüksek	26.56	Yüksek
KY	Dolomitik mermer	26.09	Yüksek	26.07	Yüksek
*K3	İgnimbirit	16.75	Çok düşük	16.75	Çok düşük
*K4	Tüf	15.23	Çok düşük	15.20	Çok düşük
*K5	İgnimbirit	12.40	Çok düşük	12.39	Çok düşük
*İA	Tüf	12.66	Çok düşük	12.66	Çok düşük
*ÖR	Kiltaşı	20.57	Düşük	20.55	Düşük

Çok düşük (<17.66) Düşük (17.66-21.58) Orta (21.58-25.02) Yüksek (25.02-26.98)
Çok yüksek (>26.98)

**Bu örnek gruplarının 84 çevrim sonrası γ_k değerleri belirlenememiştir. Örnek gruplarının bozunmadan önceki en son deneyin yapılabildiği çevrim sonundaki γ_k değerleri dikkate alınmıştır.*

Tablo 4.4: Örnek gruplarının n değerlerine göre sınıflanması (Anon 1979).

Kayaç türü		Çevrim öncesi		84 çevrim sonrası	
		n (%)	Sınıf	n (%)	Sınıf
TK	Kireçtaşı	0.25	Çok düşük	0.62	Çok düşük
SB	Dolomitik Kireçtaşı	0.54	Çok düşük	0.99	Çok düşük
EB	Kireçtaşı	0.23	Çok düşük	0.62	Çok düşük
KC	Kireçtaşı	0.41	Çok düşük	0.67	Çok düşük
AB	Kireçtaşı	0.24	Çok düşük	0.65	Çok düşük
OB	Kireçtaşı	0.27	Çok düşük	0.48	Çok düşük
MB	Mermer	0.31	Çok düşük	0.70	Çok düşük
BR	Kireçtaşı	0.13	Çok düşük	0.38	Çok düşük
DT	Traverten	3.32	Düşük	4.87	Düşük
DT2	Traverten	3.99	Düşük	5.23	Orta
DT3	Traverten	3.97	Düşük	5.31	Orta
DT4	Traverten	5.88	Orta	7.47	Orta
KT	Traverten	2.32	Düşük	3.60	Düşük
AL	Kireçtaşı	4.10	Düşük	5.48	Orta
AL2	Kireçtaşı	12.12	Orta	13.20	Orta
AL3	Kireçtaşı	6.77	Orta	8.61	Orta
KK	Hornfels	0.68	Çok düşük	1.26	Düşük
MD	Dolomitik mermer	0.60	Çok düşük	0.76	Çok düşük
BE	Kireçtaşı	3.58	Düşük	4.91	Düşük
ÇK	Dolomitik mermer	1.55	Düşük	2.51	Düşük
KB	Bazalt	2.41	Düşük	3.28	Düşük
TS	Kireçtaşı	0.44	Çok düşük	0.89	Çok düşük
BK	Dolomitik mermer	2.00	Düşük	2.79	Düşük
MB2	Mermer	0.31	Çok düşük	1.00	Çok düşük
MB3	Mermer	0.26	Çok düşük	0.92	Çok düşük
UB	Mermer	0.30	Çok düşük	1.01	Düşük
OM	Mermer	0.27	Çok düşük	1.03	Düşük
BB	Kireçtaşı	0.96	Çok düşük	1.66	Düşük
BB2	Kireçtaşı	0.21	Çok düşük	0.76	Çok düşük
ON	Bantlı traverten	0.51	Çok düşük	1.19	Düşük
GR	Gabro	0.21	Çok düşük	0.62	Çok düşük
DY	Diyabaz	0.23	Çok düşük	0.41	Çok düşük
*K1	İgnimbirit	31.66	Çok yüksek	33.01	Çok yüksek
*K2	İgnimbirit	27.67	Yüksek	29.97	Yüksek
KM	Kireçtaşı	0.39	Çok düşük	1.07	Düşük
RL	Ofikalsit	0.80	Çok düşük	1.70	Düşük
PG	Ofikalsit	1.37	Düşük	2.61	Düşük
BG	Granit	0.83	Çok düşük	1.29	Düşük
SG	Dolomitik kireçtaşı	0.82	Çok düşük	1.97	Düşük
EA	Mermer	0.45	Çok düşük	1.17	Düşük
KY	Dolomitik mermer	0.57	Çok düşük	1.23	Düşük
*K3	İgnimbirit	23.54	Yüksek	25.18	Yüksek
*K4	Tüf	33.36	Çok yüksek	35.04	Çok yüksek
*K5	İgnimbirit	38.46	Çok yüksek	40.26	Çok yüksek
*İA	Tüf	29.06	Yüksek	31.81	Çok yüksek
*ÖR	Kiltaşı	18.47	Yüksek	21.36	Yüksek

Çok düşük(<%1) Düşük (%1-5) Orta (%5-15) Yüksek (%15-30) Çok yüksek (>%30)

**Bu örnek gruplarının 84 çevrim sonrası n değerleri belirlenememiştir. Örnek gruplarının bozunmadan önceki en son deneyin yapılabildiği çevrim sonundaki n değerleri dikkate alınmıştır.*

Doğaltaşların aşınma değerleri de diğer fiziksel ve mekanik parametreleri gibi öneme sahip, özellikle taşın kullanım ömrünü belirleyen bir parametredir. Elde edilen geniş disk aşınma değerleri, Çobanoğlu ve Çelik (2017) tarafından önerilen aşınma sınıflaması kapsamında değerlendirilmiştir (Tablo 4.5). Örnek gruplarının donma çözünme çevrimleri sonrası aşınma değerlerinde artış gözlenmiş, ancak aşınma sınıfı olarak birkaç örnek grubu dışında değişim gözlenmemiştir. Donma çözünme ile artan aşınma değerleri donma çözünmenin doğal taşların aşınması üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Yani donma çözünme çevrimleri ile doğaltaşın yüzeysel bozunma değerleri arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Donma çözünme çevrim öncesinde 12.84 mm ile 50.06 mm aralığında aşınma değerleri olan örnek grupları için donma çözünme çevrimleri sonrası 13.55 mm ile 51.99 mm aralığında değişen bir aşınma değeri belirlenmiştir. Örnek gruplarına ait donma çözünme öncesi ve sonrasındaki V_P değerleri ise Anon (1979)'un yaptığı kayaç örneklerinin V_P değerine göre sınıflaması dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Tablo 4.6). Bu kapsamda örnekler çok düşük V_P sınıf aralığı ile çok yüksek V_P sınıf aralığında değişmektedir. DÇ sonrası örneklerin V_P değerlerinde bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Özellikle örnek gruplarının V_P değerine göre bulunduğu sınıf aralığını değiştiren V_P düşümlerinin travertenler (DT4 ve KT), mermerler (MB, MB2, MB3), yüksek görünür porozite değerine sahip kireçtaşları (AL3) ve dolomit içeren örnek gruplarında (MD, ÇK, BK) olduğu belirlenmiştir. Örnek gruplarının tek eksenli basınç dayanımları çevrim öncesinde ve sonrasında ISRM (2007) sınıflamasına göre değerlendirilmiştir (Tablo 4.7). Örneklerin ortalama tek eksenli basınç dayanımları tüm örnek grupları için artan donma çözünme çevrimleriyle azalım göstermiştir. Ancak dayanım sınıfı olarak değişim, donma çözünmenin dayanımı büyük oranda düşürdüğü örnek gruplarında belirlenmiştir. Yüksek görünür porozite değerine sahip olan traverten ve kireçtaşları çevrim öncesinde tek eksenli basınç dayanımı değeri olarak dayanımlı kayaç grubu sınıfında yer almasına rağmen artan donma çözünme çevrimleriyle birlikte azalan dayanımları bu örnek gruplarının orta dayanımlı kayaç grubuna dahil olmasına neden olmuştur.

Tablo 4.5: Örnek gruplarının GD değerlerine göre sınıflanması (Çobanoğlu ve Çelik 2017).

Kayaç türü		Çevrim öncesi		84 çevrim sonrası	
		GD (mm)	Aşınma sınıfı	GD (mm)	Aşınma sınıfı
TK	Kireçtaşı	19.64	Orta	22.32	Yüksek
SB	Dolomitik Kireçtaşı	19.10	Orta	21.77	Orta
EB	Kireçtaşı	20.08	Orta	21.76	Orta
KC	Kireçtaşı	18.79	Orta	21.25	Orta
AB	Kireçtaşı	19.69	Orta	21.14	Orta
OB	Kireçtaşı	19.79	Orta	21.86	Orta
MB	Mermer	23.72	Yüksek	25.79	Yüksek
BR	Kireçtaşı	18.58	Orta	20.69	Orta
DT	Traverten	23.07	Yüksek	25.68	Yüksek
DT2	Traverten	22.25	Yüksek	25.03	Yüksek
DT3	Traverten	22.48	Yüksek	25.45	Yüksek
DT4	Traverten	25.45	Yüksek	28.72	Yüksek
KT	Traverten	24.14	Yüksek	27.42	Yüksek
AL	Kireçtaşı	20.70	Orta	23.27	Yüksek
AL2	Kireçtaşı	30.61	Yüksek	32.69	Yüksek
AL3	Kireçtaşı	27.00	Yüksek	29.78	Yüksek
KK	Hornfels	16.57	Düşük	17.63	Düşük
MD	Dolomitik mermer	23.30	Yüksek	25.35	Yüksek
BE	Kireçtaşı	21.27	Orta	23.99	Yüksek
ÇK	Dolomitik mermer	19.20	Orta	21.88	Orta
KB	Bazalt	19.29	Orta	21.22	Orta
TS	Kireçtaşı	19.19	Orta	20.79	Orta
BK	Dolomitik mermer	19.10	Orta	20.87	Orta
MB2	Mermer	22.25	Yüksek	24.50	Yüksek
MB3	Mermer	22.21	Yüksek	24.96	Yüksek
UB	Mermer	22.97	Yüksek	25.07	Yüksek
OM	Mermer	22.18	Yüksek	25.40	Yüksek
BB	Kireçtaşı	18.58	Orta	20.59	Orta
BB2	Kireçtaşı	18.49	Orta	20.53	Orta
ON	Bantlı traverten	19.51	Orta	21.61	Orta
GR	Gabro	14.68	Düşük	15.65	Düşük
DY	Diyabaz	12.84	Düşük	13.55	Düşük
*K1	İgnimbirit	32.65	Yüksek	35.25	Yüksek
*K2	İgnimbirit	29.15	Yüksek	32.72	Yüksek
KM	Kireçtaşı	19.48	Orta	21.20	Orta
RL	Ofikalsit	-	-	-	-
PG	Ofikalsit	-	-	-	-
BG	Granit	-	-	-	-
SG	Dolomitik kireçtaşı	-	-	-	-
EA	Mermer	-	-	-	-
KY	Dolomitik mermer	-	-	-	-
*K3	İgnimbirit	39.56	Yüksek	41.98	Yüksek
*K4	Tüf	50.06	Yüksek	51.99	Yüksek
*K5	İgnimbirit	47.36	Yüksek	49.44	Yüksek
*İA	Tüf	40.77	Yüksek	42.92	Yüksek
*ÖR	Kiltaşı	32.78	Yüksek	35.39	Yüksek

Aşınma sınıflaması (Çobanoğlu ve Çelik 2017)
Düşük aşınabilir kaya GD ≤ 18
Orta aşınabilir kaya 18 < GD < 22
Yüksek aşınabilir kaya GD ≥ 22

**Bu örnek gruplarının 84 çevrim sonrası GD değerleri belirlenememiştir. Örnek gruplarının bozunmadan önceki en son deneyin yapılabildiği çevrim sonundaki GD değerleri dikkate alınmıştır.*

Tablo 4.6: Örnek gruplarının V_P değerlerine göre sınıflanması (Anon 1979).

Kayaç türü		Çevrim öncesi		84 çevrim sonrası	
		V_P (km/s)	Sınıf	V_P (km/s)	Sınıf
TK	Kireçtaşı	6.571	Çok yüksek hız	6.102	Çok yüksek hız
SB	Dolomitik Kireçtaşı	6.122	Çok yüksek hız	5.476	Çok yüksek hız
EB	Kireçtaşı	6.540	Çok yüksek hız	6.298	Çok yüksek hız
KC	Kireçtaşı	6.700	Çok yüksek hız	6.401	Çok yüksek hız
AB	Kireçtaşı	6.485	Çok yüksek hız	6.350	Çok yüksek hız
OB	Kireçtaşı	6.571	Çok yüksek hız	6.350	Çok yüksek hız
MB	Mermer	4.434	Yüksek hız	3.563	Orta hız
BR	Kireçtaşı	6.559	Çok yüksek hız	6.441	Çok yüksek hız
DT	Traverten	5.886	Çok yüksek hız	5.363	Çok yüksek hız
DT2	Traverten	5.851	Çok yüksek hız	5.239	Çok yüksek hız
DT3	Traverten	5.932	Çok yüksek hız	5.382	Çok yüksek hız
DT4	Traverten	5.165	Çok yüksek hız	4.675	Yüksek hız
KT	Traverten	5.259	Çok yüksek hız	4.623	Yüksek hız
AL	Kireçtaşı	5.884	Çok yüksek hız	4.760	Yüksek hız
AL2	Kireçtaşı	4.537	Yüksek hız	4.164	Yüksek hız
AL3	Kireçtaşı	4.596	Yüksek hız	3.892	Orta hız
KK	Hornfels	4.618	Yüksek hız	3.889	Orta hız
MD	Dolomitik mermer	3.624	Orta hız	2.966	Düşük hız
BE	Kireçtaşı	4.950	Yüksek hız	4.515	Yüksek hız
ÇK	Dolomitik mermer	4.197	Yüksek hız	3.779	Orta hız
KB	Bazalt	5.719	Çok yüksek hız	5.354	Çok yüksek hız
TS	Kireçtaşı	6.549	Çok yüksek hız	6.111	Çok yüksek hız
BK	Dolomitik mermer	5.439	Çok yüksek hız	4.883	Yüksek hız
MB2	Mermer	4.271	Yüksek hız	3.304	Düşük hız
MB3	Mermer	3.761	Orta hız	3.350	Düşük hız
UB	Mermer	5.184	Çok yüksek hız	4.510	Yüksek hız
OM	Mermer	6.449	Çok yüksek hız	5.991	Çok yüksek hız
BB	Kireçtaşı	6.120	Çok yüksek hız	5.522	Çok yüksek hız
BB2	Kireçtaşı	6.649	Çok yüksek hız	6.062	Çok yüksek hız
ON	Bantlı traverten	4.629	Yüksek hız	4.011	Yüksek hız
GR	Gabro	6.517	Çok yüksek hız	6.033	Çok yüksek hız
DY	Diyabaz	6.926	Çok yüksek hız	6.673	Çok yüksek hız
*K1	İgnimbirit	2.906	Düşük hız	2.630	Düşük hız
*K2	İgnimbirit	2.285	Çok düşük hız	1.974	Çok düşük hız
KM	Kireçtaşı	6.434	Çok yüksek hız	5.911	Çok yüksek hız
RL	Ofikalsit	5.848	Çok yüksek hız	5.340	Çok yüksek hız
PG	Ofikalsit	5.414	Çok yüksek hız	4.942	Yüksek hız
BG	Granit	5.016	Çok yüksek hız	4.721	Yüksek hız
SG	Dolomitik kireçtaşı	6.573	Çok yüksek hız	6.011	Çok yüksek hız
EA	Mermer	5.877	Çok yüksek hız	5.311	Çok yüksek hız
KY	Dolomitik mermer	5.069	Çok yüksek hız	4.412	Yüksek hız
*K3	İgnimbirit	2.337	Çok düşük hız	2.179	Çok düşük hız
*K4	Tüf	2.225	Çok düşük hız	2.074	Çok düşük hız
*K5	İgnimbirit	2.549	Düşük hız	2.293	Çok düşük hız
*İA	Tüf	2.645	Düşük hız	2.302	Çok düşük hız
*ÖR	Kiltaşı	4.066	Yüksek hız	3.447	Düşük hız

Çok düşük hız (<2.5) Düşük hız (2.5-3.5) Orta hız (3.5-4) Yüksek hız (4-5) Çok yüksek hız (>5)

**Bu örnek gruplarının 84 çevrim sonrası V_P değerleri belirlenememiştir. Örnek gruplarının bozunmadan önceki en son deneyin yapılabildiği çevrim sonundaki V_P değerleri dikkate alınmıştır.*

Tablo 4.7: Örnek gruplarının UCS değerlerine göre sınıflanması (ISRM 2007).

Kayaç türü		Çevrim öncesi		84 çevrim sonrası	
		UCS (MPa)	Sınıf	UCS (MPa)	Sınıf
TK	Kireçtaşı	83.80	Dayanımlı	64.79	Dayanımlı
SB	Dolomitik Kireçtaşı	147.89	Çok dayanımlı	111.03	Çok dayanımlı
EB	Kireçtaşı	87.48	Dayanımlı	66.34	Dayanımlı
KC	Kireçtaşı	99.02	Dayanımlı	70.02	Dayanımlı
AB	Kireçtaşı	84.81	Dayanımlı	64.51	Dayanımlı
OB	Kireçtaşı	99.04	Dayanımlı	70.45	Dayanımlı
MB	Mermer	73.39	Dayanımlı	56.52	Dayanımlı
BR	Kireçtaşı	100.38	Çok dayanımlı	71.83	Dayanımlı
DT	Traverten	58.51	Dayanımlı	36.56	Orta dayanımlı
DT2	Traverten	57.55	Dayanımlı	35.23	Orta dayanımlı
DT3	Traverten	60.24	Dayanımlı	38.16	Orta dayanımlı
DT4	Traverten	54.90	Dayanımlı	34.32	Orta dayanımlı
KT	Traverten	56.01	Dayanımlı	35.05	Orta dayanımlı
AL	Kireçtaşı	65.18	Dayanımlı	40.19	Orta dayanımlı
AL2	Kireçtaşı	53.02	Dayanımlı	32.04	Orta dayanımlı
AL3	Kireçtaşı	58.30	Dayanımlı	35.51	Orta dayanımlı
KK	Hornfels	112.29	Çok dayanımlı	81.75	Dayanımlı
MD	Dolomitik mermer	129.32	Çok dayanımlı	101.84	Çok dayanımlı
BE	Kireçtaşı	77.42	Dayanımlı	52.78	Dayanımlı
ÇK	Dolomitik mermer	102.15	Çok dayanımlı	67.83	Dayanımlı
KB	Bazalt	127.36	Çok dayanımlı	96.24	Dayanımlı
TS	Kireçtaşı	97.61	Dayanımlı	75.74	Dayanımlı
BK	Dolomitik mermer	107.43	Çok dayanımlı	82.55	Dayanımlı
MB2	Mermer	63.16	Dayanımlı	43.08	Orta dayanımlı
MB3	Mermer	64.33	Dayanımlı	43.78	Orta dayanımlı
UB	Mermer	74.48	Dayanımlı	51.13	Dayanımlı
OM	Mermer	65.05	Dayanımlı	43.24	Orta dayanımlı
BB	Kireçtaşı	78.28	Dayanımlı	54.59	Dayanımlı
BB2	Kireçtaşı	90.01	Dayanımlı	64.38	Dayanımlı
ON	Bantlı traverten	86.11	Dayanımlı	64.36	Dayanımlı
GR	Gabro	147.57	Çok dayanımlı	132.80	Çok dayanımlı
DY	Diyabaz	187.47	Çok dayanımlı	172.84	Çok dayanımlı
*K1	İgnimbirit	15.01	Zayıf	9.70	Zayıf
*K2	İgnimbirit	17.20	Zayıf	9.73	Zayıf
KM	Kireçtaşı	104.43	Çok dayanımlı	75.57	Dayanımlı
RL	Ofikalsit	78.02	Dayanımlı	53.63	Dayanımlı
PG	Ofikalsit	73.36	Dayanımlı	50.56	Dayanımlı
BG	Granit	101.48	Çok dayanımlı	84.06	Dayanımlı
SG	Dolomitik kireçtaşı	78.38	Dayanımlı	56.80	Dayanımlı
EA	Mermer	70.95	Dayanımlı	48.68	Orta dayanımlı
KY	Dolomitik mermer	63.93	Dayanımlı	42.64	Orta dayanımlı
*K3	İgnimbirit	33.41	Orta dayanımlı	23.24	Zayıf
*K4	Tüf	16.70	Zayıf	13.56	Zayıf
*K5	İgnimbirit	12.39	Zayıf	9.21	Zayıf
*İA	Tüf	11.97	Zayıf	8.00	Zayıf
*ÖR	Kiltaşı	15.90	Zayıf	11.27	Zayıf

Sınıflama: UCS (MPa) (ISRM 2007)
(Oldukça zayıf kayaç: 0.25-1) (Çok zayıf kayaç: 1-5) (Zayıf kayaç: 5-25)
(Orta dayanımlı kayaç 25-50) (Dayanımlı kayaç 50-100) (Çok dayanımlı kayaç 100-250)
(Oldukça dayanımlı kayaç >250)

**Bu örnek gruplarının 84 çevrim sonrası UCS değerleri belirlenememiştir. Örnek gruplarının bozunmadan önceki en son deneyin yapılabildiği çevrim sonundaki UCS değerleri dikkate alınmıştır.*

Doğaltaşların kullanılabilirliğinde dayanım önemli bir parametre olup, taşın dayanım değerinin kullanım uygunluğu açısından standart sınır değerlerde olması gerekmektedir. Bu kapsamda çalışılan örnek gruplarına ait donma çözünme öncesi ve sonrası belirlenen UCS değerleri ASTM ve TS standartlarına göre kullanım uygunluğu açısından değerlendirilmiştir (Tablo 4.8). Tüm örnek gruplarının donma çözünme öncesi UCS değerlerinin doğaltaşların kullanımı için standart olarak uygun olan minimum dayanım sınırlarının üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ancak artan donma çözünme çevrimleriyle birlikte örnek gruplarında dayanım olarak düşüş gözlenmiş olup, özellikle donma çözünmeden büyük oranda etkilenen örnek gruplarının dayanımları standart sınır değerlerin altında kalmıştır. Yüksek görünür porozite değerine sahip olan traverten örnek grupları donma çözünme öncesi belirlenen dayanım değerleriyle iç ve dış mekanlarda kullanım olarak standartları sağlamasına rağmen, donma çözünme etkisiyle birlikte azalan dayanımları iç mekanlarda standartlara uygun, ancak dış mekanlarda bu dayanım değerlerinin standartlarda belirtilen olması gereken sınır değerin altında kaldığı belirlenmiştir. Bu bakımdan doğaltaşların bozunma kriterleri dikkate alınarak çeşitli kullanım amaçlarına göre uygun olarak seçilmesi önemlidir. Donma çözünme öncesi yüksek dayanım ve düşük görünür porozite değerine sahip olan diyabaz, gabro ve kireçtaşı örnek gruplarında donma çözünme ile birlikte UCS değerlerinde belirlenen azalımlara rağmen bu örnek gruplarının dayanım olarak hem donma çözünme öncesinde hem de donma çözünme sonrasında standart değerleri sağladığı belirlenmiştir. Ancak örnek gruplarından kireçtaşları genelde %1'in altında görünür porozite değerine sahip olmakla birlikte, bazı yüksek görünür porozite değerine (%1-5) sahip kireçtaşı örnek gruplarında donma çözünme sonrası dayanım önemli oranda azalarak standartlarda belirtilen sınır değerin altında kalmıştır.

ASTM ve TS standartları doğrultusunda doğaltaşların ağırlıkça su emme oranları da değerlendirilmiştir (Tablo 4.9). Genelde örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası belirlenen ağırlıkça su emme oranı değerlerinin standartlarda belirtilen sınırlar içinde olduğu ve kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir. Mermer ve dolomit gibi örnek gruplarının (MB, MB2, MB3, MD) ise donma çözünme öncesi ağırlıkça su emme oranı olarak standartları sağladığı ancak donma çözünme sonrası standartlarda belirtilen maksimum ağırlıkça su emme oranından fazla değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.8: Örnek gruplarının DÇ öncesi ve sonrası UCS değerlerinin standartlara uygunluğunun değerlendirilmesi.

Kayaç türü		UCS (MPa) Sınır değer (Minimum)	Standart	Çevrim öncesi	84 çevrim sonrası
				UCS (MPa)	UCS (MPa)
TK	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	83.80	64.79
SB	Dolomitik kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	147.89	111.03
EB	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	87.48	66.34
KC	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	99.02	70.02
AB	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	84.81	64.51
OB	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	99.04	70.45
MB	Mermer	52	ASTM C503/C503M-15	73.39	56.52
BR	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	100.38	71.83
DT	Traverten	52 (dış) 34.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	58.51	36.56
DT2	Traverten	52 (dış) 34.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	57.55	35.23
DT3	Traverten	52 (dış) 34.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	60.24	38.16
DT4	Traverten	52 (dış) 34.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	54.90	34.32
KT	Traverten	52 (dış) 34.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	56.01	35.05
AL	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	65.18	40.19
AL2	Kireçtaşı	28	ASTM C568/C568M-15	53.02	32.04
AL3	Kireçtaşı	28	ASTM C568/C568M-15	58.30	35.51
MD	Dolomitik mermer	52	ASTM C503/C503M-15	129.32	101.84
BE	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	77.42	52.78
ÇK	Dolomitik mermer	52	ASTM C503/C503M-15	102.15	67.83
TS	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	97.61	75.74
BK	Dolomitik mermer	52	ASTM C503/C503M-15	107.43	82.55
MB2	Mermer	52	ASTM C503/C503M-15	63.16	43.08
MB3	Mermer	52	ASTM C503/C503M-15	64.33	43.78
UB	Mermer	52	ASTM C503/C503M-15	74.48	51.13
OM	Mermer	52	ASTM C503/C503M-15	65.05	43.24
BB	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	78.28	54.59
BB2	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	90.01	64.38
ON	Bantlı traverten	52 (dış) 34.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	86.11	64.36
GR	Gabro	117.7 (taşıma) 78.5 (kaplama)	TS 10834	147.57	132.80
DY	Diyabaz	117.68	TS 5762	187.47	172.84
KM	Kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	104.43	75.57
RL	Ofikalsit	55	ASTM C568/C568M-15	78.02	53.63
PG	Ofikalsit	55	ASTM C568/C568M-15	73.36	50.56
BG	Granit	117.68	TS 6234	101.48	84.06
SG	Dolomitik kireçtaşı	55	ASTM C568/C568M-15	78.38	56.80
EA	Mermer	52	ASTM C503/C503M-15	70.95	48.68
KY	Dolomitik mermer	52	ASTM C503/C503M-15	63.93	42.64

Tablo 4.9: Örnek gruplarının donma çözünme öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme oranı değerlerinin standartlara uygunluğunun değerlendirilmesi.

Kayaç türü		A_W (%) Sınır değer (Maksimum)	Standart	Çevrim öncesi	84 çevrim sonrası
				A_W (%)	A_W (%)
TK	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.09	0.23
SB	Dolomitik kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.19	0.35
EB	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.09	0.23
KC	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.15	0.25
AB	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.09	0.24
OB	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.10	0.18
MB	Mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.11	0.26
BR	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.05	0.14
DT	Traverten	2.5 (dış) 2.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	1.37	2.02
DT2	Traverten	2.5 (dış) 2.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	1.66	2.19
DT3	Traverten	2.5 (dış) 2.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	1.65	2.23
DT4	Traverten	2.5 (dış) 2.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	2.51	3.15
KT	Traverten	2.5 (dış) 2.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	0.94	1.46
AL	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	1.60	2.10
AL2	Kireçtaşı	7.5	ASTM C568/C568M-15	5.29	5.76
AL3	Kireçtaşı	7.5	ASTM C568/C568M-15	2.84	3.61
MD	Dolomitik mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.21	0.27
BE	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	1.33	1.83
ÇK	Dolomitik mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.56	0.90
TS	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.16	0.33
BK	Dolomitik mermer	3	ASTM C568/C568M-15	0.73	1.02
MB2	Mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.12	0.37
MB3	Mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.10	0.34
UB	Mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.11	0.38
OM	Mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.10	0.38
BB	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.36	0.63
BB2	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.08	0.28
ON	Bantlı traverten	2.5 (dış) 2.5 (iç)	ASTM C1527/C1527M-18	0.19	0.44
GR	Gabro	0.4	TS 10834	0.07	0.20
DY	Diyabaz	0.75	TS 5762	0.08	0.13
KM	Kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.15	0.40
RL	Ofikalsit	3	ASTM C568/C568M-15	0.30	0.64
PG	Ofikalsit	3	ASTM C568/C568M-15	0.52	0.99
BG	Granit	0.75	TS 6234	0.31	0.48
SG	Dolomitik kireçtaşı	3	ASTM C568/C568M-15	0.31	0.73
EA	Mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.17	0.43
KY	Dolomitik mermer	0.2	ASTM C503/C503M-15	0.21	0.46

Donma çözünme çevrimleri sonrası elde edilen 46 farklı örnek grubuna ait veriler toplu bir şekilde değerlendirilmiştir. Donma çözünme çevrimleri etkisiyle kayacın değişen fiziksel ve mekanik özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımındaki değişim oranı çok önemli bir parametre olmasından dolayı öne çıkmaktadır. Donma çözünme sonucu kayacın dayanımındaki değişim oranı dona karşı gösterdiği direnci belirlemektedir ve o kayacın özellikle soğuk iklim bölgelerinde kullanımı için aranacak en önemli gösterge olmaktadır. Doğaltaşlarda dona dayanımın belirlenmesinde kullanılan en önemli parametre kayacın tek eksenli basınç dayanımıdır. Bunun yanında eğilme dayanımlarındaki değişimler, dinamik elastisite modülündeki değişimler de ayrıca ele alınabilmektedir. Donma çözünme sonucu kayaçlarda meydana gelen değişimlerin tahmin edilebilmesi ve kayaçların dona dayanımlarına göre sınıflama yapılabilmesi için örneklerin 84 çevrim sonundaki tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerleri kullanılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı kayaçların kullanım ömrünü belirleyen önemli bir parametre olup, taşın dona karşı direncini ortaya koymaktadır. 84 çevrim sonundaki UCS değerinin çevrim öncesi UCS değerine oranı dona dayanım indisi (DDİ) olarak tanımlanmıştır ve 84 çevrim sonunda dona dayanım indisine göre bir sınıflama bu tez çalışması kapsamında önerilmiştir (Tablo 4.10). Dona dayanım indisi (DDİ) değerinin 1'e yakın olması kayacın dona dayanımın yüksek olduğunu ve 0'a yakın olması ise kayacın dona dayanımının düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

Yapılan sınıflamanın sadece 84 donma çözünme çevrimi sonunda değil az sayıda yapılan çevrimler sonunda veya istenilen herhangi bir donma çözünme çevrim sonunda da yapılabilmesi amacıyla 84 çevrim sonunda dona dayanım indisine göre yapılan sınıflandırma ve örneklere ait 4, 7, 10, 14, 20, 28, 35, 56 ve 70 çevrim sonrası hesaplanan dona dayanım indisleri de dikkate alınmıştır. 84 çevrim sonrası dona dayanım olarak çok yüksek grupta yer alan örnekler birlikte değerlendirilmiştir ve bu gruba dahil edilen örneklerin 4, 7, 10, 14, 20, 28, 35, 56, 70 ve 84 çevrim sonrası hesaplanan dona dayanım indisleri dikkate alınarak her çevrim sonundaki o grubun en düşük dona dayanım indis değerleri üzerinden çizilen eğri dona dayanımı çok yüksek olan grubun alt seviyesi olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde diğer gruplara dahil edilen örnekler için de her gruba ait alt sınır belirlenerek kayaçların dona dayanımlarına göre genel bir sınıflama yapılmıştır.

Bu sınıflamada kayaçlar donma çözünme çevrimleri sonrasında dona dayanımlarına göre çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük şeklinde ayrılmıştır. Bu sayede bir kayacın yapılan donma çözünme sonrası tek eksenli basınç dayanımının çevrim öncesi basınç dayanımına oranı belirlenip kayacın dona dayanım açısından sınıflanması sağlanacaktır. Yine donma çözünme deneylerinin zahmetli ve uzun süre alması sebebiyle kayacın sadece donma çözünme çevrimleri öncesi fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate alınarak, yapılan bu sınıflandırmada hangi gruba dahil olabileceği ve sonrasında o grubun istenilen donma çözünme çevrimleri sonundaki fiziksel ve mekanik özelliklerine ait parametrelerin ortalama değerleri görülebilecek ve kayacın donma çözünme çevrimleri sonrası değişimlerinin tahmin edilebilmesine olanak sağlanacaktır.

Tablo 4.10: Örnek gruplarının 84 DÇ sonrası DDİ değerine göre sınıflandırılması ve sınır değerleri.

Tanımlama	**Dona dayanım indisi (84 çevrim sonu) DDİ = UCS_{SON} / $UCS_{İLK}$**
Dona dayanımı çok yüksek	1.00 - 0.90
Dona dayanımı yüksek	0.90 - 0.75
Dona dayanımı orta	0.75 - 0.65
Dona dayanımı düşük	0.65 - 0.60
Dona dayanımı çok düşük	0.00 - 0.60

Tablo 4.10'a göre 84 çevrim sonunda hesaplanan dona dayanım indisine göre diyabaz ve gabro örnek grupları dona karşı çok yüksek dayanıma sahip sınıfta yer almıştır. 84 DÇ sonunda DY (diyabaz) örnek grubu için DDİ değeri 0.92, GR (gabro) örnek grubu için ise 0.90 olarak hesaplanmıştır.

BG (granit), KB (bazalt), MD (dolomit) ile düşük görünür porozite değerine sahip kireçtaşı örnek grupları dona karşı yüksek dayanım gösteren grupta yer almışlardır. Dona karşı yüksek dayanım gösteren grupta yer alan bu örnek grupları için 84 çevrim sonunda hesaplanan DDİ değerleri 0.75 ile 0.83 arasında değişmektedir.

84 donma çözünme sonrası hesaplanan dona dayanım indisi değerleri ile dona karşı orta dayanımlı sınıfa dahil olan kayaç gruplarını yüksek görünür porozite değerine sahip kireçtaşları ve mermerler oluşturmaktadır. Bu örnek grupları için 84 donma çözünme çevrim sonunda hesaplanan DDİ değerleri 0.66-0.73 arasında

değişmektedir. Bu gruptaki kireçtaşları genel olarak içerisinde yer yer dolomitik kristallerden oluşan intraklast parçalar bulunduran ve kılcal damarlar içeren örneklerdir. Bu gruptaki mermerler (MB2, MB3) ise iri tanelidir ve 84 donma çözünme sonrasında UCS değerleri %32 oranında azalmıştır ve DDİ indisi 0.68 olarak hesaplanmıştır.

84 donma çözünme sonrası düşük dayanım indisine sahip yani dona karşı dayanım olarak düşük grupta yer alan kayaç gruplarını genellikle yüksek görünür poroziteye sahip olan travertenler (DT, DT2, DT3, DT4, KT kodlu örnek grupları) ve çevrim öncesi %12.12 görünür porozite değerine sahip olan AL2 (kireçtaşı) ve çevrim öncesi %6.77 görünür porozite değeriyle AL3 (kireçtaşı) oluşturmaktadır. 84 donma çözünme sonunda bu örnek grupları için hesaplanan DDİ değerleri 0.60-0.63 arasında değişmektedir.

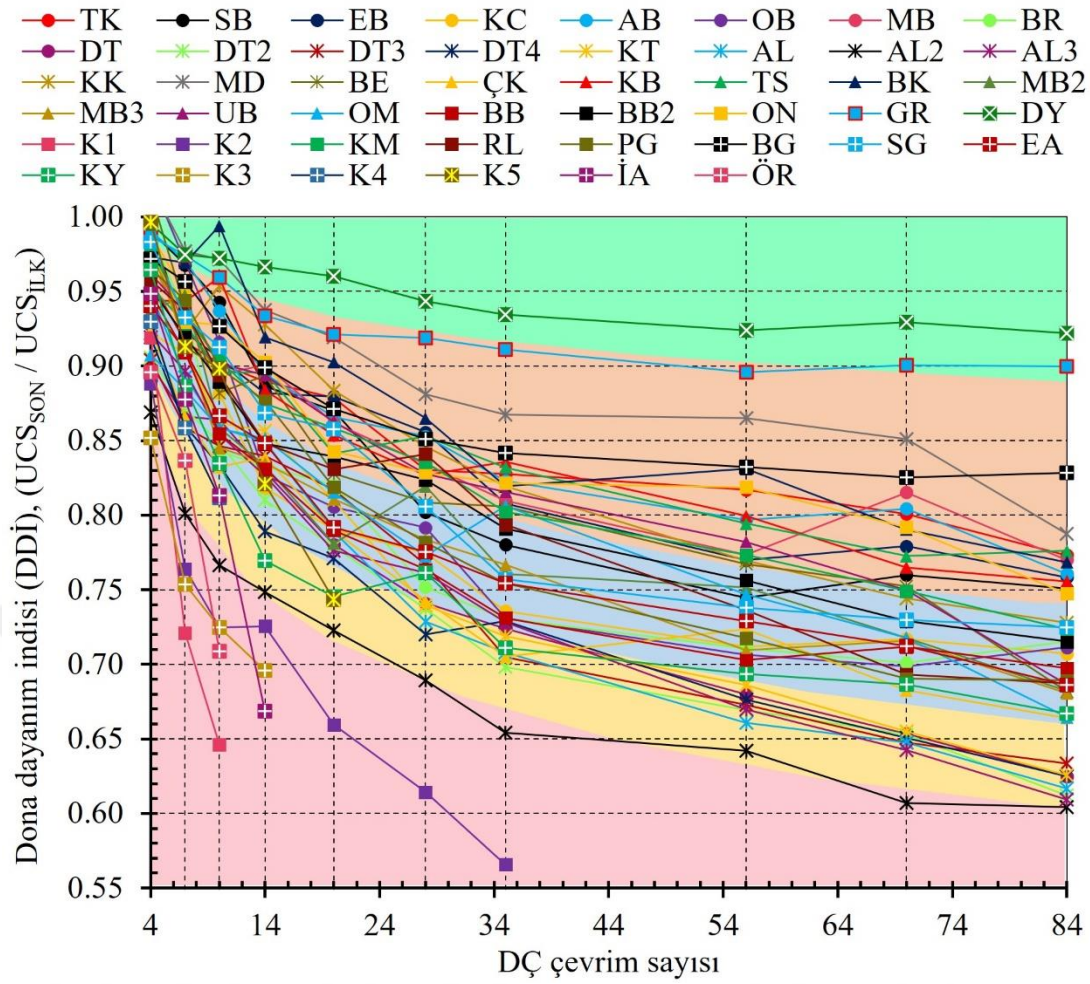
Dona karşı dayanım olarak en düşük dayanımlı sınıfta ise 84 donma çözünme öncesindeki çevrimlerde parçalanan kayaç grupları yani fiziksel bozunmaya neden olan donma çözünmeden en fazla etkilenen tüf (K4, İA kodlu), ignimbirit (K1, K2, K3, K5 kodlu) ve kiltaşı (ÖR kodlu) örnek grubu yer almaktadır.

Tablo 4.10'daki dona dayanım sınıflaması ve her bir sınıfa ait dona dayanım indisi değer aralıkları dikkate alınarak hazırlanan tüm örnek gruplarının 84 çevrim sonrası hesaplanan dona dayanım indisleri (DDİ) ve örneklerin dona dayanım olarak dahil oldukları sınıflar toplu olarak Tablo 4.11'de verilmiştir. Ayrıca her sınıftaki örnekler tek bir kayaç grubu olarak değerlendirildiğinde 84 çevrim boyunca o grubun tüm fiziksel ve mekanik özelliklerine ait ortalama değerler Tablo 4.13'te verilmiştir. Örneklerin dona dayanım indisi değerlerinin donma çözünme çevrimleriyle değişimi Şekil 4.23'te ve dona dayanım indisine göre sınıflamadaki sınırlar ve eşitlikler ise Tablo 4.12'de verilmiştir. Elde edilen bulgular ayrıca Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te grafiksel olarak sunulmuştur.

Tablo 4.11: Örnek gruplarının 84 DÇ sonrası DDİ değerine göre sınıflandırılması ve her sınıftaki örnek grupları.

Kayaç Türü		Çevrim öncesi UCS (MPa)	84 çevrim sonu UCS (MPa)	Dona dayanım indisi $DDİ = UCS_{SON} / UCS_{İLK}$	Dona dayanım
DY	Diyabaz	187.47	172.84	0.92	Çok yüksek
GR	Gabro	147.57	132.80	0.90	Çok yüksek
BG	Granit	101.48	84.06	0.83	Yüksek
MD	Dolomitik mermer	129.32	101.84	0.79	Yüksek
TS	Kireçtaşı	97.61	75.74	0.78	Yüksek
TK	Kireçtaşı	83.80	64.79	0.77	Yüksek
MB	Mermer	73.39	56.52	0.77	Yüksek
BK	Dolomitik mermer	107.43	82.55	0.77	Yüksek
AB	Kireçtaşı	84.81	64.51	0.76	Yüksek
EB	Kireçtaşı	87.48	66.34	0.76	Yüksek
KB	Bazalt	127.36	96.24	0.76	Yüksek
SB	Dolomitik kireçtaşı	147.89	111.03	0.75	Yüksek
ON	Bantlı traverten	86.11	64.36	0.75	Yüksek
KK	Hornfels	112.29	81.75	0.73	Orta
SG	Dolomitik kireçtaşı	78.38	56.80	0.72	Orta
KM	Kireçtaşı	104.43	75.57	0.72	Orta
BR	Kireçtaşı	100.38	71.83	0.72	Orta
BB2	Kireçtaşı	90.01	64.38	0.72	Orta
OB	Kireçtaşı	99.04	70.45	0.71	Orta
KC	Kireçtaşı	99.02	70.02	0.71	Orta
BB	Kireçtaşı	78.28	54.59	0.70	Orta
PG	Ofikalsit	73.36	50.56	0.69	Orta
RL	Ofikalsit	78.02	53.63	0.69	Orta
UB	Mermer	74.48	51.13	0.69	Orta
EA	Mermer	70.95	48.68	0.69	Orta
MB2	Mermer	63.16	43.08	0.68	Orta
BE	Kireçtaşı	77.42	52.78	0.68	Orta
MB3	Mermer	64.33	43.78	0.68	Orta
KY	Dolomitik mermer	63.93	42.64	0.67	Orta
OM	Mermer	65.05	43.24	0.66	Orta
ÇK	Dolomitik mermer	102.15	67.83	0.66	Orta
DT3	Traverten	60.24	38.16	0.63	Düşük
KT	Traverten	56.01	35.05	0.63	Düşük
DT4	Traverten	54.90	34.32	0.63	Düşük
DT	Traverten	58.51	36.56	0.62	Düşük
AL	Kireçtaşı	65.18	40.19	0.62	Düşük
DT2	Traverten	57.55	35.23	0.61	Düşük
AL3	Kireçtaşı	58.30	35.51	0.61	Düşük
AL2	Kireçtaşı	53.02	32.04	0.60	Düşük
*K1	İgnimbirit	15.01	-	-	Çok düşük
*K2	İgnimbirit	17.20	-	-	Çok düşük
*K3	İgnimbirit	33.41	-	-	Çok düşük
*K4	Tüf	16.70	-	-	Çok düşük
*K5	İgnimbirit	12.39	-	-	Çok düşük
*İA	Tüf	11.97	-	-	Çok düşük
*ÖR	Kiltaşı	15.90	-	-	Çok düşük

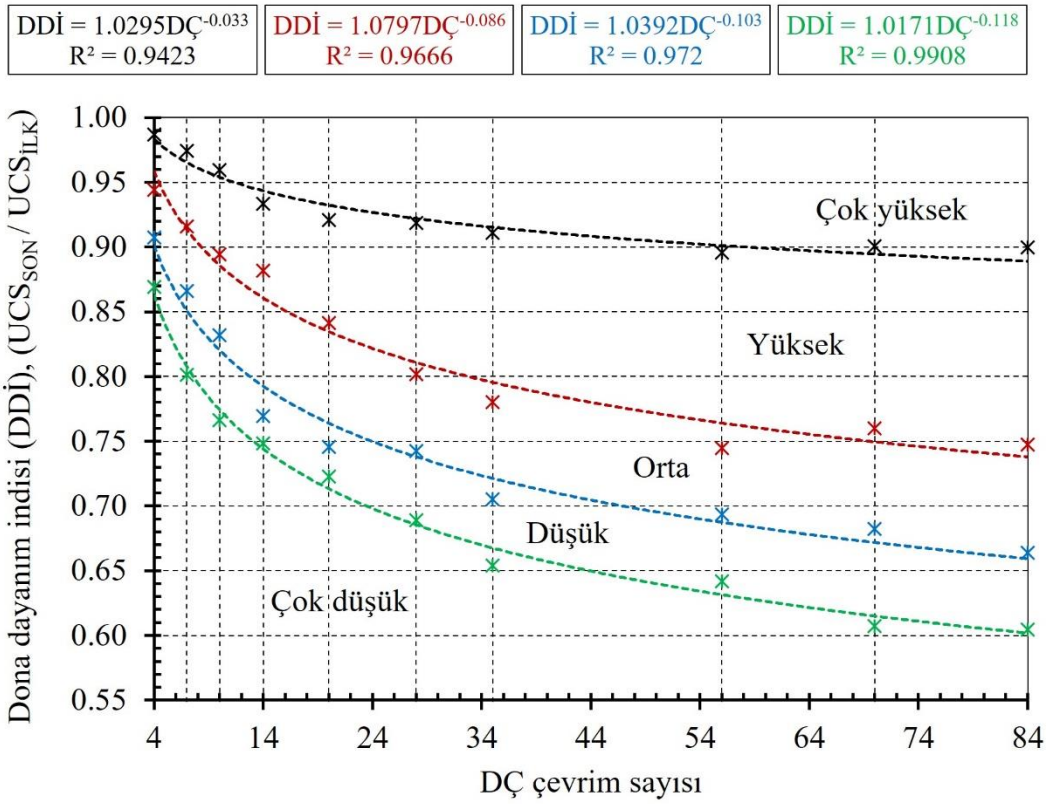
** 84 çevrim öncesinde bozunma gerçekleşmiştir.*



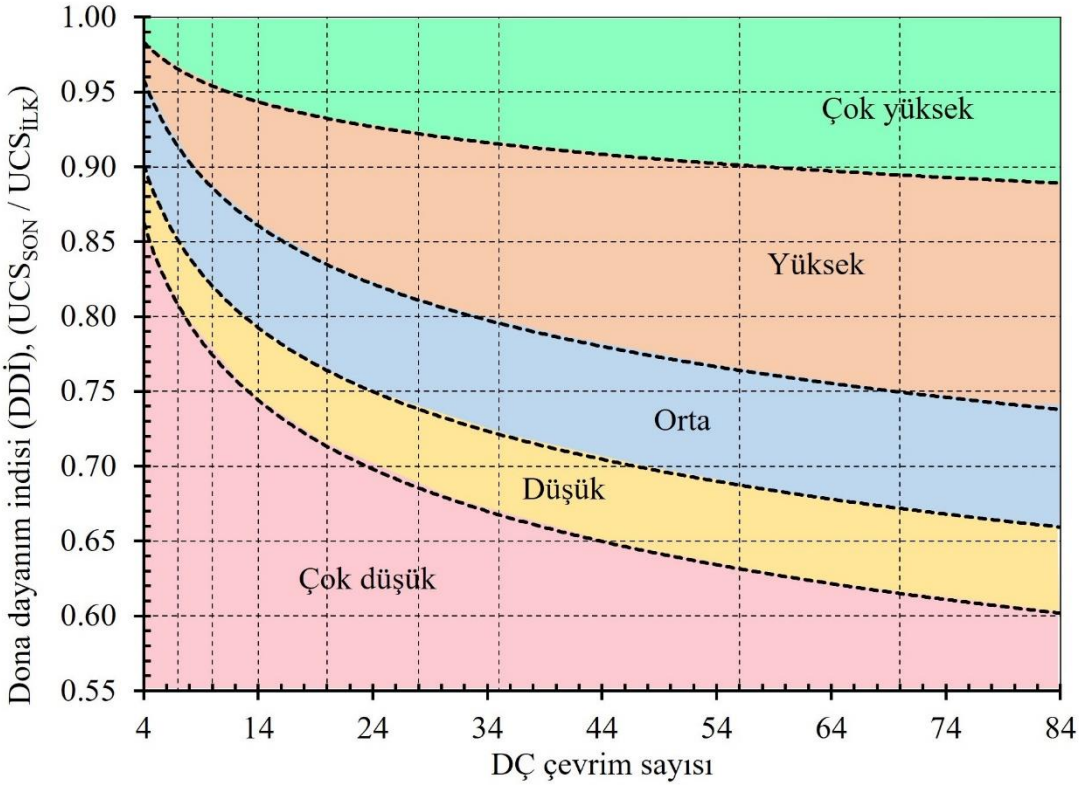
Şekil 4.23: Örneklerin dona dayanım indisi değerlerinin donma çözünme çevrimleriyle değişimi.

Tablo 4.12: Dona dayanım indisine göre sınıflamadaki sınırlar ve eşitlikler.

Dona dayanım indisine göre sınıflamadaki sınırlar	**Eşitlikler**	**R^2**
Çok yüksek-yüksek sınırı	$DDİ = 1.0295DÇ^{-0.033}$	0.9423
Yüksek-orta sınırı	$DDİ = 1.0797DÇ^{-0.086}$	0.9666
Orta-düşük sınırı	$DDİ = 1.0392DÇ^{-0.103}$	0.9720
Düşük-çok düşük sınırı	$DDİ = 1.0171DÇ^{-0.118}$	0.9908



Şekil 4.24: Örneklerin dona dayanım indisine göre sınıflanması ve her sınıfın taban sınırları.

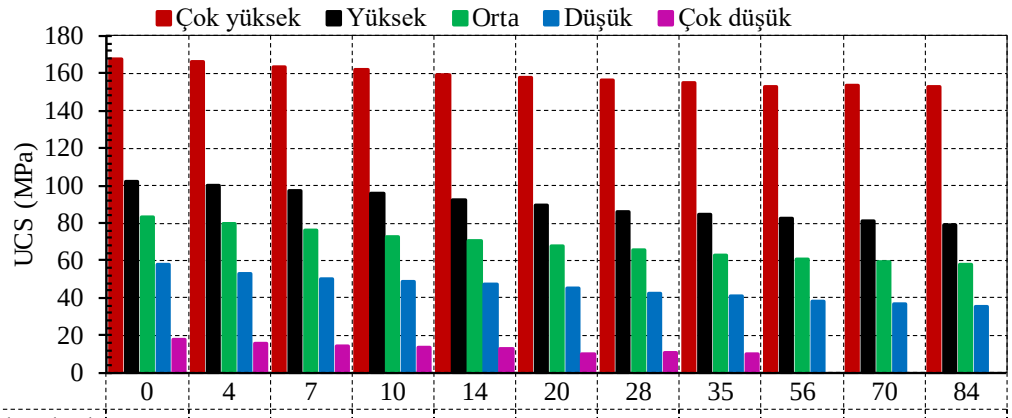


Şekil 4.25: Örneklerin dona dayanım indisine göre sınıflanması.

Tablo 4.13: DDİ değerine göre sınıflandırılan örnek gruplarının DÇ çevrimleri sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerine ait değerler.

	Sınıf	Çevrim sayısı	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	A_w (%)	n (%)	GD (mm)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
DONA DAYANIM DİRENCİ	ÇOK YÜKSEK	0	30.11	30.13	0.07	0.22	13.76	858	6.722	167.52
		4	29.81	29.83	0.09	0.26	13.79	857	6.675	166.15
		7	30.17	30.19	0.09	0.27	13.86	855	6.632	163.25
		10	29.91	29.94	0.10	0.31	13.95	853	6.602	161.92
		14	30.10	30.13	0.11	0.35	14.04	852	6.576	159.47
		20	29.96	30.00	0.12	0.38	14.19	849	6.548	157.97
		28	30.17	30.21	0.13	0.41	14.32	846	6.487	156.21
		35	29.96	30.00	0.14	0.43	14.40	843	6.440	154.79
		56	30.09	30.13	0.15	0.45	14.49	842	6.403	152.69
		70	30.10	30.15	0.15	0.47	14.55	840	6.368	153.57
		84	30.05	30.10	0.17	0.51	14.60	839	6.353	152.82
	YÜKSEK	0	26.79	26.86	0.26	0.71	20.31	708	5.562	102.24
		4	26.85	26.93	0.31	0.86	20.39	703	5.518	100.19
		7	26.83	26.92	0.33	0.91	20.55	699	5.482	97.21
		10	26.87	26.96	0.35	0.95	20.75	697	5.430	95.93
		14	26.82	26.92	0.36	0.99	21.02	694	5.381	92.16
		20	26.86	26.96	0.38	1.03	21.27	692	5.376	89.41
		28	26.86	26.97	0.40	1.09	21.59	688	5.332	86.34
		35	26.86	26.97	0.41	1.13	21.81	684	5.263	84.42
		56	26.80	26.92	0.44	1.20	21.96	681	5.166	82.34
		70	26.83	26.95	0.45	1.24	22.25	679	5.135	81.40
		84	26.80	26.92	0.46	1.26	22.29	677	5.057	78.97
	ORTA	0	26.55	26.62	0.27	0.74	20.03	664	5.625	83.04
		4	26.54	26.62	0.31	0.83	20.22	658	5.555	79.88
		7	26.58	26.67	0.34	0.93	20.39	655	5.501	76.35
		10	26.51	26.61	0.37	0.99	20.61	652	5.454	72.73
		14	26.55	26.66	0.39	1.06	20.82	649	5.410	70.33
		20	26.58	26.69	0.42	1.13	21.09	645	5.346	67.63
		28	26.57	26.69	0.44	1.19	21.46	639	5.291	65.57
		35	26.52	26.65	0.47	1.26	21.67	636	5.254	63.06
		56	26.51	26.64	0.47	1.27	21.84	633	5.196	60.65
		70	26.54	26.68	0.52	1.41	22.07	629	5.138	59.12
		84	26.51	26.65	0.53	1.43	22.28	626	5.102	57.58
	DÜŞÜK	0	23.70	24.22	2.23	5.31	24.46	581	5.389	57.96
		4	23.74	24.27	2.28	5.44	24.80	575	5.328	52.88
		7	23.79	24.33	2.31	5.53	25.08	569	5.285	50.44
		10	23.75	24.31	2.37	5.65	25.47	562	5.190	48.84
		14	23.73	24.30	2.42	5.78	25.68	555	5.156	47.53
		20	23.66	24.25	2.55	6.06	26.00	551	5.088	45.30
		28	23.75	24.36	2.61	6.23	26.10	545	5.044	42.67
		35	23.60	24.24	2.73	6.47	26.41	542	5.016	41.07
		56	23.45	24.12	2.88	6.81	27.02	527	4.916	38.35
		70	23.54	24.21	2.90	6.88	27.20	524	4.809	37.06
		84	23.53	24.20	2.87	6.82	27.58	516	4.762	35.53
	ÇOK DÜŞÜK	0	15.52	18.39	19.58	29.20	39.09	393	2.676	17.56
		4	15.92	18.81	19.29	29.54	39.78	380	2.631	15.92
		7	15.88	18.84	19.62	30.19	40.79	370	2.497	14.61
		10	15.42	18.51	20.99	31.56	42.01	359	2.327	13.80
		14	14.22	17.54	24.39	33.83	43.56	333	2.264	12.57
		20	14.94	18.35	24.16	34.75	40.80	331	2.170	10.28
		28	17.43	20.34	16.69	29.66	32.61	382	2.009	10.56
		35	17.19	20.13	17.10	29.97	32.72	375	1.974	9.73

Dona dayanım direnci çok yüksek olan örnek grupları birlikte değerlendirildiğinde (yani tek bir örnek grubu olarak değerlendirildiğinde) donma çözünme çevrimleri öncesi tek eksenli basınç dayanımı değeri ortalama 167.52 MPa iken 84 çevrim sonrası 152.82 MPa değerine düşmüştür. Dona dayanım direnci yüksek olan örnek grupları birlikte değerlendirildiğinde donma çözünme çevrimleri öncesi tek eksenli basınç dayanımı değeri ortalama 102.24 MPa iken 84 çevrim sonrası 78.97 MPa değerine düşmüştür. Dona dayanım olarak orta dayanımlı kayaç sınıfındaki örnekler tek bir grup olarak değerlendirildiğinde grubun tek eksenli basınç dayanımı değerleri çevrim öncesi ortalama 83.04 MPa iken 84 donma çözünme çevrimi sonunda ortalama 57.58 MPa değerine düşmüştür. Dona dayanım olarak düşük dayanımlı kayaç sınıfında bulunan örnek grupları birlikte değerlendirildiğinde tek eksenli basınç dayanımları değerleri çevrim öncesi ortalama 57.96 MPa iken 84 çevrim sonunda 35.53 MPa değerine düşmüştür. Dona dayanımları çok düşük olan örnek gruplarında ise en fazla 35 donma çözünme çevrimi gerçekleştirilmiştir ve bu örnek grupları birlikte değerlendirildiğinde tek eksenli basınç dayanımları çevrim öncesinde ortalama 17.56 MPa iken 35 donma çözünme çevrimi sonrasında 9.73 MPa değerine düşmüştür (Şekil 4.26).

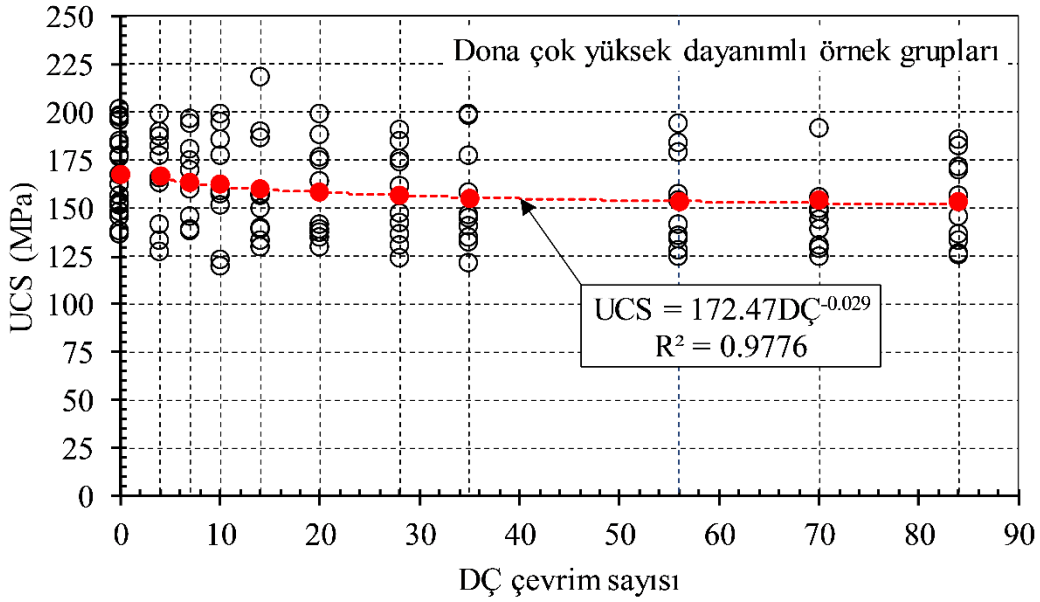


	0	4	7	10	14	20	28	35	56	70	84
Çok yüksek	167.52	166.15	163.25	161.92	159.47	157.97	156.21	154.79	152.69	153.57	152.82
Yüksek	102.24	100.19	97.21	95.93	92.16	89.41	86.34	84.42	82.34	81.40	78.97
Orta	83.04	79.88	76.35	72.73	70.33	67.63	65.57	63.06	60.65	59.12	57.58
Düşük	57.96	52.88	50.44	48.84	47.53	45.30	42.67	41.07	38.35	37.06	35.53
Çok düşük	17.56	15.92	14.61	13.80	12.57	10.28	10.56	9.73			

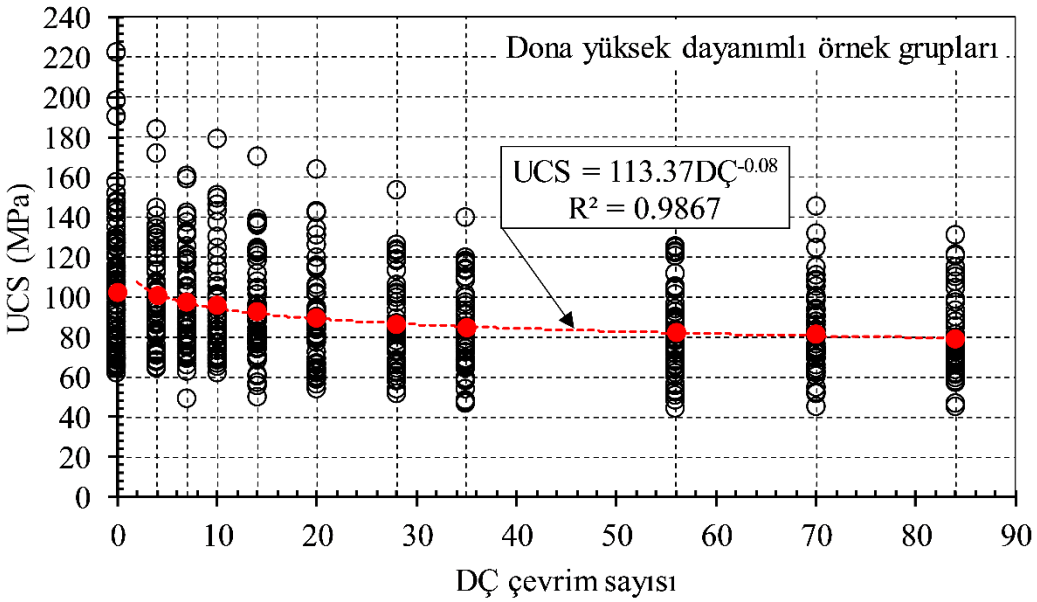
DÇ Çevrim sayısı

Şekil 4.26: Dona dayanım indisine göre sınıflanması yapılan örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi.

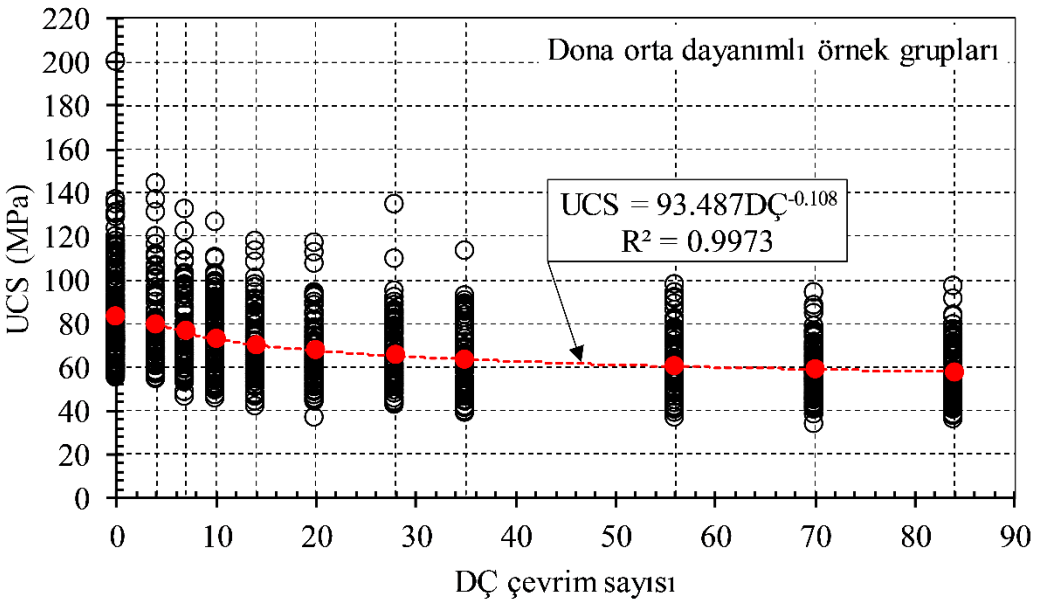
Çalışılan 46 farklı örnek grubu dona dayanım indisine göre sınıflandırılmış ve her sınıfa dahil olan örnek grupları birlikte değerlendirilmiştir. Her sınıfa dahil olan örnek gruplarında artan donma çözünmeyle birlikte tek eksenli basınç dayanımı değişimi belirlenmiş ve grafiksel olarak sunulmuştur (Şekil 4.27-4.31). Donma çözünme çevrimleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki eşitlik olarak verilmiştir. Dona dayanım indisine göre sınıflandırılan örnek gruplarının tek eksenli basınç dayanımları ile donma çözünme çevrimleri arasındaki belirlenen eşitlikler Tablo 4.14'te verilmiştir. Bu sayede doğaltaşların istenilen donma çözünme çevrimleri sonrasındaki tek eksenli basınç dayanımındaki değişimler önceden tahmin edilebilecektir. Kayaca ait donma çözünme öncesi belirlenen fiziksel ve mekanik parametrelerden öncelikle bu çalışmada belirlenen sınıflardan hangisine dahil olacağı belirlenmelidir. Sonrasında o sınıfa ait belirlenen denklem kullanılarak kayacın donma çözünme sonrası tek eksenli basınç dayanımı tahmin edilebilecektir ve dona dayanım indisi belirlenebilecektir. Sonuçta yapılması uzun süren ve zahmetli olan donma çözünme deneyleri yapılmadan ya da az sayıda çevrimlerle yapılan donma çözünme deneyleri ile doğaltaşların dona dayanım açısından sınıflanabilmesi yapılabilecektir.



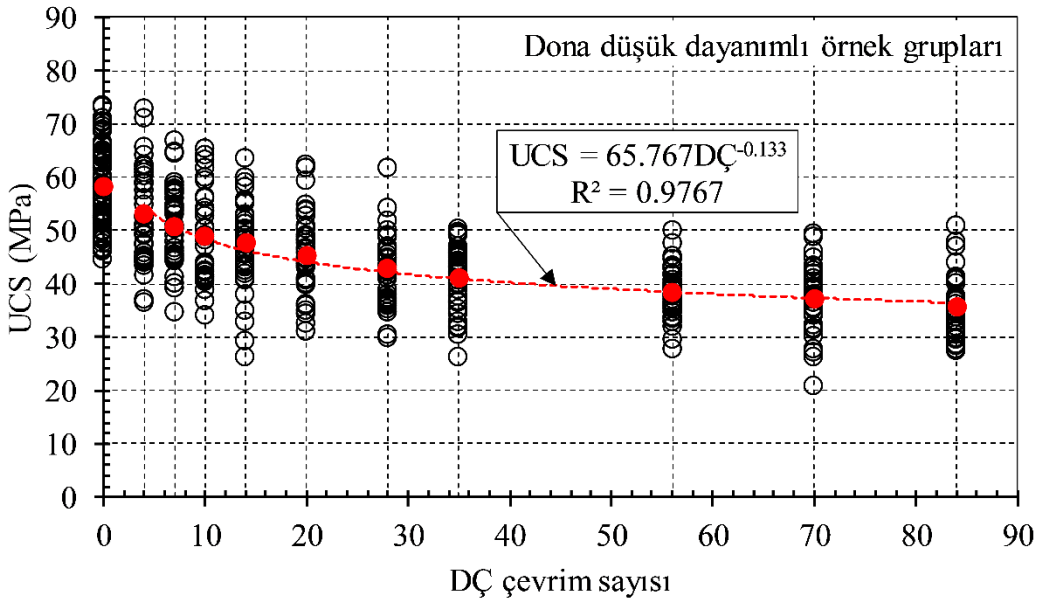
Şekil 4.27: Dona çok yüksek dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi.



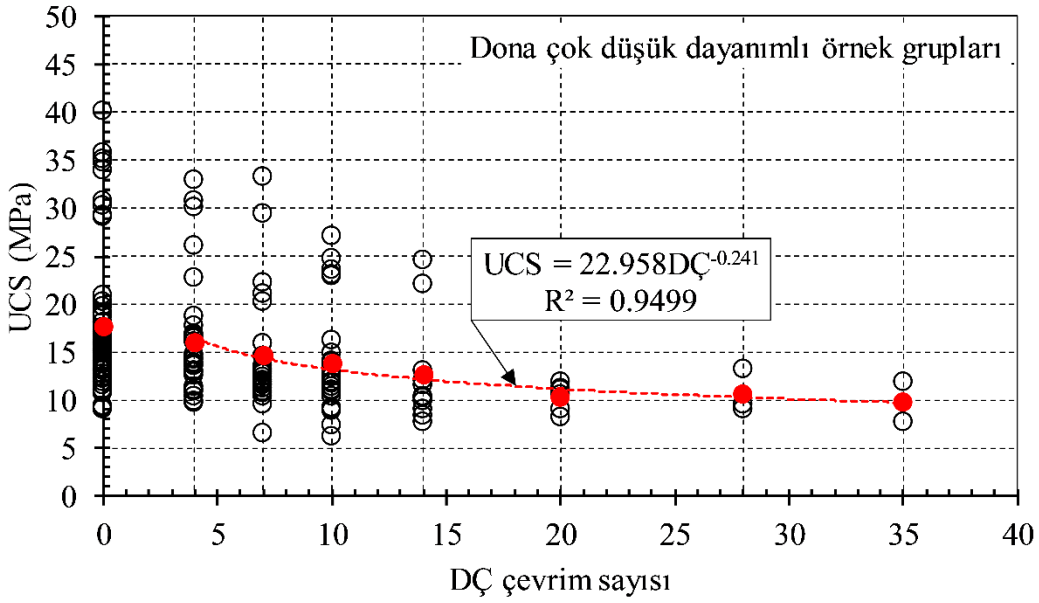
Şekil 4.28: Dona yüksek dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi.



Şekil 4.29: Dona orta dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi.



Şekil 4.30: Dona düşük dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi.



Şekil 4.31: Dona çok düşük dayanımlı örnek gruplarının donma çözünme çevrimleriyle tek eksenli basınç dayanımlarının değişimi.

Tablo 4.14: DDİ değerine göre sınıflandırılan örnek gruplarında UCS ile DÇ arasındaki eşitlikler.

Örnek grupları	**Eşitlikler**	**R^2**
Dona çok yüksek dayanımlı örnek grupları	$UCS = 172.47DÇ^{-0.029}$	0.9776
Dona yüksek dayanımlı örnek grupları	$UCS = 113.37DÇ^{-0.08}$	0.9867
Dona orta dayanımlı örnek grupları	$UCS = 93.487DÇ^{-0.108}$	0.9973
Dona düşük dayanımlı örnek grupları	$UCS = 65.767DÇ^{-0.133}$	0.9767
Dona çok düşük dayanımlı örnek grupları	$UCS = 22.958DÇ^{-0.241}$	0.9499

Tüm örnek gruplarının donma çözünme çevrimleri sonrası kontrol parametrelerine ait değerleri toplu olarak EK A'da verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, doğaltaş sektöründe kullanılan farklı kayaç türlerinin donma çözünme karşısındaki davranış şekillerini ortaya koymak ve elde edilen fiziksel ve mekanik parametrelerin değişimlerini izlemek ve değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Donma çözünme deneyleri ile kayaçlarda meydana gelen fiziksel ve mekanik özellik değişimleri kayacın türüne ve çevrim sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışma Türkiye'nin farklı lokasyonlarından alınan kireçtaşı, mermer, dolomit, traverten, hornfels, gabro, granit, bazalt, diyabaz, kiltaşı, ignimbirit ve tüf gibi 46 tür geniş örnek grubu üzerinde yapılmıştır. Donma çözünme deneyleri 4, 7, 10, 14, 20, 28, 35, 56, 70 ve 84 çevrim olarak uygulanmış ve her çevrim sonrası kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve değerlendirilmiştir.

Örnekleme yapılan 46 farklı kayaç grubunun 84 donma çözünme çevrimi sonrası görünür porozite değeri artışı %0.16 ile en az MD (dolomitik mermer) örneğinde ve %2.89 ile en fazla artış ise ÖR (kiltaşı) örneğinde gözlenmiştir. Ağırlıkça su emme oranı ise 84 donma çözünme çevrimi sonrasında ortalama %0.06 artış ile en az DY (diyabaz) örneğinde ve en fazla artış ise 20 donma çözünme çevrim sonrası tamamen bozunmuş olan K5 (ignimbirit) örneğinde gözlenmiştir ve ağırlıkça su emme oranı %1.44 artmıştır. Donma çözünme çevrim sayısındaki artışa bağlı olarak artış gösteren bir diğer parametre ise geniş disk aşınma değeri (GD) olup 84 donma çözünme çevrim sonrası örneklerin geniş disk aşınma değerlerindeki artış miktarının ortalama olarak DY (diyabaz) örneğine ait 0.7 mm ile K2 (ignimbirit) örneğine ait 3.56 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Örneklerin geniş disk aşınma değerlerindeki artışın özellikle görünür porozitenin belirgin olarak arttığı 35 donma çözünme çevrimi boyunca gerçekleştiği sonrasında artışın azalarak devam ettiği tespit edilmiştir. Bu durum kayaçlardaki donma çözünme ile gelişen bozunmanın yüzeyden içe doğru olmasından kaynaklanmaktadır. Kayaçlar artan görünür poroziteleri sonucu donma çözünmeden büyük oranda etkilenmiş ve taneler arasındaki bağ kuvveti zayıflayarak yüzey kısımları aşınmaya karşı daha eğilimli duruma gelmiştir.

DÇ çevrimlerinin artışı ile örneklerin HL_D, V_P ve UCS değerlerinde azalım olduğu belirlenmiştir. Örneklerin V_P değerindeki azalımın oransal olarak BR (mikritik kireçtaşı) örneğine ait %1.8 ile MB2 (mermer) örneğine ait %19.65 arasında değiştiği, HL_D değerlerindeki azalımın ise DY (diyabaz) örneğine ait %1.85 ile AL2 (kireçtaşı) örneğine ait %13.10 arasında olduğu belirlenmiştir. Örneklerin 84 donma çözünme sonrası UCS değerleri de ortalama %7.80 ile %43.43 arasında bir azalım göstermiştir. UCS değerindeki azalım oranı (%7.80) en az olan DY (diyabaz) örneğinin donma çözünme çevrim öncesi ortalama 187.47 MPa olan UCS değeri, 84 donma çözünme çevrim sonrası ortalama 172.84 MPa değerine düşmüştür. K2 (ignimbirit) örneğinin ise donma çözünme çevrimleri öncesi ortalama 17.20 MPa olan UCS değeri, 35 donma çözünme çevrim sonunda %43.43 oranında bir azalımla 9.73 MPa değerine düşmüştür.

Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine ait parametrelerde gözlenen değişimler kayaçların doğaltaş olarak kullanımlarında büyük etki göstermektedir. İncelemelerde literatürde sıklıkla kullanılan sınıflandırmalar ve standartlar tarafından öngörülen değerler ele alınmıştır. Kayaçların 84 çevrim sonrası tek eksenli basınç dayanımı ve kuru birim hacim ağırlık değerleri azalmış olup, ağırlıkça su emme oranı ise artmıştır. Örneklerin bu değişimler sonundaki değerlerinin ASTM ve TS standardı tarafından farklı kayaç türleri için önerilen sınır değerlerini sağlayıp sağlamadığı belirlenmiştir. Çalışılan örnek gruplarının birçoğu çok düşük görünür porozite değerine sahip olmaları bakımdan donma çözünmeden büyük ölçüde etkilenmemişlerdir. Bu durum, donma çözünmede görünür porozitenin en etkili parametrelerden biri olduğunu ortaya koymuştur. Görünür porozite oranı yüksek olan tüf, ignimbirit ve kiltaşı gibi örnek gruplarında ise artan donma çözünmeyle birlikte örneklerde parçalanmalar gözlenmiştir. Bu durum bu özellikteki kayaçların dona karşı dayanımlarının zayıf olduğunu göstermektedir. Ayrıca tüm kayaç grupları için değerlendirmek gerekirse yapılan çalışma kayaç malzemeleri üzerinde yapılmıştır. Bu açıdan arazide uygulama esnasında kayaç kütlelerinde süreksizliklerin olabileceği ve kayaçta donma çözünme etkisinin değişebileceği unutulmamalıdır.

Doğaltaşlarda kullanım yeri ve seçiminde UCS değeri belirleyici bir parametre olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında UCS değerleri dona dayanım indisi kapsamında değerlendirilmiştir. Kayaçların dona dayanım indisi

(DDİ) donma çözünme sonrası tek eksenli basınç dayanımı değerinin (UCS_{SON}) donma çözünme öncesi tek eksenli basınç dayanımı değerine ($UCS_{İLK}$) oranlanması ile belirlenmiştir. DDİ değerinin 1'e yakın olması kayacın dona dayanımın yüksek ve 0'a yakın olması ise düşük olduğunu ortaya koymaktadır. 84 çevrim sonunda kayaçlar dona dayanım indisi değerine göre sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflamanın sadece 84 donma çözünme çevrimi sonunda değil az sayıda yapılan çevrimler sonunda veya istenilen herhangi bir donma çözünme çevrim sonunda da yapılabilmesi amacıyla 84 çevrim sonunda dona dayanım indisine göre yapılan sınıflandırma 4, 7, 10, 14, 20, 28, 35, 56 ve 70 çevrim sonrasında da yapılmıştır. Literatürde kayaçların donma çözünme çevrimleriyle elde edilen dayanım değerlerine göre ortaya konulmuş bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında amaçlanan ve gerçekleştirilen sınıflama ile kayaçlar donma çözünme çevrimleri sonrasında dona dayanımlarına göre 'çok yüksek', 'yüksek', 'orta', 'düşük' ve 'çok düşük' şeklinde ayrılmıştır.

Doğaltaş olarak kullanılan kayaçlar üzerinde donma çözünme etkisinin araştırılması için bundan sonra yapılacak benzeri çalışmalarda sadece çevrim sonrası değerlerin sayısal olarak ifade edilmesi değil, sonuçların standartlar ve önerilmiş sınıflandırmalarla birlikte değerlendirilmesi yoluyla daha doğru doğaltaş seçimi yapılabilecektir. Bu yolla, ekonomik katkı ve sınırlı doğaltaş rezervlerinin daha etkin kullanımı sağlanacaktır.

6. KAYNAKLAR

Akbulut, Z. F., "Investigation of the change in physical, mechanical, and microstructural properties of Ahlat ignimbrites under the effect of environment and freeze-thawing", *Arabian Journal of Geosciences*, 15(6), 1-11, (2022).

Akın, M., Özvan, A., Dinçer, İ. and Topal, T., "Evaluation of the physico-mechanical parameters affecting the deterioration rate of Ahlat ignimbrites (Bitlis, Turkey)", *Environmental Earth Sciences, 76*(24), 1-22, (2017).

Alpar, R., *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler*, Ankara: Detay Yayıncılık, (2011).

Altındağ, R. ve Alyıldız, I. S., "Donma-Çözülme Periyotlarının Tüfün (Isparta-Dereboğazı) Fiziko-Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi", 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, *13*(14), 255-262, (2004).

Amirkiyaei, V., Ghasemi, E. and Faramarzi, L., "Determination of P-wave velocity of carbonate building stones during freeze–thaw cycles", *Geotechnical and Geological Engineering*, *38*(6), 5999-6009, (2020).

Amirkiyaei, V., Ghasemi, E. and Faramarzi, L., "Estimating uniaxial compressive strength of carbonate building stones based on some intact stone properties after deterioration by freeze–thaw", *Environmental Earth Sciences*, *80*(9), 1-11, (2021).

Anon, O. H., "Classification of rocks and soils for engineering geological mapping Part 1: rock and soil materials", *Bull Int Assoc Eng Geol*, 19(1), 364-437, (1979).

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

Aral, İ. F., Boy, R. and Dinçer, A. R., "Effects of freeze-thawing cycles on the physical and mechanical properties of basaltic and dolomitic rocks evaluated with a decay function model", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *80*(4), 2955-2962, (2021).

ASTM C503/C503M-15, “Standard specification for marble dimension stone”, (2015).

ASTM C568/C568M-15, “Standard Specification for Limestone Dimension Stone”, ASTM International, West Conshohocken, 2p, (2015).

ASTM C1527/C1527M-18, “Standard Specification for Travertine Dimension Stone”, USA: ASTM International (2018).

ASTM D5312, “Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions”, ASTM International, West Conshohocken, 7p, (2021).

Bayram, F., “Predicting mechanical strength loss of natural stones after freeze–thaw in cold regions”, *Cold Regions Science and Technology*, *83*, 98-102, (2012).

Binal, A., Kasapoglu, K.E. and Gökçeoğlu, C., “The surficial physical deterioration behaviour of Neogene volcano sedimentary rocks of Eskisehir-Yazilikaya, NW-Turkey”, *In Engineering geology and the environment, Proc. symposium*, Athens, Vol. 3, (1997).

Ceylan, H., “Freeze-thaw Cycles Isparta Andesite Stone Effect of the PhysicoMechanical Properties”, *SDU Journal of Technical Sciences*, *6*(2), 7-12, (2016).

Chang, Z., Zhang, W., Zhao, G., Dong, F. and Geng, X., “Aging Stability Analysis of Slope Considering Cumulative Effect of Freeze-Thaw Damage-A Case Study”, *Minerals*, *12*(5), 598, (2022).

Chen, T. C., Yeung, M. R. and Mori, N., “Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze-thaw action”, *Cold Regions Science and Technology*, *38*(2-3), 127-136, (2004).

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

Crosta, G., “Slake durability vs ultrasonic treatment for rock durability determinations”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, *35*(6), 815-824, (1998).

Çakar, T. ve Kapur, S., “Likenlerin Karatepe Aslantaş Açık Hava Müzesi Bazaltik Kayaç Eserler Üzerindeki Ayrışmaya/Bozunmaya Etkisi”, Yüksek

Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Arkeometri Anabilim Dalı*, Adana, (2009).

Çelik, M. Y., "Water absorption and P-wave velocity changes during freeze–thaw weathering process of crosscut travertine rocks", *Environmental Earth Sciences*, *76*(12), 1-17, (2017).

Çobanoğlu, İ. and Çelik, S. B., "Determination of strength parameters and quality assessment of Denizli travertines (SW Turkey)", *Engineering Geology*, *129*, 38-47, (2012).

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

Çelik, S. B. and Çobanoğlu, İ., "Comparative investigation of Shore, Schmidt, and Leeb hardness tests in the characterization of rock materials", *Environmental earth sciences*, 78(18), 1-16, (2019).

Dağ, S., Alemdağ, S. and Kaya, A., "The effects of freeze-thaw cycles and block size on the use of the Gümüşhane Granitoid (Gümüşhane/Turkey) as building stone", *Arabian Journal of Geosciences*, 14(15), 1-14, (2021).

Demirdag, S., "Effects of freezing–thawing and thermal shock cycles on physical and mechanical properties of filled and unfilled travertines", *Construction and Building Materials*, *47*, 1395-1401, (2013).

Deng, X., Zhang, Y., Wang, R. and Yuan, D., "Study on mechanical properties and damage mechanism of strongly weathered gneiss under freeze–thaw cycles", *Arabian Journal of Geosciences*, *15*(5), 1-15, (2022).

Deprez, M., De Kock, T., De Schutter, G. and Cnudde, V., "The role of ink-bottle pores in freeze-thaw damage of oolithic limestone", *Construction and Building Materials*, *246*, 118515, (2020).

DLT 5368, "Code for rock tests of hydroelectric and water conservancy engineering", Electric Power Press, China, Vol. 11-12, pp 18-19, (2007).

Earle, S., *Physical geology*, BCcampus, (2015).

EN 12371, "Natural stone test methods - Determination of frost resistance", European standard, 15pp, (2010).

Eslami, J., Walbert, C., Beaucour, A. L., Bourges, A. and Noumowe, A., "Influence of physical and mechanical properties on the durability of limestone subjected to freeze-thaw cycles", *Construction and Building Materials*, *162*, 420-429, (2018).

Fan, L., Xu, C. and Wu, Z., "Effects of cyclic freezing and thawing on the mechanical behavior of dried and saturated sandstone", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *79*(2), 755-765, (2020).

Freire-Lista, D. M., Fort, R. and Varas-Muriel, M. J., "Freeze–thaw fracturing in building granites", *Cold Regions Science and Technology*, *113*, 40-51, (2015).

Fener, M. and İnce, İ., "Effects of the freeze–thaw (F-T) cycle on the andesitic rocks (Sille-Konya/Turkey) used in construction building*", Journal of African Earth Sciences*, 109, 96-106, (2015).

Ghobadi, M. H. and Babazadeh, R. "An investigation on the effect of accelerated weathering on strength and durability of Tertiary sandstones (Qazvin province, Iran)", *Environmental Earth Sciences*, *73*(8), 4237-4250, (2015).

Guler, S., Türkmenoğlu, Z. F. and Varol, O. O., "Thermal shock and freeze-thaw resistance of different types of carbonate rocks", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, *137*, 104545, (2021).

Hashemi, M., Bashiri Goudarzi, M. and Jamshidi, A., "Experimental investigation on the performance of Schmidt hammer test in durability assessment of carbonate building stones against freeze-thaw weathering", *Environmental Earth Sciences*, *77*(19), 1-15, (2018).

Huang, S., He, Y., Yu, S. and Cai, C., "Experimental investigation and prediction model for UCS loss of unsaturated sandstones under freeze-thaw action", *International Journal of Mining Science and Technology*, *32*(1), 41-49, (2022).

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

İGM (İhracat Genel Müdürlüğü), "Doğal Taşlar Sektör Raporu", Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, (2021).

İMİB (İstanbul Maden İhracatçıları Birliği), “2021 Yılı Çalışma Raporu”, (2021).

İnce, İ., “Effects of freeze-thaw cycles on engineering parameters of rocks”, Selçuk University PhD thesis (In Turkish), (2013).

Jamshidi, A., Nikudel, M. R. and Khamehchiyan, M., “Predicting the long-term durability of building stones against freeze-thaw using a decay function model”, *Cold Regions Science and Technology*, 92, 29-36, (2013).

Jamshidi, A., Nikudel, M. R. and Khamehchiyan, M., “Estimating the engineering properties of building stones after freeze-thaw using multiple regression analysis”, *Iranian Journal of Science and Technology*, 39(A2), 147, (2015).

Jiang, H., Li, K. and Jin, J., “The variation characteristics of micro-pore structures of underground rocks in cold regions subject to freezing and thawing cycles”, *Arabian Journal of Geosciences*, *13*(1), 1-7, (2020).

Karaca, Z., Deliormanli, A. H., Elci, H. and Pamukcu, C., “Effect of freeze-thaw process on the abrasion loss value of stones”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, *47*(7), 1207-1211, (2010).

Khanlari, G., Sahamieh, R. Z. and Abdilor, Y., “The effect of freeze-thaw cycles on physical and mechanical properties of Upper Red Formation sandstones, central part of Iran”, *Arabian Journal of Geosciences*, *8*(8), 5991-6001, (2015).

Kolay, E., “Modeling the effect of freezing and thawing for sedimentary rocks”, *Environmental Earth Sciences*, *75*(3), 1-12, (2016).

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

Liu, Y., Cai, Y., Huang, S., Guo, Y. and Liu, G., “Effect of water saturation on uniaxial compressive strength and damage degree of clay-bearing sandstone under freeze-thaw”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *79*(4), 2021-2036, (2020).

Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Gomez-Heras, M., Marco-Castaño, L. and García-del-Cura, M. Á., “Non-linear decay of building stones during freeze-thaw weathering processes”, *Construction and Building Materials*, *38*, 443-454, (2013).

Meulenkamp, F. and Grima, M. A., "Application of neural networks for the prediction of the unconfined compressive strength (UCS) from Equotip hardness", *International Journal of rock mechanics and mining sciences*, 36(1), 29-39, (1999).

Momeni, A., Abdilor, Y., Khanlari, G. R., Heidari, M. and Sepahi, A. A., "The effect of freeze–thaw cycles on physical and mechanical properties of granitoid hard rocks", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *75*(4), 1649-1656, (2016).

Mutlutürk, M., Altindag, R. and Türk, G., "A decay function model for the integrity loss of rock when subjected to recurrent cycles of freezing-thawing and heating-cooling", *International journal of rock mechanics and mining sciences*, *41*(2), 237-244, (2004).

Öcal, A. D. ve Dal, M., *Doğal taşlardaki bozunmalar*, İstanbul: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, (2012).

Özbek, A., "Investigation of the effects of wetting-drying and freezing-thawing cycles on some physical and mechanical properties of selected ignimbrites", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 595-609, (2014).

Park, K., Kim, K., Lee, K. and Kim, D., "Analysis of effects of rock physical properties changes from freeze-thaw weathering in Ny-Ålesund region: Part 1-Experimental study", *Applied Sciences*, *10*(5), 1707, (2020).

Ruedrich, J., Kirchner, D. and Siegesmund, S., "Physical weathering of building stones induced by freeze–thaw action: a laboratory long-term study", *Environmental Earth Sciences*, *63*(7), 1573-1586, (2011).

Sarici, D. E. and Ozdemir, E., "Determining point load strength loss from porosity, Schmidt hardness, and weight of some sedimentary rocks under freeze-thaw conditions", *Environmental earth sciences*, *77*(3), 1-9, (2018).

Sengün, N., Altindag, R., Mutlutürk, M., Karagüzel, R. and Kistir, R., "The effect of freezing-thawing cycles on physical and mechanical properties of limestones", *Suleyman Demirel Univ J Inst Sci Technol*, *12*, 128-134, (2008).

Siegesmund, S. and Török, Á., "Building stones", In Stone in Architecture, (pp. 11-95). Springer, Berlin, Heidelberg, (2011).

Sun, Q., Dong, Z. and Jia, H., "Decay of sandstone subjected to a combined action of repeated freezing-thawing and salt crystallization", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *78*(8), 5951-5964, (2019).

Takarli, M. and Prince, W., "Permeability and P-wave velocity change in granitic rocks under freeze-thaw cycles", *Geomechanics and Geoengineering: An International Journal*, *2*(3), 227-234, (2007).

Tan, X., Chen, W., Yang, J. and Cao, J., "Laboratory investigations on the mechanical properties degradation of granite under freeze-thaw cycles", *Cold Regions Science and Technology*, *68*(3), 130-138, (2011).

Tarhan, F., *Mühendislik Jeolojisi Prensipleri*, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, (2002).

Török, Á. and Szemerey-Kiss, B., "Freeze-thaw durability of repair mortars and porous limestone: compatibility issues", *Progress in Earth and Planetary Science*, *6*(1), 1-12, (2019).

TS EN 12371, "Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Dona dayanım tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 8p, (2011).

TS EN 1926, "Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Tek eksenli basınç dayanımı tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 17p, (2013).

TS EN 1936, "Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10p, (2010).

TS EN 13755, "Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Atmosfer basıncında su emme tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 8p, (2014).

TS EN 14579, "Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Ses hızı ilerlemesinin tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 13p, (2015).

TS EN 14157, "Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Aşınma direncinin tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 19p, (2017).

TS EN 12670, "Doğaltaşlar-Terimler ve Tarifler", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 116p, (2019).

TS 699, "Tabii yapı taşları-Muayene ve deney metotları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 84p, (1987).

TS 10834, “Gabro-Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 13p, (2019).

TS 5762, “Diyabaz-Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10p, (2019).

TS 6234, “Granit-Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 9p, (2019).

Uğur, İ. and Toklu, H. Ö., “Effect of multi-cycle freeze-thaw tests on the physico-mechanical and thermal properties of some highly porous natural stones”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *79*(1), 255-267, (2020).

UNE EN 12371, “Natural stone test methods-Determination of frost resistance”, 18p, (2011).

Wang, Y., Zhang, B., Gao, S. H. and Li, C. H., “Investigation on the effect of freeze-thaw on fracture mode classification in marble subjected to multi-level cyclic loads”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, *111*, 102847, (2021).

Verwaal, W. and Mulder, A., “Estimating rock strength with the Equotip hardness tester”, *In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* (Vol. 30, No. 6, pp. 659-662), Elsevier Science, (1993).

Yavuz, A. B., “Durability assessment of the Alaçatı tuff (Izmir) in western Turkey”, *Environmental Earth Sciences*, 67(7), 1909-1925, (2012).

Yavuz, H., Altindag, R., Sarac, S., Ugur, I. and Sengun, N., “Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze-thaw and thermal shock weathering”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, *43*(5), 767-775, (2006).

Yavuz, H., “Effect of freeze-thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite stone”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70(2), 187-192, (2011).

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

Yilmaz, N. G. and Goktan, R. M., “Comparison and combination of two NDT methods with implications for compressive strength evaluation of selected masonry and building stones”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(6), 4493-4503, (2019).

Zappia, G., Sabbioni, C., Riontino, C., Gobbi, G. and Favoni, O., “Exposure tests of building materials in urban atmosphere”, *Science of the total environment*, *224*(1-3), 235-244, (1998).

Zhang, J., Deng, H., Deng, J. and Guo, H., “Influence of freeze-thaw cycles on the degradation of sandstone after loading and unloading”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *79*(4), 1967-1977, (2020).

EKLER

7. EKLER

EK A Tüm Örnek Gruplarının DÇ Çevrimleri Sonrası Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Ait Değerler

Tablo A.1: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K2 örnek grubu).

Kod: K2 DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	GD (mm)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	14.86	26.16	17.03	19.82	26.49	384	2.183	14.93
	Max	16.43	28.51	17.46	20.09	31.00	463	2.394	20.24
	Ort.	**15.77**	**27.67**	**17.22**	**19.93**	**29.15**	**424**	**2.285**	**17.20**
	SS	0.47	0.66	0.13	0.09	1.56	24	0.058	1.66
4	Min	15.42	27.54	17.25	20.05	28.86	367	2.167	13.46
	Max	16.29	28.65	17.52	20.22	30.52	464	2.270	16.64
	Ort.	**15.92**	**28.14**	**17.34**	**20.10**	**29.85**	**415**	**2.220**	**15.27**
	SS	0.30	0.40	0.09	0.06	0.62	33	0.038	1.18
7	Min	15.88	28.18	17.26	20.04	28.52	373	2.122	11.44
	Max	16.35	28.78	17.41	20.18	32.13	444	2.247	15.79
	Ort.	**16.08**	**28.43**	**17.34**	**20.13**	**30.48**	**409**	**2.191**	**13.14**
	SS	0.17	0.24	0.06	0.05	1.43	25	0.045	1.53
10	Min	15.48	27.86	17.15	20.06	29.59	358	2.082	11.05
	Max	17.16	29.99	17.66	20.39	32.17	426	2.191	16.14
	Ort.	**16.32**	**28.85**	**17.35**	**20.18**	**31.17**	**401**	**2.121**	**12.46**
	SS	0.56	0.71	0.18	0.12	0.88	25	0.039	1.86
14	Min	15.99	28.65	17.33	20.20	30.52	394	2.032	11.98
	Max	16.55	29.23	17.58	20.39	32.84	397	2.152	12.98
	Ort.	**16.27**	**28.94**	**17.45**	**20.29**	**31.68**	**395**	**2.092**	**12.48**
	SS	0.28	0.29	0.12	0.09	1.16	2	0.060	0.50
20	Min	16.14	28.79	17.43	20.33	30.98	376	2.028	11.01
	Max	16.67	29.61	17.52	20.40	32.83	398	2.074	11.84
	Ort.	**16.41**	**29.25**	**17.48**	**20.35**	**32.16**	**390**	**2.047**	**11.34**
	SS	0.22	0.34	0.04	0.03	0.84	10	0.020	0.36
28	Min	16.45	29.18	17.41	20.27	31.38	341	2.005	8.99
	Max	16.82	29.94	17.46	20.40	33.71	402	2.016	13.21
	Ort.	**16.69**	**29.66**	**17.43**	**20.34**	**32.61**	**382**	**2.009**	**10.56**
	SS	0.17	0.34	0.02	0.06	0.96	29	0.005	1.88
35	Min	16.46	28.83	17.18	20.01	32.65	370	1.935	7.61
	Max	17.73	31.11	17.21	20.26	32.78	380	2.014	11.85
	Ort.	**17.10**	**29.97**	**17.19**	**20.13**	**32.72**	**375**	**1.974**	**9.73**
	SS	0.64	1.14	0.01	0.13	0.07	5	0.039	2.12

Tablo A.2: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (AB örnek grubu).

Kod: AB		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.06	0.18	26.50	26.53	18.85	705	6.423	64.80
	Max	0.10	0.26	26.54	26.56	20.18	721	6.628	107.15
	Ort.	**0.09**	**0.24**	**26.52**	**26.55**	**19.69**	**711**	**6.485**	**84.81**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.40	5	0.079	15.11
4	Min	0.12	0.32	26.53	26.57	18.57	695	6.435	65.01
	Max	0.14	0.38	26.55	26.58	20.09	713	6.621	95.82
	Ort.	**0.13**	**0.35**	**26.54**	**26.58**	**19.51**	**705**	**6.501**	**83.97**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.55	7	0.074	10.62
7	Min	0.13	0.35	26.50	26.54	18.95	695	6.356	69.07
	Max	0.16	0.44	26.53	26.57	20.23	708	6.518	87.87
	Ort.	**0.14**	**0.39**	**26.52**	**26.56**	**19.54**	**703**	**6.449**	**82.32**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.52	5	0.061	6.79
10	Min	0.14	0.38	26.50	26.55	19.05	685	6.430	66.07
	Max	0.17	0.47	26.54	26.58	20.96	707	6.445	88.71
	Ort.	**0.16**	**0.44**	**26.52**	**26.56**	**19.55**	**700**	**6.437**	**79.47**
	SS	0.01	0.04	0.01	0.01	0.71	8	0.005	8.58
14	Min	0.16	0.43	26.52	26.57	19.40	682	6.420	56.51
	Max	0.19	0.52	26.55	26.59	20.03	705	6.438	87.63
	Ort.	**0.17**	**0.46**	**26.54**	**26.58**	**19.71**	**699**	**6.431**	**75.89**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.26	9	0.007	11.81
20	Min	0.15	0.41	26.48	26.55	19.53	686	6.395	58.03
	Max	0.26	0.70	26.55	26.59	20.85	705	6.438	94.24
	Ort.	**0.19**	**0.50**	**26.52**	**26.57**	**20.09**	**698**	**6.423**	**73.41**
	SS	0.04	0.11	0.03	0.02	0.46	7	0.015	12.45
28	Min	0.18	0.50	26.52	26.58	20.29	690	6.420	57.37
	Max	0.23	0.61	26.56	26.61	20.65	700	6.454	81.41
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.54**	**26.59**	**20.49**	**696**	**6.438**	**72.33**
	SS	0.02	0.04	0.01	0.01	0.14	3	0.013	9.01
35	Min	0.19	0.52	26.48	26.54	20.36	682	6.316	53.82
	Max	0.25	0.67	26.52	26.58	21.29	702	6.422	76.89
	Ort.	**0.22**	**0.59**	**26.50**	**26.56**	**20.86**	**693**	**6.396**	**69.80**
	SS	0.02	0.05	0.02	0.01	0.34	7	0.041	8.65
56	Min	0.21	0.56	26.49	26.56	20.41	685	6.148	48.23
	Max	0.28	0.76	26.54	26.59	21.35	694	6.442	83.06
	Ort.	**0.24**	**0.64**	**26.51**	**26.58**	**20.84**	**688**	**6.373**	**67.58**
	SS	0.03	0.07	0.02	0.01	0.37	4	0.113	14.34
70	Min	0.20	0.55	26.43	26.50	21.09	676	6.162	54.52
	Max	0.29	0.78	26.50	26.56	21.55	696	6.448	73.04
	Ort.	**0.23**	**0.63**	**26.47**	**26.54**	**21.35**	**690**	**6.386**	**68.22**
	SS	0.03	0.09	0.03	0.02	0.21	7	0.112	6.94
84	Min	0.19	0.52	26.48	26.56	20.92	685	6.323	44.92
	Max	0.28	0.75	26.54	26.59	21.30	691	6.364	79.40
	Ort.	**0.24**	**0.65**	**26.51**	**26.57**	**21.14**	**687**	**6.350**	**64.51**
	SS	0.04	0.10	0.02	0.02	0.13	2	0.015	11.43

Tablo A.3: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BR örnek grubu).

Kod: BR		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.03	0.09	26.55	26.56	18.19	700	6.433	65.17
	Max	0.08	0.20	26.64	26.65	19.11	720	6.706	119.31
	Ort.	**0.05**	**0.13**	**26.58**	**26.59**	**18.58**	**713**	**6.559**	**100.38**
	SS	0.01	0.03	0.03	0.03	0.32	7	0.083	17.71
4	Min	0.07	0.18	26.52	26.54	18.16	700	6.424	75.22
	Max	0.10	0.27	26.62	26.65	19.14	714	6.723	119.94
	Ort.	**0.08**	**0.22**	**26.57**	**26.59**	**18.56**	**709**	**6.557**	**99.27**
	SS	0.01	0.03	0.04	0.04	0.33	5	0.116	15.84
7	Min	0.08	0.21	26.55	26.57	18.51	704	6.428	77.57
	Max	0.11	0.29	26.61	26.64	18.85	714	6.637	112.65
	Ort.	**0.09**	**0.25**	**26.58**	**26.60**	**18.62**	**709**	**6.522**	**93.90**
	SS	0.01	0.03	0.03	0.03	0.13	4	0.081	12.44
10	Min	0.09	0.23	26.57	26.60	18.56	699	6.414	79.19
	Max	0.11	0.29	26.63	26.66	19.35	717	6.689	96.39
	Ort.	**0.09**	**0.25**	**26.59**	**26.62**	**18.86**	**705**	**6.524**	**84.62**
	SS	0.01	0.02	0.02	0.02	0.28	6	0.107	6.18
14	Min	0.09	0.23	26.61	26.63	18.93	691	6.428	65.26
	Max	0.11	0.30	26.64	26.66	20.23	711	6.599	96.10
	Ort.	**0.10**	**0.26**	**26.62**	**26.65**	**19.29**	**702**	**6.511**	**83.57**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.48	7	0.058	11.34
20	Min	0.08	0.21	26.59	26.61	18.73	688	6.428	68.50
	Max	0.13	0.35	26.68	26.71	20.33	709	6.529	92.90
	Ort.	**0.10**	**0.27**	**26.63**	**26.66**	**19.43**	**700**	**6.481**	**82.32**
	SS	0.02	0.05	0.04	0.04	0.56	7	0.038	9.87
28	Min	0.09	0.24	26.60	26.63	19.24	693	6.415	66.52
	Max	0.13	0.35	26.64	26.67	20.17	707	6.566	94.87
	Ort.	**0.10**	**0.28**	**26.62**	**26.65**	**19.61**	**700**	**6.504**	**75.46**
	SS	0.02	0.05	0.01	0.02	0.36	6	0.056	10.09
35	Min	0.08	0.21	26.60	26.62	19.99	689	6.422	59.09
	Max	0.12	0.32	26.68	26.71	20.74	706	6.649	87.60
	Ort.	**0.11**	**0.29**	**26.65**	**26.68**	**20.21**	**699**	**6.472**	**73.35**
	SS	0.02	0.04	0.03	0.03	0.29	6	0.089	10.44
56	Min	0.10	0.27	26.58	26.61	19.64	688	6.436	62.08
	Max	0.15	0.41	26.64	26.68	21.05	699	6.560	82.06
	Ort.	**0.13**	**0.36**	**26.62**	**26.65**	**20.20**	**696**	**6.482**	**71.34**
	SS	0.02	0.05	0.02	0.02	0.54	4	0.045	7.85
70	Min	0.11	0.30	26.55	26.58	19.67	686	6.403	67.43
	Max	0.15	0.42	26.59	26.62	21.10	699	6.565	76.23
	Ort.	**0.14**	**0.37**	**26.56**	**26.60**	**20.28**	**692**	**6.465**	**70.38**
	SS	0.02	0.04	0.01	0.02	0.46	4	0.057	3.04
84	Min	0.11	0.29	26.57	26.61	20.35	677	6.377	68.63
	Max	0.19	0.53	26.58	26.63	20.92	702	6.496	74.43
	Ort.	**0.14**	**0.38**	**26.58**	**26.61**	**20.69**	**691**	**6.441**	**71.83**
	SS	0.03	0.08	0.01	0.01	0.20	9	0.041	2.11

Tablo A.4: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (EB örnek grubu).

Kod: EB		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.07	0.20	26.50	26.53	18.23	673	6.432	64.81
	Max	0.10	0.26	26.55	26.58	21.01	695	6.734	119.75
	Ort.	**0.09**	**0.23**	**26.52**	**26.54**	**20.08**	**682**	**6.540**	**87.48**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.02	0.81	8	0.098	20.50
4	Min	0.11	0.29	26.51	26.55	19.54	670	6.420	64.44
	Max	0.21	0.56	26.54	26.58	20.72	687	6.647	103.49
	Ort.	**0.14**	**0.38**	**26.52**	**26.56**	**20.15**	**680**	**6.518**	**86.88**
	SS	0.03	0.09	0.01	0.01	0.41	6	0.101	15.97
7	Min	0.11	0.29	26.51	26.55	19.90	671	6.418	69.77
	Max	0.19	0.53	26.53	26.57	21.03	688	6.513	88.62
	Ort.	**0.14**	**0.37**	**26.52**	**26.56**	**20.60**	**679**	**6.460**	**80.74**
	SS	0.03	0.08	0.01	0.00	0.41	6	0.042	6.55
10	Min	0.14	0.38	26.52	26.56	20.01	671	6.346	69.28
	Max	0.18	0.49	26.55	26.59	21.96	684	6.509	90.10
	Ort.	**0.16**	**0.43**	**26.54**	**26.58**	**20.80**	**678**	**6.437**	**79.20**
	SS	0.02	0.04	0.01	0.01	0.64	4	0.057	7.08
14	Min	0.12	0.32	26.52	26.57	20.48	670	6.347	59.77
	Max	0.21	0.56	26.57	26.61	21.40	682	6.512	90.56
	Ort.	**0.16**	**0.42**	**26.55**	**26.59**	**20.89**	**677**	**6.420**	**77.15**
	SS	0.03	0.09	0.02	0.01	0.35	4	0.054	11.55
20	Min	0.15	0.41	26.54	26.58	20.07	668	6.369	59.46
	Max	0.19	0.50	26.56	26.61	21.76	682	6.481	89.40
	Ort.	**0.17**	**0.46**	**26.55**	**26.60**	**20.88**	**674**	**6.438**	**76.94**
	SS	0.01	0.04	0.01	0.01	0.58	6	0.037	9.78
28	Min	0.17	0.46	26.54	26.59	20.10	659	6.419	63.81
	Max	0.21	0.56	26.57	26.62	21.70	685	6.449	83.03
	Ort.	**0.19**	**0.51**	**26.55**	**26.60**	**21.23**	**673**	**6.434**	**74.84**
	SS	0.01	0.04	0.01	0.01	0.61	8	0.010	6.72
35	Min	0.17	0.47	26.51	26.56	20.72	666	6.316	58.82
	Max	0.23	0.62	26.54	26.59	22.15	678	6.428	83.53
	Ort.	**0.21**	**0.56**	**26.52**	**26.58**	**21.42**	**671**	**6.384**	**70.66**
	SS	0.02	0.06	0.01	0.01	0.50	5	0.047	9.11
56	Min	0.19	0.52	26.49	26.56	21.08	657	6.281	54.84
	Max	0.27	0.73	26.55	26.61	22.34	673	6.387	78.37
	Ort.	**0.22**	**0.60**	**26.53**	**26.59**	**21.54**	**668**	**6.353**	**67.34**
	SS	0.03	0.08	0.03	0.02	0.43	6	0.041	10.07
70	Min	0.20	0.55	26.48	26.53	20.85	657	6.326	51.90
	Max	0.25	0.67	26.51	26.56	22.17	677	6.390	79.83
	Ort.	**0.22**	**0.59**	**26.49**	**26.55**	**21.44**	**669**	**6.354**	**68.16**
	SS	0.02	0.04	0.01	0.01	0.52	6	0.021	9.13
84	Min	0.19	0.52	26.48	26.55	21.52	657	6.220	58.87
	Max	0.29	0.78	26.53	26.58	22.21	677	6.348	74.27
	Ort.	**0.23**	**0.62**	**26.51**	**26.57**	**21.76**	**666**	**6.298**	**66.34**
	SS	0.03	0.09	0.02	0.01	0.24	8	0.044	4.89

Tablo A.5: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KC örnek grubu).

Kod: KC		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.12	0.32	26.38	26.43	17.99	699	6.550	83.31
	Max	0.20	0.55	26.47	26.50	19.21	715	6.815	113.19
	Ort.	**0.15**	**0.41**	**26.43**	**26.47**	**18.79**	**708**	**6.700**	**99.02**
	SS	0.03	0.08	0.03	0.02	0.37	4	0.072	8.78
4	Min	0.13	0.35	26.42	26.48	17.97	693	6.542	75.88
	Max	0.24	0.64	26.50	26.54	19.34	703	6.748	116.21
	Ort.	**0.19**	**0.50**	**26.45**	**26.50**	**18.68**	**699**	**6.618**	**97.89**
	SS	0.04	0.11	0.03	0.02	0.51	3	0.085	13.89
7	Min	0.16	0.44	26.43	26.48	17.25	692	6.508	86.65
	Max	0.20	0.55	26.45	26.49	19.63	706	6.608	108.87
	Ort.	**0.18**	**0.49**	**26.44**	**26.49**	**18.91**	**700**	**6.559**	**93.88**
	SS	0.01	0.04	0.01	0.00	0.86	5	0.042	8.11
10	Min	0.16	0.44	26.35	26.43	18.04	684	6.433	68.15
	Max	0.28	0.76	26.50	26.54	19.90	705	6.641	98.80
	Ort.	**0.20**	**0.54**	**26.44**	**26.50**	**19.00**	**698**	**6.526**	**87.28**
	SS	0.04	0.12	0.05	0.04	0.65	7	0.087	10.43
14	Min	0.17	0.46	26.44	26.51	18.27	687	6.439	73.62
	Max	0.24	0.64	26.48	26.53	20.30	706	6.667	90.56
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.47**	**26.52**	**18.96**	**696**	**6.502**	**81.02**
	SS	0.02	0.06	0.01	0.01	0.74	7	0.084	6.46
20	Min	0.20	0.55	26.41	26.47	18.19	691	6.449	68.39
	Max	0.24	0.63	26.46	26.52	20.37	703	6.591	87.74
	Ort.	**0.22**	**0.59**	**26.44**	**26.50**	**19.37**	**696**	**6.501**	**78.24**
	SS	0.01	0.03	0.02	0.01	0.82	4	0.049	6.29
28	Min	0.20	0.55	26.43	26.49	18.96	676	6.441	59.88
	Max	0.24	0.64	26.52	26.57	20.94	702	6.591	85.49
	Ort.	**0.22**	**0.58**	**26.48**	**26.54**	**20.25**	**693**	**6.493**	**76.69**
	SS	0.01	0.03	0.03	0.03	0.73	9	0.052	8.94
35	Min	0.20	0.55	26.41	26.48	19.83	680	6.396	61.83
	Max	0.25	0.67	26.50	26.56	21.25	699	6.509	86.03
	Ort.	**0.22**	**0.60**	**26.45**	**26.51**	**20.55**	**689**	**6.460**	**72.85**
	SS	0.02	0.05	0.04	0.03	0.52	6	0.040	8.20
56	Min	0.21	0.56	26.43	26.49	20.85	681	6.414	62.63
	Max	0.27	0.73	26.48	26.54	21.69	692	6.493	77.60
	Ort.	**0.24**	**0.66**	**26.45**	**26.52**	**21.18**	**686**	**6.446**	**70.48**
	SS	0.02	0.06	0.02	0.02	0.31	4	0.026	6.19
70	Min	0.22	0.58	26.39	26.47	20.19	679	6.319	59.13
	Max	0.27	0.73	26.43	26.49	22.35	688	6.449	78.16
	Ort.	**0.23**	**0.63**	**26.42**	**26.48**	**21.26**	**685**	**6.420**	**70.99**
	SS	0.02	0.05	0.01	0.01	0.80	3	0.051	6.46
84	Min	0.24	0.64	26.40	26.47	20.97	675	6.319	66.84
	Max	0.27	0.73	26.45	26.52	21.81	691	6.459	75.90
	Ort.	**0.25**	**0.67**	**26.43**	**26.49**	**21.25**	**683**	**6.401**	**70.02**
	SS	0.01	0.04	0.02	0.01	0.31	5	0.057	3.15

Tablo A.6: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (MB örnek grubu).

Kod: MB		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.09	0.23	26.57	26.60	22.34	615	3.653	65.65
	Max	0.15	0.41	26.63	26.65	25.67	646	5.297	82.73
	Ort.	**0.11**	**0.31**	**26.60**	**26.63**	**23.72**	**630**	**4.434**	**73.39**
	SS	0.02	0.06	0.02	0.01	1.08	9	0.507	5.42
4	Min	0.15	0.41	26.56	26.61	22.39	615	3.910	63.61
	Max	0.17	0.47	26.64	26.68	25.04	634	4.914	80.04
	Ort.	**0.16**	**0.44**	**26.61**	**26.65**	**23.91**	**624**	**4.325**	**71.67**
	SS	0.01	0.03	0.03	0.02	1.10	7	0.425	5.24
7	Min	0.16	0.44	26.58	26.62	22.75	608	4.069	48.96
	Max	0.17	0.47	26.60	26.65	24.68	627	4.348	75.57
	Ort.	**0.17**	**0.46**	**26.59**	**26.64**	**23.66**	**618**	**4.182**	**68.07**
	SS	0.00	0.01	0.01	0.01	0.68	7	0.111	9.79
10	Min	0.17	0.46	26.60	26.65	22.67	601	3.851	61.23
	Max	0.17	0.47	26.62	26.66	25.94	625	4.265	68.51
	Ort.	**0.17**	**0.47**	**26.61**	**26.65**	**24.18**	**615**	**4.074**	**65.65**
	SS	0.00	0.00	0.01	0.01	1.19	8	0.162	2.56
14	Min	0.16	0.44	26.61	26.66	22.95	607	3.593	49.30
	Max	0.18	0.50	26.63	26.68	24.53	622	4.404	76.70
	Ort.	**0.17**	**0.47**	**26.62**	**26.67**	**24.07**	**618**	**3.993**	**66.08**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.58	6	0.264	9.87
20	Min	0.18	0.49	26.60	26.66	23.29	588	3.826	53.12
	Max	0.21	0.58	26.63	26.68	27.17	629	4.193	72.24
	Ort.	**0.19**	**0.52**	**26.62**	**26.67**	**24.73**	**613**	**3.957**	**63.24**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	1.34	15	0.146	6.22
28	Min	0.18	0.49	26.61	26.67	24.48	606	3.586	51.10
	Max	0.22	0.58	26.67	26.72	25.88	621	4.229	67.75
	Ort.	**0.20**	**0.54**	**26.63**	**26.69**	**25.00**	**611**	**3.938**	**61.23**
	SS	0.01	0.03	0.02	0.02	0.49	5	0.206	6.20
35	Min	0.21	0.58	26.59	26.65	23.80	595	3.694	46.88
	Max	0.24	0.64	26.62	26.68	27.04	615	4.073	76.37
	Ort.	**0.23**	**0.62**	**26.61**	**26.67**	**25.46**	**609**	**3.896**	**59.42**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	1.05	8	0.123	11.46
56	Min	0.23	0.61	26.56	26.63	24.94	585	2.919	43.86
	Max	0.29	0.78	26.67	26.73	26.22	613	3.996	64.94
	Ort.	**0.25**	**0.68**	**26.61**	**26.68**	**25.53**	**603**	**3.639**	**56.75**
	SS	0.02	0.06	0.04	0.03	0.41	12	0.402	8.18
70	Min	0.23	0.61	26.47	26.56	25.18	578	2.695	44.46
	Max	0.35	0.93	26.57	26.63	26.85	613	4.151	73.24
	Ort.	**0.26**	**0.71**	**26.54**	**26.61**	**25.92**	**601**	**3.599**	**59.84**
	SS	0.04	0.12	0.04	0.03	0.63	13	0.541	10.69
84	Min	0.21	0.58	26.48	26.58	24.48	572	2.337	45.88
	Max	0.36	0.99	26.62	26.68	27.07	609	3.991	69.20
	Ort.	**0.26**	**0.70**	**26.58**	**26.64**	**25.79**	**600**	**3.563**	**56.52**
	SS	0.05	0.15	0.05	0.03	1.04	14	0.625	9.01

Tablo A.7: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (OB örnek grubu).

Kod: OB		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.05	0.14	26.47	26.49	18.26	672	6.351	67.62
	Max	0.15	0.41	26.57	26.60	20.82	706	6.732	114.82
	Ort.	**0.10**	**0.27**	**26.52**	**26.55**	**19.79**	**694**	**6.571**	**99.04**
	SS	0.04	0.10	0.03	0.04	0.76	10	0.107	13.01
4	Min	0.05	0.15	26.48	26.51	19.42	684	6.499	93.53
	Max	0.12	0.33	26.57	26.59	20.26	696	6.668	110.78
	Ort.	**0.09**	**0.24**	**26.52**	**26.54**	**19.91**	**691**	**6.598**	**101.48**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.03	0.31	5	0.077	5.59
7	Min	0.07	0.20	26.46	26.49	18.94	671	6.442	92.34
	Max	0.13	0.35	26.55	26.57	20.09	701	6.650	100.06
	Ort.	**0.10**	**0.26**	**26.50**	**26.53**	**19.51**	**688**	**6.528**	**96.05**
	SS	0.02	0.05	0.04	0.03	0.47	10	0.075	2.81
10	Min	0.07	0.20	26.38	26.42	18.94	674	6.155	73.82
	Max	0.16	0.43	26.57	26.59	20.53	707	6.665	102.45
	Ort.	**0.12**	**0.33**	**26.48**	**26.51**	**19.70**	**685**	**6.502**	**90.71**
	SS	0.03	0.08	0.06	0.06	0.67	12	0.203	9.37
14	Min	0.08	0.20	26.34	26.39	19.16	670	6.329	68.50
	Max	0.20	0.55	26.58	26.60	20.82	693	6.641	88.13
	Ort.	**0.12**	**0.33**	**26.49**	**26.52**	**20.00**	**686**	**6.505**	**81.87**
	SS	0.05	0.15	0.09	0.07	0.65	9	0.109	7.11
20	Min	0.09	0.23	26.19	26.25	20.16	675	6.262	68.31
	Max	0.25	0.67	26.57	26.60	20.70	696	6.659	89.76
	Ort.	**0.14**	**0.38**	**26.46**	**26.50**	**20.35**	**682**	**6.516**	**79.77**
	SS	0.06	0.15	0.14	0.13	0.22	8	0.136	8.67
28	Min	0.10	0.26	26.40	26.44	20.84	663	6.251	57.23
	Max	0.17	0.47	26.54	26.56	22.41	699	6.558	89.80
	Ort.	**0.14**	**0.37**	**26.47**	**26.51**	**21.46**	**679**	**6.404**	**78.40**
	SS	0.03	0.08	0.05	0.05	0.59	13	0.110	11.61
35	Min	0.13	0.34	26.45	26.50	20.55	660	6.337	62.72
	Max	0.20	0.53	26.55	26.59	22.60	687	6.523	87.69
	Ort.	**0.15**	**0.40**	**26.52**	**26.56**	**21.30**	**677**	**6.475**	**72.39**
	SS	0.03	0.07	0.04	0.03	0.76	9	0.072	9.29
56	Min	0.13	0.35	26.31	26.38	20.97	651	6.332	60.95
	Max	0.27	0.72	26.55	26.58	21.97	687	6.439	76.78
	Ort.	**0.17**	**0.47**	**26.46**	**26.51**	**21.55**	**672**	**6.400**	**69.96**
	SS	0.05	0.14	0.08	0.07	0.36	13	0.038	7.37
70	Min	0.13	0.34	26.43	26.49	21.24	649	6.294	54.13
	Max	0.22	0.61	26.53	26.57	21.80	684	6.392	78.11
	Ort.	**0.17**	**0.45**	**26.48**	**26.52**	**21.63**	**670**	**6.352**	**69.19**
	SS	0.04	0.11	0.03	0.03	0.21	14	0.033	9.38
84	Min	0.14	0.37	26.36	26.42	21.75	653	6.287	66.53
	Max	0.24	0.64	26.56	26.60	22.04	682	6.409	76.70
	Ort.	**0.18**	**0.48**	**26.48**	**26.53**	**21.86**	**669**	**6.350**	**70.45**
	SS	0.03	0.09	0.07	0.06	0.11	10	0.043	3.70

Tablo A.8: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (SB örnek grubu).

Kod: SB		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.14	0.41	27.68	27.75	17.80	719	5.583	100.38
	Max	0.24	0.69	27.85	27.89	20.79	732	6.647	222.19
	Ort.	**0.19**	**0.54**	**27.78**	**27.83**	**19.10**	**726**	**6.122**	**147.89**
	SS	0.04	0.11	0.05	0.04	0.84	4	0.360	38.88
4	Min	0.16	0.47	27.53	27.65	17.67	714	5.438	106.58
	Max	0.45	1.27	27.92	27.96	19.93	730	6.432	183.54
	Ort.	**0.26**	**0.73**	**27.80**	**27.87**	**19.02**	**720**	**6.103**	**146.48**
	SS	0.11	0.30	0.15	0.12	0.75	6	0.387	28.09
7	Min	0.17	0.49	27.44	27.59	19.01	710	5.394	124.55
	Max	0.53	1.47	27.89	27.94	19.72	732	6.737	160.48
	Ort.	**0.28**	**0.79**	**27.77**	**27.85**	**19.37**	**721**	**6.093**	**143.12**
	SS	0.13	0.35	0.17	0.13	0.31	7	0.495	14.43
10	Min	0.24	0.67	27.79	27.87	18.49	704	5.627	100.31
	Max	0.33	0.92	27.85	27.92	20.45	719	6.068	178.57
	Ort.	**0.26**	**0.75**	**27.82**	**27.90**	**19.60**	**713**	**5.858**	**139.45**
	SS	0.03	0.09	0.03	0.02	0.66	7	0.176	25.30
14	Min	0.24	0.69	27.43	27.52	19.82	695	5.479	96.06
	Max	0.33	0.93	27.87	27.93	21.70	725	6.174	170.05
	Ort.	**0.29**	**0.82**	**27.71**	**27.79**	**20.63**	**710**	**5.799**	**131.09**
	SS	0.03	0.09	0.18	0.17	0.73	11	0.255	24.40
20	Min	0.26	0.73	27.82	27.91	18.64	707	5.826	92.11
	Max	0.32	0.90	27.92	27.99	21.45	720	5.909	162.95
	Ort.	**0.29**	**0.81**	**27.86**	**27.94**	**20.65**	**713**	**5.882**	**128.66**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.03	1.09	5	0.030	26.48
28	Min	0.28	0.78	27.79	27.88	20.81	692	5.670	100.58
	Max	0.34	0.96	27.86	27.94	21.58	718	5.981	152.92
	Ort.	**0.30**	**0.86**	**27.82**	**27.91**	**21.31**	**707**	**5.891**	**118.59**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.02	0.28	10	0.115	19.01
35	Min	0.25	0.72	27.63	27.77	21.25	692	5.490	96.77
	Max	0.48	1.34	27.81	27.88	21.78	710	5.974	139.51
	Ort.	**0.34**	**0.97**	**27.75**	**27.85**	**21.46**	**701**	**5.698**	**115.37**
	SS	0.08	0.21	0.06	0.04	0.19	6	0.162	14.14
56	Min	0.31	0.87	27.77	27.88	20.95	689	5.240	93.79
	Max	0.41	1.15	27.88	27.97	22.53	701	5.741	121.77
	Ort.	**0.34**	**0.98**	**27.83**	**27.93**	**21.68**	**696**	**5.495**	**110.15**
	SS	0.04	0.12	0.05	0.04	0.62	5	0.195	10.34
70	Min	0.22	0.64	27.70	27.82	21.16	678	5.355	99.10
	Max	0.45	1.28	27.89	27.95	22.72	709	5.716	130.97
	Ort.	**0.34**	**0.96**	**27.78**	**27.87**	**21.71**	**694**	**5.547**	**112.38**
	SS	0.08	0.21	0.06	0.04	0.67	12	0.134	10.53
84	Min	0.33	0.93	27.59	27.71	21.50	671	5.294	103.91
	Max	0.42	1.19	27.81	27.90	21.96	708	5.596	119.90
	Ort.	**0.35**	**0.99**	**27.75**	**27.85**	**21.77**	**694**	**5.476**	**111.03**
	SS	0.04	0.10	0.08	0.07	0.15	13	0.120	5.66

Tablo A.9: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (TK örnek grubu).

Kod: TK		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.08	0.22	26.52	26.55	17.75	700	6.471	61.51
	Max	0.11	0.30	26.57	26.59	21.48	739	6.725	126.69
	Ort.	**0.09**	**0.25**	**26.55**	**26.57**	**19.64**	**724**	**6.571**	**83.80**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	1.01	12	0.067	23.85
4	Min	0.10	0.26	26.53	26.55	19.20	704	6.445	66.95
	Max	0.12	0.32	26.57	26.59	20.17	726	6.543	86.31
	Ort.	**0.11**	**0.30**	**26.55**	**26.58**	**19.62**	**716**	**6.517**	**80.24**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.02	0.32	8	0.037	6.82
7	Min	0.09	0.23	26.53	26.57	18.62	711	6.448	62.52
	Max	0.14	0.38	26.57	26.59	20.51	720	6.540	92.77
	Ort.	**0.11**	**0.31**	**26.55**	**26.58**	**19.52**	**715**	**6.499**	**76.77**
	SS	0.02	0.06	0.01	0.01	0.61	4	0.037	10.35
10	Min	0.10	0.26	26.58	26.61	19.15	712	6.445	69.17
	Max	0.13	0.35	26.59	26.63	20.58	720	6.541	80.96
	Ort.	**0.12**	**0.32**	**26.59**	**26.62**	**19.98**	**716**	**6.497**	**75.54**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.49	3	0.041	3.83
14	Min	0.11	0.29	26.56	26.62	19.68	702	6.334	54.92
	Max	0.20	0.55	26.61	26.63	20.86	722	6.550	87.85
	Ort.	**0.15**	**0.41**	**26.58**	**26.62**	**20.38**	**713**	**6.481**	**74.56**
	SS	0.04	0.10	0.02	0.01	0.39	7	0.082	10.96
20	Min	0.14	0.38	26.59	26.63	20.31	683	6.496	60.04
	Max	0.16	0.44	26.61	26.65	21.65	723	6.571	93.32
	Ort.	**0.15**	**0.41**	**26.60**	**26.64**	**20.87**	**711**	**6.520**	**73.63**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.46	15	0.027	13.42
28	Min	0.11	0.29	26.56	26.61	20.92	681	6.291	61.38
	Max	0.22	0.61	26.62	26.65	21.88	715	6.541	77.56
	Ort.	**0.18**	**0.48**	**26.59**	**26.63**	**21.38**	**700**	**6.429**	**69.59**
	SS	0.05	0.13	0.02	0.01	0.39	12	0.092	6.03
35	Min	0.16	0.44	26.55	26.59	20.53	693	6.218	46.34
	Max	0.20	0.53	26.59	26.63	22.27	710	6.488	82.17
	Ort.	**0.18**	**0.48**	**26.57**	**26.61**	**21.47**	**699**	**6.406**	**69.35**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.65	6	0.096	12.86
56	Min	0.17	0.47	26.54	26.61	21.51	687	6.096	51.79
	Max	0.24	0.64	26.59	26.64	22.39	703	6.443	86.60
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.57**	**26.63**	**21.83**	**696**	**6.293**	**68.45**
	SS	0.03	0.07	0.02	0.01	0.33	7	0.115	13.92
70	Min	0.15	0.41	26.46	26.52	21.65	674	6.071	61.50
	Max	0.25	0.67	26.55	26.61	22.63	707	6.506	74.41
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.50**	**26.56**	**22.38**	**693**	**6.265**	**67.10**
	SS	0.04	0.11	0.04	0.03	0.38	12	0.139	4.80
84	Min	0.14	0.38	26.44	26.53	21.68	686	5.741	56.46
	Max	0.34	0.91	26.59	26.62	23.18	702	6.433	70.36
	Ort.	**0.23**	**0.62**	**26.52**	**26.58**	**22.32**	**695**	**6.102**	**64.79**
	SS	0.07	0.19	0.05	0.04	0.58	7	0.272	5.04

Tablo A.10: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (AL örnek grubu).

Kod: AL		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	1.26	3.28	24.55	25.14	18.39	608	5.447	48.34
	Max	2.39	5.98	25.53	25.85	21.89	662	6.041	73.18
	Ort.	**1.60**	**4.10**	**25.22**	**25.62**	**20.70**	**640**	**5.884**	**65.18**
	SS	0.31	0.74	0.27	0.20	1.09	16	0.169	7.61
4	Min	0.99	2.61	25.16	25.65	19.60	608	5.486	58.85
	Max	1.96	5.02	25.93	26.18	22.46	669	6.254	65.43
	Ort.	**1.61**	**4.17**	**25.42**	**25.83**	**21.10**	**635**	**5.778**	**61.85**
	SS	0.36	0.89	0.28	0.20	0.94	24	0.297	2.10
7	Min	1.40	3.61	24.89	25.39	21.09	617	5.313	53.94
	Max	1.98	5.03	25.34	25.70	23.18	647	5.995	66.75
	Ort.	**1.67**	**4.27**	**25.14**	**25.56**	**22.08**	**633**	**5.712**	**58.16**
	SS	0.20	0.47	0.16	0.12	0.83	11	0.252	4.64
10	Min	1.42	3.70	25.01	25.50	22.21	614	5.425	41.17
	Max	1.94	4.95	25.44	25.81	22.82	642	5.832	65.25
	Ort.	**1.67**	**4.31**	**25.26**	**25.68**	**22.40**	**627**	**5.644**	**55.95**
	SS	0.18	0.44	0.16	0.12	0.21	10	0.164	8.95
14	Min	1.38	3.58	24.62	25.23	21.34	601	5.089	45.33
	Max	2.49	6.25	25.46	25.81	23.40	655	6.062	63.47
	Ort.	**1.80**	**4.59**	**25.12**	**25.57**	**22.31**	**621**	**5.485**	**55.37**
	SS	0.43	1.05	0.32	0.22	0.78	23	0.367	6.21
20	Min	1.45	3.75	24.94	25.49	21.20	610	4.787	44.76
	Max	2.20	5.60	25.43	25.79	23.31	644	5.954	54.66
	Ort.	**1.84**	**4.72**	**25.16**	**25.63**	**22.40**	**624**	**5.399**	**51.43**
	SS	0.29	0.71	0.17	0.10	0.98	11	0.422	3.71
28	Min	1.04	2.74	24.62	25.27	22.10	579	4.965	40.91
	Max	2.61	6.55	25.94	26.21	22.98	659	5.885	53.91
	Ort.	**1.87**	**4.78**	**25.27**	**25.74**	**22.47**	**619**	**5.353**	**47.49**
	SS	0.61	1.48	0.50	0.36	0.35	34	0.341	5.35
35	Min	0.94	2.48	24.76	25.40	21.70	597	4.803	41.97
	Max	2.59	6.54	25.93	26.17	24.30	627	5.911	50.15
	Ort.	**1.92**	**4.92**	**25.20**	**25.69**	**22.61**	**618**	**5.390**	**46.15**
	SS	0.54	1.34	0.39	0.26	1.07	11	0.355	3.15
56	Min	2.02	5.26	25.58	26.10	22.57	611	5.081	43.06
	Max	2.02	5.26	25.58	26.10	22.57	611	5.081	43.06
	Ort.	**2.02**	**5.26**	**25.58**	**26.10**	**22.57**	**611**	**5.081**	**43.06**
	SS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.000	0.00
70	Min	1.97	5.01	24.78	25.37	22.57	591	4.514	37.47
	Max	2.38	6.02	24.99	25.48	23.21	605	4.989	45.81
	Ort.	**2.16**	**5.47**	**24.87**	**25.41**	**22.83**	**599**	**4.828**	**42.21**
	SS	0.17	0.42	0.09	0.05	0.27	6	0.222	3.50
84	Min	1.95	5.10	25.46	26.03	23.25	589	4.697	32.66
	Max	2.26	5.85	25.65	26.15	23.29	593	4.824	47.72
	Ort.	**2.10**	**5.48**	**25.55**	**26.09**	**23.27**	**591**	**4.760**	**40.19**
	SS	0.15	0.38	0.10	0.06	0.02	2	0.063	7.53

Tablo A.11: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (AL2 örnek grubu).

Kod: AL2 DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	GD (mm)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	4.65	10.85	22.19	23.35	25.73	473	4.010	46.21
	Max	5.72	13.02	22.89	23.95	33.35	547	5.162	60.02
	Ort.	**5.29**	**12.12**	**22.49**	**23.68**	**30.61**	**510**	**4.537**	**53.02**
	SS	0.33	0.72	0.21	0.20	2.39	23	0.402	4.09
4	Min	5.00	11.66	22.42	23.63	28.68	472	4.303	43.18
	Max	5.40	12.52	22.88	24.03	33.64	541	4.838	50.78
	Ort.	**5.26**	**12.13**	**22.62**	**23.81**	**31.17**	**506**	**4.525**	**46.08**
	SS	0.15	0.30	0.19	0.18	1.91	28	0.238	2.69
7	Min	4.94	11.48	22.14	23.47	27.73	468	4.089	34.56
	Max	5.98	13.49	22.81	23.93	35.92	542	4.803	47.64
	Ort.	**5.30**	**12.19**	**22.57**	**23.77**	**31.71**	**503**	**4.520**	**42.47**
	SS	0.40	0.78	0.25	0.17	2.73	24	0.238	4.67
10	Min	4.66	10.99	22.49	23.78	29.79	493	4.409	33.87
	Max	5.73	13.13	23.12	24.20	34.07	504	4.658	46.72
	Ort.	**5.29**	**12.25**	**22.74**	**23.94**	**31.81**	**500**	**4.521**	**40.63**
	SS	0.37	0.74	0.22	0.15	1.40	4	0.095	4.71
14	Min	5.20	12.05	22.36	23.56	29.30	439	4.153	29.18
	Max	5.61	12.81	22.87	24.06	36.44	518	4.651	48.22
	Ort.	**5.34**	**12.29**	**22.61**	**23.81**	**31.81**	**483**	**4.508**	**39.67**
	SS	0.15	0.27	0.20	0.18	2.51	29	0.190	6.95
20	Min	4.89	11.41	22.39	23.62	29.16	453	4.119	30.82
	Max	5.76	13.26	22.88	23.99	34.64	530	4.819	43.71
	Ort.	**5.40**	**12.43**	**22.58**	**23.79**	**32.08**	**479**	**4.452**	**38.32**
	SS	0.32	0.67	0.18	0.14	2.15	27	0.246	4.55
28	Min	5.06	11.75	22.28	23.61	31.20	449	4.216	35.17
	Max	5.96	13.54	22.79	23.94	33.82	500	4.634	38.62
	Ort.	**5.42**	**12.46**	**22.58**	**23.80**	**32.27**	**473**	**4.444**	**36.54**
	SS	0.32	0.63	0.17	0.11	1.00	22	0.142	1.21
35	Min	5.32	12.25	22.20	23.51	31.19	447	4.185	30.35
	Max	5.87	13.28	22.58	23.81	34.64	504	4.728	39.75
	Ort.	**5.61**	**12.80**	**22.40**	**23.66**	**32.23**	**468**	**4.393**	**34.68**
	SS	0.18	0.35	0.14	0.13	1.25	21	0.194	3.18
56	Min	5.27	12.27	22.37	23.68	28.87	448	4.208	29.45
	Max	5.85	13.41	22.82	24.02	37.14	478	4.542	37.38
	Ort.	**5.70**	**13.07**	**22.50**	**23.78**	**32.43**	**458**	**4.352**	**34.04**
	SS	0.22	0.43	0.16	0.13	3.41	11	0.130	2.76
70	Min	5.17	12.05	22.24	23.58	30.04	424	4.033	26.92
	Max	6.13	14.02	22.86	24.05	34.82	479	4.489	37.23
	Ort.	**5.71**	**13.11**	**22.55**	**23.83**	**32.59**	**446**	**4.297**	**32.18**
	SS	0.40	0.79	0.24	0.17	1.68	18	0.169	4.13
84	Min	5.40	12.43	22.30	23.64	31.39	428	3.968	27.17
	Max	6.02	13.69	22.59	23.83	34.28	465	4.344	37.18
	Ort.	**5.76**	**13.20**	**22.48**	**23.78**	**32.69**	**443**	**4.164**	**32.04**
	SS	0.20	0.42	0.10	0.07	1.24	14	0.152	4.05

Tablo A.12: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (AL3 örnek grubu).

Kod: AL3 DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	GD (mm)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	2.36	5.72	23.00	23.80	24.64	511	4.084	45.85
	Max	3.50	8.20	23.74	24.31	29.07	577	5.088	68.62
	Ort.	**2.84**	**6.77**	**23.41**	**24.07**	**27.00**	**533**	**4.596**	**58.30**
	SS	0.38	0.84	0.26	0.18	1.36	24	0.308	7.51
4	Min	2.33	5.68	23.04	23.92	26.23	484	4.047	45.64
	Max	3.81	8.96	23.95	24.51	29.62	582	4.937	71.01
	Ort.	**3.00**	**7.17**	**23.47**	**24.17**	**27.31**	**525**	**4.557**	**53.74**
	SS	0.53	1.16	0.32	0.21	1.19	43	0.311	9.30
7	Min	2.59	6.28	23.45	24.21	25.49	501	4.411	44.92
	Max	3.25	7.77	23.83	24.44	28.73	532	4.718	57.16
	Ort.	**2.98**	**7.16**	**23.58**	**24.29**	**27.28**	**518**	**4.555**	**52.26**
	SS	0.24	0.53	0.14	0.09	1.21	10	0.111	4.39
10	Min	2.89	6.95	23.26	24.08	27.00	484	4.351	38.58
	Max	3.51	8.32	23.66	24.35	28.47	546	4.600	63.84
	Ort.	**3.11**	**7.44**	**23.48**	**24.21**	**27.60**	**509**	**4.441**	**49.78**
	SS	0.24	0.53	0.15	0.11	0.57	28	0.095	9.50
14	Min	2.51	6.11	23.20	24.05	26.66	461	4.251	32.80
	Max	3.64	8.62	23.85	24.45	29.50	545	4.602	59.75
	Ort.	**3.10**	**7.42**	**23.55**	**24.28**	**28.06**	**507**	**4.425**	**48.18**
	SS	0.43	0.95	0.27	0.17	1.00	36	0.143	10.18
20	Min	2.73	6.60	23.21	24.04	27.71	470	4.237	35.86
	Max	3.66	8.68	23.76	24.41	29.32	528	4.522	59.03
	Ort.	**3.27**	**7.80**	**23.43**	**24.20**	**28.35**	**492**	**4.347**	**45.25**
	SS	0.33	0.74	0.19	0.12	0.61	20	0.097	7.98
28	Min	2.81	6.77	23.06	23.92	25.73	467	3.743	36.53
	Max	3.97	9.33	23.58	24.25	29.67	523	4.340	51.76
	Ort.	**3.51**	**8.31**	**23.23**	**24.05**	**28.50**	**486**	**4.074**	**44.39**
	SS	0.41	0.91	0.21	0.13	1.48	20	0.200	5.32
35	Min	2.70	6.55	22.89	23.90	27.74	460	3.614	37.35
	Max	4.40	10.26	23.75	24.40	29.80	531	4.570	49.44
	Ort.	**3.55**	**8.42**	**23.32**	**24.15**	**28.68**	**485**	**4.086**	**42.45**
	SS	0.66	1.44	0.32	0.18	0.72	25	0.367	4.31
56	Min	3.39	8.13	23.22	24.13	26.29	452	3.904	33.34
	Max	3.92	9.27	23.62	24.42	30.82	499	4.233	44.97
	Ort.	**3.60**	**8.59**	**23.42**	**24.26**	**28.89**	**480**	**4.075**	**39.05**
	SS	0.20	0.43	0.15	0.11	1.49	22	0.114	4.13
70	Min	3.25	7.83	23.27	24.22	27.28	467	3.907	32.04
	Max	4.12	9.76	23.62	24.39	30.88	485	4.025	41.78
	Ort.	**3.59**	**8.57**	**23.45**	**24.29**	**29.12**	**480**	**3.990**	**37.45**
	SS	0.29	0.65	0.12	0.06	1.15	7	0.043	3.15
84	Min	3.28	7.90	23.23	24.14	28.72	449	3.738	28.54
	Max	3.92	9.29	23.65	24.42	30.94	514	4.085	43.95
	Ort.	**3.61**	**8.61**	**23.43**	**24.28**	**29.78**	**477**	**3.892**	**35.51**
	SS	0.26	0.57	0.17	0.12	0.81	30	0.127	6.04

Tablo A.13: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BE örnek grubu).

Kod: BE		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.95	2.57	26.09	26.53	20.45	625	4.569	66.20
	Max	1.91	5.09	26.66	26.94	22.03	668	5.208	91.32
	Ort.	**1.33**	**3.58**	**26.39**	**26.74**	**21.27**	**649**	**4.950**	**77.42**
	SS	0.28	0.72	0.19	0.13	0.44	13	0.178	7.14
4	Min	0.85	2.32	26.03	26.47	20.76	615	4.631	67.68
	Max	1.93	5.12	26.69	26.92	21.59	654	5.266	92.12
	Ort.	**1.39**	**3.71**	**26.36**	**26.72**	**21.28**	**639**	**4.875**	**78.65**
	SS	0.38	0.99	0.27	0.18	0.28	13	0.220	8.63
7	Min	1.43	3.85	26.08	26.46	20.43	610	4.499	66.06
	Max	1.62	4.37	26.56	26.96	21.83	652	5.058	77.77
	Ort.	**1.49**	**4.01**	**26.37**	**26.77**	**21.26**	**633**	**4.786**	**72.65**
	SS	0.06	0.19	0.18	0.19	0.51	14	0.177	4.33
10	Min	0.87	2.35	25.35	25.96	21.02	577	4.522	56.65
	Max	2.39	6.19	26.61	26.84	22.57	671	4.919	85.46
	Ort.	**1.54**	**4.07**	**26.04**	**26.44**	**21.73**	**632**	**4.748**	**68.30**
	SS	0.59	1.49	0.47	0.33	0.59	35	0.155	12.98
14	Min	1.14	3.08	25.70	26.33	21.49	607	4.368	60.96
	Max	2.46	6.44	26.56	26.87	22.49	660	5.010	75.22
	Ort.	**1.63**	**4.36**	**26.25**	**26.68**	**21.92**	**632**	**4.750**	**69.17**
	SS	0.52	1.32	0.32	0.19	0.37	19	0.218	5.04
20	Min	1.23	3.32	25.95	26.54	21.73	592	4.543	46.65
	Max	2.28	6.04	26.40	26.73	22.43	659	4.922	77.83
	Ort.	**1.70**	**4.52**	**26.15**	**26.59**	**22.10**	**629**	**4.731**	**64.10**
	SS	0.40	1.04	0.16	0.07	0.28	24	0.144	10.10
28	Min	1.14	3.09	25.90	26.44	21.51	586	4.119	53.27
	Max	2.13	5.64	26.55	26.85	23.64	656	5.169	84.04
	Ort.	**1.72**	**4.58**	**26.17**	**26.62**	**22.59**	**622**	**4.686**	**62.60**
	SS	0.35	0.91	0.22	0.14	0.87	23	0.348	11.62
35	Min	1.32	3.57	25.89	26.49	22.32	591	4.327	58.37
	Max	2.32	6.12	26.58	26.94	22.67	662	4.687	65.57
	Ort.	**1.74**	**4.64**	**26.28**	**26.73**	**22.57**	**610**	**4.597**	**62.39**
	SS	0.39	1.00	0.25	0.16	0.13	27	0.136	2.77
56	Min	1.26	3.40	26.00	26.58	22.06	578	4.364	53.05
	Max	2.24	5.92	26.52	26.94	24.29	616	4.801	69.73
	Ort.	**1.75**	**4.69**	**26.33**	**26.79**	**22.84**	**600**	**4.649**	**59.40**
	SS	0.40	1.03	0.24	0.15	1.03	16	0.201	7.37
70	Min	1.42	3.87	25.70	26.23	22.43	569	4.409	51.52
	Max	2.09	5.46	26.67	27.05	23.83	633	4.834	64.26
	Ort.	**1.86**	**4.94**	**26.12**	**26.61**	**23.23**	**599**	**4.577**	**58.24**
	SS	0.24	0.58	0.32	0.26	0.54	23	0.145	4.12
84	Min	1.41	3.85	26.20	26.76	23.64	572	4.310	40.25
	Max	2.13	5.69	26.72	27.09	24.58	618	4.691	62.64
	Ort.	**1.83**	**4.91**	**26.38**	**26.86**	**23.99**	**587**	**4.515**	**52.78**
	SS	0.26	0.68	0.20	0.14	0.36	18	0.136	9.57

Tablo A.14: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BK örnek grubu).

Kod: BK		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.64	1.75	26.53	26.72	18.60	714	4.971	92.72
	Max	0.84	2.28	26.89	27.09	20.01	728	5.946	115.30
	Ort.	**0.73**	**2.00**	**26.74**	**26.93**	**19.10**	**719**	**5.439**	**107.43**
	SS	0.06	0.17	0.12	0.11	0.48	5	0.378	7.73
4	Min	0.67	1.85	26.70	26.92	18.25	697	5.183	86.48
	Max	0.90	2.45	26.99	27.18	20.06	726	5.563	118.96
	Ort.	**0.79**	**2.17**	**26.86**	**27.08**	**19.32**	**710**	**5.386**	**104.53**
	SS	0.10	0.26	0.11	0.09	0.64	10	0.142	11.90
7	Min	0.73	1.99	26.37	26.69	19.02	676	5.002	80.67
	Max	1.22	3.29	27.02	27.22	19.48	712	5.912	119.66
	Ort.	**0.87**	**2.36**	**26.77**	**27.01**	**19.26**	**701**	**5.388**	**104.12**
	SS	0.18	0.47	0.22	0.18	0.19	13	0.371	14.15
10	Min	0.62	1.70	26.70	26.96	18.96	696	4.778	92.93
	Max	1.00	2.71	26.99	27.16	19.48	711	5.691	119.99
	Ort.	**0.87**	**2.38**	**26.83**	**27.07**	**19.26**	**702**	**5.326**	**106.79**
	SS	0.13	0.36	0.11	0.08	0.23	5	0.311	11.12
14	Min	0.77	2.13	26.76	27.03	19.51	684	4.887	68.08
	Max	1.03	2.81	27.01	27.22	19.94	719	5.851	111.42
	Ort.	**0.88**	**2.41**	**26.90**	**27.14**	**19.67**	**704**	**5.284**	**98.76**
	SS	0.10	0.25	0.11	0.09	0.15	12	0.352	15.61
20	Min	0.70	1.93	26.71	27.01	19.40	685	4.589	78.84
	Max	1.13	3.07	26.97	27.16	20.65	712	5.618	114.89
	Ort.	**0.92**	**2.52**	**26.82**	**27.07**	**19.98**	**699**	**5.240**	**96.96**
	SS	0.17	0.45	0.09	0.05	0.50	11	0.396	15.10
28	Min	0.76	2.09	26.67	26.99	19.69	679	4.546	74.40
	Max	1.21	3.28	27.01	27.21	20.61	711	5.560	105.79
	Ort.	**0.91**	**2.50**	**26.85**	**27.10**	**20.25**	**699**	**5.195**	**92.93**
	SS	0.16	0.41	0.11	0.07	0.33	10	0.347	10.78
35	Min	0.84	2.31	26.69	26.98	19.91	689	4.780	67.44
	Max	1.10	3.00	26.92	27.15	21.01	708	5.393	99.11
	Ort.	**0.92**	**2.53**	**26.84**	**27.09**	**20.37**	**701**	**5.142**	**88.03**
	SS	0.09	0.25	0.08	0.06	0.41	8	0.275	12.52
56	Min	0.88	2.42	26.67	26.99	19.74	683	4.481	74.19
	Max	1.26	3.42	27.02	27.26	21.24	716	5.464	104.50
	Ort.	**0.99**	**2.70**	**26.85**	**27.11**	**20.47**	**699**	**5.047**	**89.28**
	SS	0.14	0.37	0.13	0.10	0.50	12	0.455	10.48
70	Min	0.93	2.54	26.52	26.85	19.60	685	4.658	71.26
	Max	1.22	3.30	26.89	27.14	21.66	701	5.201	93.85
	Ort.	**1.03**	**2.81**	**26.78**	**27.05**	**20.63**	**692**	**4.990**	**84.90**
	SS	0.12	0.32	0.13	0.10	0.82	6	0.204	8.50
84	Min	0.89	2.46	26.72	27.04	20.69	683	4.554	75.65
	Max	1.19	3.24	27.09	27.33	21.26	701	5.178	97.05
	Ort.	**1.02**	**2.79**	**26.92**	**27.20**	**20.87**	**693**	**4.883**	**82.55**
	SS	0.10	0.25	0.12	0.10	0.21	7	0.217	7.97

Tablo A.15: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (ÇK örnek grubu).

Kod: ÇK DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	GD (mm)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	0.37	1.03	27.17	27.34	17.66	647	3.547	83.10
	Max	0.64	1.78	27.65	27.75	20.45	723	4.662	114.84
	Ort.	**0.56**	**1.55**	**27.38**	**27.53**	**19.20**	**688**	**4.197**	**102.15**
	SS	0.08	0.22	0.13	0.11	0.91	26	0.349	11.12
4	Min	0.57	1.59	27.26	27.46	18.96	637	3.878	70.98
	Max	0.72	2.00	27.54	27.69	20.24	709	4.354	110.32
	Ort.	**0.62**	**1.72**	**27.41**	**27.58**	**19.35**	**675**	**4.065**	**94.37**
	SS	0.05	0.15	0.09	0.07	0.48	23	0.165	13.10
7	Min	0.54	1.51	27.17	27.41	19.15	641	3.672	69.15
	Max	0.88	2.45	27.46	27.61	20.28	707	4.530	101.76
	Ort.	**0.71**	**1.97**	**27.35**	**27.54**	**19.53**	**674**	**4.053**	**88.46**
	SS	0.12	0.33	0.11	0.07	0.39	23	0.331	11.35
10	Min	0.59	1.65	27.26	27.47	19.21	659	3.627	71.48
	Max	0.78	2.17	27.43	27.62	20.03	686	4.557	98.25
	Ort.	**0.68**	**1.91**	**27.36**	**27.55**	**19.65**	**670**	**3.982**	**85.00**
	SS	0.06	0.16	0.07	0.05	0.33	10	0.317	10.50
14	Min	0.51	1.44	27.29	27.52	19.25	654	3.468	76.26
	Max	0.86	2.40	27.59	27.73	19.88	702	4.449	97.48
	Ort.	**0.69**	**1.92**	**27.45**	**27.64**	**19.53**	**675**	**3.994**	**85.69**
	SS	0.11	0.31	0.10	0.07	0.22	16	0.349	7.57
20	Min	0.57	1.60	26.89	27.18	17.25	620	3.642	71.16
	Max	1.08	2.96	27.47	27.63	21.42	682	4.285	92.98
	Ort.	**0.72**	**1.99**	**27.30**	**27.50**	**19.72**	**653**	**3.992**	**80.68**
	SS	0.19	0.50	0.22	0.17	1.46	20	0.216	7.83
28	Min	0.59	1.67	27.09	27.37	19.32	543	3.090	65.43
	Max	1.03	2.84	27.48	27.64	20.66	706	4.457	83.86
	Ort.	**0.78**	**2.16**	**27.33**	**27.54**	**20.07**	**649**	**3.918**	**75.86**
	SS	0.17	0.46	0.13	0.09	0.49	56	0.511	6.81
35	Min	0.61	1.72	27.24	27.49	20.12	601	3.307	58.27
	Max	0.94	2.61	27.53	27.70	21.60	669	4.469	83.38
	Ort.	**0.82**	**2.28**	**27.35**	**27.57**	**20.50**	**652**	**3.908**	**72.02**
	SS	0.12	0.32	0.10	0.07	0.56	26	0.382	10.79
56	Min	0.77	2.15	27.11	27.36	19.86	637	3.270	57.74
	Max	1.05	2.92	27.38	27.60	21.22	661	4.823	94.22
	Ort.	**0.86**	**2.39**	**27.28**	**27.52**	**20.59**	**646**	**3.861**	**73.89**
	SS	0.11	0.29	0.11	0.09	0.53	8	0.597	15.53
70	Min	0.75	2.10	27.19	27.50	19.39	618	3.550	61.77
	Max	1.12	3.11	27.45	27.66	23.03	662	4.078	76.06
	Ort.	**0.90**	**2.51**	**27.35**	**27.59**	**21.03**	**645**	**3.848**	**69.71**
	SS	0.13	0.34	0.09	0.05	1.43	15	0.177	5.38
84	Min	0.76	2.11	27.23	27.50	20.92	607	3.585	47.33
	Max	1.00	2.77	27.33	27.56	24.23	672	3.944	83.87
	Ort.	**0.90**	**2.51**	**27.27**	**27.52**	**21.88**	**638**	**3.779**	**67.83**
	SS	0.09	0.24	0.04	0.02	1.22	24	0.142	13.95

Tablo A.16: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DT örnek grubu).

Kod: DT		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	1.09	2.66	23.49	23.87	20.78	592	5.602	51.86
	Max	1.71	4.14	24.06	24.40	25.94	643	6.329	70.10
	Ort.	**1.37**	**3.32**	**23.83**	**24.15**	**23.07**	**618**	**5.886**	**58.51**
	SS	0.19	0.46	0.19	0.17	1.44	14	0.221	6.35
4	Min	1.29	3.16	23.54	23.96	22.61	591	5.796	45.67
	Max	1.78	4.26	24.10	24.41	24.23	623	5.866	61.13
	Ort.	**1.41**	**3.45**	**23.93**	**24.27**	**23.46**	**606**	**5.841**	**52.71**
	SS	0.18	0.42	0.20	0.16	0.62	12	0.025	6.77
7	Min	1.06	2.64	23.88	24.26	22.42	564	5.727	44.28
	Max	1.64	4.02	24.32	24.57	24.42	627	5.867	58.89
	Ort.	**1.43**	**3.51**	**24.09**	**24.43**	**23.36**	**595**	**5.789**	**50.68**
	SS	0.23	0.54	0.16	0.12	0.70	21	0.050	5.54
10	Min	1.25	3.08	23.76	24.08	22.94	567	5.568	38.83
	Max	1.68	4.12	24.21	24.51	25.75	614	5.754	59.09
	Ort.	**1.48**	**3.62**	**24.04**	**24.40**	**23.68**	**593**	**5.658**	**50.54**
	SS	0.17	0.41	0.15	0.16	1.05	17	0.077	6.84
14	Min	1.32	3.21	23.20	23.59	23.35	575	5.440	42.95
	Max	1.80	4.38	24.19	24.58	24.00	619	5.729	55.17
	Ort.	**1.58**	**3.83**	**23.88**	**24.26**	**23.69**	**590**	**5.634**	**48.50**
	SS	0.16	0.38	0.36	0.36	0.23	16	0.105	4.26
20	Min	1.60	3.82	23.41	23.79	23.75	562	5.284	43.00
	Max	2.08	4.99	24.11	24.50	24.53	606	5.803	48.05
	Ort.	**1.71**	**4.14**	**23.71**	**24.12**	**24.12**	**587**	**5.577**	**45.66**
	SS	0.19	0.43	0.29	0.28	0.32	18	0.180	2.02
28	Min	1.66	4.09	23.77	24.20	23.89	558	5.223	37.69
	Max	1.92	4.70	24.20	24.60	24.60	603	5.672	48.89
	Ort.	**1.82**	**4.45**	**24.00**	**24.44**	**24.21**	**581**	**5.562**	**43.35**
	SS	0.09	0.20	0.14	0.14	0.26	20	0.172	4.06
35	Min	1.65	4.08	23.53	24.02	23.66	556	5.288	38.66
	Max	2.08	4.99	24.20	24.64	25.32	597	5.759	45.59
	Ort.	**1.87**	**4.56**	**23.90**	**24.35**	**24.83**	**579**	**5.543**	**42.35**
	SS	0.13	0.29	0.26	0.24	0.63	14	0.193	2.51
56	Min	1.68	4.12	23.04	23.54	22.08	541	5.102	36.29
	Max	2.24	5.29	24.00	24.40	27.01	592	5.762	43.16
	Ort.	**2.01**	**4.83**	**23.59**	**24.06**	**24.97**	**569**	**5.479**	**39.77**
	SS	0.19	0.41	0.38	0.35	1.61	19	0.247	2.57
70	Min	1.93	4.67	23.58	24.04	23.48	548	5.273	33.77
	Max	2.21	5.39	23.91	24.44	26.07	574	5.459	45.93
	Ort.	**2.05**	**4.98**	**23.77**	**24.26**	**25.09**	**565**	**5.367**	**38.23**
	SS	0.12	0.30	0.11	0.13	0.90	9	0.080	4.60
84	Min	1.80	4.36	23.40	23.88	23.48	544	5.108	28.53
	Max	2.25	5.38	23.81	24.24	28.43	583	5.582	40.99
	Ort.	**2.02**	**4.87**	**23.63**	**24.10**	**25.68**	**561**	**5.363**	**36.56**
	SS	0.14	0.32	0.15	0.13	1.78	16	0.186	4.38

Tablo A.17: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DT2 örnek grubu).

Kod: DT2		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.87	2.12	23.39	23.75	21.20	569	5.127	51.46
	Max	2.60	6.19	23.95	24.36	23.57	636	6.255	69.51
	Ort.	**1.66**	**3.99**	**23.66**	**24.06**	**22.25**	**609**	**5.851**	**57.55**
	SS	0.60	1.42	0.18	0.15	0.69	23	0.300	6.49
4	Min	0.78	1.90	22.98	23.49	21.58	595	5.600	36.19
	Max	2.28	5.48	23.88	24.11	23.85	632	5.968	72.61
	Ort.	**1.68**	**4.01**	**23.48**	**23.87**	**22.54**	**608**	**5.765**	**52.12**
	SS	0.56	1.31	0.29	0.24	0.82	14	0.134	13.07
7	Min	1.23	3.03	23.74	24.11	21.66	583	5.437	44.19
	Max	2.30	5.58	24.13	24.42	24.28	617	5.875	54.03
	Ort.	**1.63**	**3.97**	**23.88**	**24.27**	**23.02**	**599**	**5.756**	**50.13**
	SS	0.37	0.89	0.16	0.12	0.99	12	0.161	3.46
10	Min	0.54	1.31	22.78	23.38	22.57	548	5.448	40.39
	Max	2.65	6.14	24.09	24.43	25.60	612	5.845	61.44
	Ort.	**1.73**	**4.08**	**23.40**	**23.80**	**23.81**	**583**	**5.648**	**48.82**
	SS	0.71	1.62	0.52	0.40	1.03	25	0.156	9.69
14	Min	1.11	2.72	23.41	23.99	23.45	557	5.466	41.71
	Max	2.47	5.89	24.04	24.33	24.49	604	5.713	52.54
	Ort.	**1.69**	**4.10**	**23.81**	**24.21**	**23.85**	**570**	**5.605**	**46.62**
	SS	0.57	1.34	0.23	0.13	0.38	18	0.083	3.89
20	Min	1.38	3.35	22.57	23.31	22.76	534	5.141	30.88
	Max	3.28	7.56	23.83	24.16	26.94	592	5.879	50.63
	Ort.	**1.98**	**4.68**	**23.37**	**23.83**	**23.94**	**567**	**5.589**	**44.83**
	SS	0.69	1.53	0.49	0.35	1.52	20	0.266	7.31
28	Min	1.48	3.61	23.40	23.86	21.82	526	5.138	34.54
	Max	2.76	6.60	24.13	24.58	24.96	593	5.865	46.26
	Ort.	**1.96**	**4.72**	**23.66**	**24.13**	**24.00**	**566**	**5.556**	**42.43**
	SS	0.44	1.03	0.27	0.26	1.12	22	0.284	4.26
35	Min	1.71	4.09	23.15	23.69	22.14	543	5.422	34.98
	Max	2.70	6.43	23.53	24.04	27.72	595	5.622	46.29
	Ort.	**2.21**	**5.25**	**23.32**	**23.83**	**24.43**	**566**	**5.501**	**40.17**
	SS	0.42	0.99	0.14	0.13	2.14	17	0.083	4.22
56	Min	1.92	4.61	23.40	23.88	24.22	539	4.970	31.79
	Max	2.62	6.26	23.92	24.45	25.17	586	5.722	47.43
	Ort.	**2.22**	**5.34**	**23.55**	**24.08**	**24.57**	**561**	**5.442**	**38.53**
	SS	0.25	0.60	0.19	0.20	0.38	15	0.267	5.11
70	Min	1.80	4.41	22.53	23.08	23.55	533	5.039	29.88
	Max	2.47	5.91	24.06	24.50	27.01	566	5.651	49.17
	Ort.	**2.26**	**5.37**	**23.38**	**23.90**	**24.88**	**553**	**5.302**	**37.57**
	SS	0.27	0.57	0.55	0.51	1.43	12	0.243	7.77
84	Min	1.64	4.01	23.14	23.86	23.88	537	4.911	27.34
	Max	3.12	7.36	24.01	24.41	26.77	564	5.548	46.72
	Ort.	**2.19**	**5.23**	**23.56**	**24.08**	**25.03**	**550**	**5.239**	**35.23**
	SS	0.56	1.26	0.34	0.23	1.14	10	0.257	6.54

Tablo A.18: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DT3 örnek grubu).

Kod: DT3		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	1.34	3.24	23.01	23.56	21.38	579	5.743	46.14
	Max	2.40	5.62	23.87	24.25	23.91	631	6.062	73.35
	Ort.	**1.65**	**3.97**	**23.65**	**24.04**	**22.48**	**605**	**5.932**	**60.24**
	SS	0.28	0.63	0.24	0.20	0.75	15	0.089	9.13
4	Min	1.28	3.16	23.20	23.65	22.26	596	5.776	45.01
	Max	1.92	4.55	24.20	24.51	23.42	609	5.956	58.92
	Ort.	**1.67**	**4.02**	**23.71**	**24.10**	**22.82**	**600**	**5.859**	**54.46**
	SS	0.21	0.47	0.34	0.31	0.41	5	0.065	5.29
7	Min	1.53	3.71	23.38	23.80	22.23	566	5.638	44.41
	Max	1.81	4.31	23.97	24.35	23.27	616	5.888	64.71
	Ort.	**1.69**	**4.06**	**23.60**	**24.00**	**22.83**	**592**	**5.775**	**51.73**
	SS	0.11	0.23	0.23	0.22	0.35	20	0.094	7.94
10	Min	1.54	3.78	23.61	24.03	22.53	574	5.599	42.09
	Max	1.81	4.39	24.11	24.48	23.49	602	5.693	65.10
	Ort.	**1.67**	**4.06**	**23.91**	**24.30**	**23.04**	**585**	**5.644**	**50.97**
	SS	0.11	0.24	0.19	0.17	0.31	10	0.038	8.59
14	Min	1.31	3.22	23.40	23.87	22.61	563	5.291	37.67
	Max	2.02	4.81	24.18	24.50	24.94	592	5.803	57.97
	Ort.	**1.83**	**4.40**	**23.64**	**24.07**	**23.75**	**581**	**5.597**	**50.58**
	SS	0.27	0.60	0.28	0.23	0.77	11	0.169	7.04
20	Min	1.72	4.15	23.62	24.05	22.88	557	5.271	34.13
	Max	1.98	4.77	23.86	24.33	25.20	600	5.684	62.17
	Ort.	**1.85**	**4.48**	**23.70**	**24.14**	**23.94**	**576**	**5.575**	**49.23**
	SS	0.10	0.25	0.09	0.10	0.94	15	0.155	12.48
28	Min	1.61	3.93	23.28	23.80	23.44	534	5.403	29.77
	Max	2.22	5.26	24.01	24.43	25.32	597	5.707	61.48
	Ort.	**1.87**	**4.54**	**23.83**	**24.28**	**23.99**	**576**	**5.569**	**46.20**
	SS	0.21	0.47	0.28	0.24	0.69	23	0.113	10.85
35	Min	1.94	4.73	23.49	24.00	23.60	541	5.264	31.82
	Max	2.21	5.30	23.93	24.39	24.77	593	5.698	48.92
	Ort.	**2.07**	**4.99**	**23.72**	**24.21**	**24.10**	**574**	**5.511**	**42.45**
	SS	0.12	0.25	0.18	0.15	0.41	20	0.144	5.75
56	Min	1.87	4.52	23.26	23.80	23.57	536	5.392	35.33
	Max	2.34	5.54	23.68	24.13	25.73	588	5.544	49.93
	Ort.	**2.17**	**5.18**	**23.43**	**23.94**	**24.32**	**562**	**5.446**	**40.54**
	SS	0.17	0.37	0.16	0.12	0.80	18	0.055	5.15
70	Min	1.99	4.86	23.32	23.86	23.82	511	5.130	26.18
	Max	2.36	5.65	23.98	24.46	25.77	605	5.751	48.51
	Ort.	**2.16**	**5.21**	**23.66**	**24.17**	**24.71**	**562**	**5.428**	**39.00**
	SS	0.17	0.35	0.26	0.23	0.72	36	0.261	8.15
84	Min	1.85	4.46	23.19	23.71	23.17	510	5.248	27.69
	Max	2.71	6.40	23.66	24.10	28.00	570	5.493	50.78
	Ort.	**2.23**	**5.31**	**23.35**	**23.87**	**25.45**	**541**	**5.382**	**38.16**
	SS	0.29	0.65	0.17	0.13	1.54	19	0.091	8.17

Tablo A.19: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DT4 örnek grubu).

Kod: DT4		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	1.51	3.62	21.65	22.36	23.67	468	4.604	46.64
	Max	3.24	7.16	23.66	24.22	26.82	599	5.403	66.35
	Ort.	**2.51**	**5.88**	**23.09**	**23.67**	**25.45**	**552**	**5.165**	**54.90**
	SS	0.51	1.07	0.67	0.60	0.90	35	0.274	6.03
4	Min	2.35	5.67	22.15	22.84	24.06	527	4.543	36.93
	Max	3.32	7.49	23.72	24.28	27.21	575	5.369	63.96
	Ort.	**2.71**	**6.30**	**22.92**	**23.54**	**25.77**	**541**	**5.148**	**50.46**
	SS	0.35	0.66	0.63	0.59	1.33	18	0.306	10.68
7	Min	2.11	5.09	22.76	23.44	25.31	520	4.906	38.99
	Max	3.03	7.23	23.78	24.39	27.53	548	5.249	56.87
	Ort.	**2.71**	**6.45**	**23.35**	**23.98**	**25.83**	**533**	**5.109**	**47.18**
	SS	0.35	0.76	0.37	0.33	0.86	9	0.122	7.40
10	Min	2.20	5.28	22.21	23.03	23.76	479	4.896	36.59
	Max	3.72	8.42	23.61	24.20	28.95	568	5.091	53.95
	Ort.	**2.85**	**6.67**	**23.09**	**23.74**	**26.08**	**527**	**4.993**	**45.76**
	SS	0.53	1.08	0.53	0.43	2.16	33	0.082	6.13
14	Min	2.43	5.72	22.18	23.02	24.48	500	4.934	25.97
	Max	3.78	8.54	23.39	23.97	28.71	555	5.219	55.60
	Ort.	**2.85**	**6.64**	**22.97**	**23.62**	**26.07**	**528**	**5.056**	**43.32**
	SS	0.52	1.08	0.42	0.33	1.45	20	0.093	9.92
20	Min	2.07	5.01	21.95	22.86	26.63	490	4.716	32.29
	Max	4.16	9.30	23.80	24.29	27.07	549	5.129	49.00
	Ort.	**3.01**	**7.00**	**22.93**	**23.62**	**26.82**	**520**	**4.955**	**42.34**
	SS	0.68	1.39	0.61	0.48	0.16	24	0.188	5.79
28	Min	2.83	6.74	22.53	23.31	26.10	486	4.676	30.36
	Max	3.44	7.90	23.49	24.18	28.08	516	5.201	44.57
	Ort.	**3.10**	**7.31**	**23.16**	**23.87**	**27.01**	**501**	**5.008**	**39.53**
	SS	0.21	0.39	0.33	0.30	0.83	10	0.193	5.50
35	Min	2.45	5.82	21.83	22.73	25.30	444	4.692	25.97
	Max	4.12	9.16	23.44	24.03	30.47	528	5.134	48.92
	Ort.	**3.16**	**7.31**	**22.81**	**23.53**	**27.57**	**496**	**4.924**	**40.03**
	SS	0.69	1.41	0.60	0.47	1.86	29	0.147	8.18
56	Min	2.55	6.09	22.48	23.42	22.22	473	4.682	27.58
	Max	4.16	9.52	23.46	24.06	30.35	511	5.107	44.27
	Ort.	**3.18**	**7.46**	**23.08**	**23.81**	**28.03**	**493**	**4.838**	**37.13**
	SS	0.54	1.14	0.35	0.24	2.95	15	0.153	5.62
70	Min	2.65	6.32	21.70	22.78	25.43	475	4.495	20.81
	Max	4.97	11.00	23.53	24.19	30.11	499	4.992	44.72
	Ort.	**3.20**	**7.46**	**23.11**	**23.84**	**28.51**	**487**	**4.760**	**35.71**
	SS	0.89	1.78	0.71	0.53	1.73	10	0.171	8.54
84	Min	2.93	7.00	23.16	23.90	27.50	441	4.466	31.73
	Max	3.21	7.62	23.44	24.13	30.17	516	4.832	37.03
	Ort.	**3.15**	**7.47**	**23.28**	**24.01**	**28.72**	**482**	**4.675**	**34.32**
	SS	0.11	0.23	0.10	0.09	1.21	25	0.123	1.74

Tablo A.20: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KB örnek grubu).

Kod: KB		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.77	2.11	26.31	26.62	18.68	682	5.447	94.95
	Max	1.18	3.15	26.99	27.22	20.09	770	5.900	157.11
	Ort.	**0.89**	**2.41**	**26.71**	**26.95**	**19.29**	**729**	**5.719**	**127.36**
	SS	0.11	0.30	0.21	0.19	0.38	26	0.148	20.32
4	Min	0.86	2.36	26.68	26.96	18.74	713	5.458	105.74
	Max	1.04	2.83	26.87	27.11	20.46	739	5.722	133.50
	Ort.	**0.94**	**2.56**	**26.78**	**27.03**	**19.53**	**724**	**5.630**	**120.26**
	SS	0.06	0.16	0.07	0.05	0.59	12	0.093	10.24
7	Min	0.85	2.34	26.55	26.88	19.54	666	5.424	109.72
	Max	1.25	3.39	26.96	27.19	20.04	749	5.843	131.76
	Ort.	**1.04**	**2.82**	**26.78**	**27.05**	**19.80**	**719**	**5.645**	**120.17**
	SS	0.13	0.34	0.13	0.10	0.19	29	0.140	9.71
10	Min	0.98	2.70	26.76	27.08	18.63	697	5.569	98.49
	Max	1.16	3.17	27.00	27.30	21.52	722	5.840	148.98
	Ort.	**1.06**	**2.90**	**26.91**	**27.19**	**19.91**	**713**	**5.676**	**122.21**
	SS	0.07	0.19	0.08	0.08	1.03	8	0.110	18.23
14	Min	0.94	2.59	26.56	26.88	19.70	639	5.476	89.32
	Max	1.20	3.27	26.99	27.25	20.78	737	5.742	135.76
	Ort.	**1.07**	**2.93**	**26.79**	**27.07**	**20.23**	**703**	**5.644**	**112.56**
	SS	0.11	0.27	0.15	0.12	0.36	35	0.096	19.21
20	Min	0.99	2.73	26.59	26.93	20.02	691	5.445	85.55
	Max	1.29	3.50	27.03	27.29	20.51	714	5.818	133.68
	Ort.	**1.11**	**3.04**	**26.85**	**27.15**	**20.23**	**702**	**5.679**	**108.73**
	SS	0.11	0.28	0.15	0.13	0.20	8	0.136	19.71
28	Min	1.06	2.91	26.69	27.02	20.25	648	5.440	84.09
	Max	1.23	3.35	27.01	27.32	21.22	720	5.770	125.47
	Ort.	**1.16**	**3.17**	**26.81**	**27.12**	**20.64**	**686**	**5.644**	**105.32**
	SS	0.06	0.16	0.11	0.10	0.32	28	0.125	17.27
35	Min	1.14	3.13	26.81	27.12	18.82	636	5.499	84.29
	Max	1.23	3.38	27.01	27.32	22.36	700	5.690	116.71
	Ort.	**1.16**	**3.19**	**26.92**	**27.23**	**20.75**	**676**	**5.578**	**106.46**
	SS	0.03	0.09	0.06	0.07	1.31	22	0.066	11.49
56	Min	1.12	3.04	26.60	26.93	19.34	660	5.333	72.63
	Max	1.30	3.54	26.85	27.15	23.92	690	5.651	124.62
	Ort.	**1.20**	**3.28**	**26.74**	**27.06**	**20.86**	**675**	**5.532**	**101.81**
	SS	0.07	0.18	0.09	0.08	1.62	12	0.112	21.85
70	Min	1.07	2.99	26.75	27.09	19.70	653	5.309	89.20
	Max	1.30	3.54	27.27	27.56	23.18	688	5.628	108.02
	Ort.	**1.22**	**3.34**	**26.91**	**27.24**	**21.22**	**673**	**5.471**	**97.42**
	SS	0.08	0.20	0.19	0.17	1.15	13	0.112	6.50
84	Min	1.16	3.17	26.74	27.08	20.27	642	5.286	61.58
	Max	1.29	3.51	26.97	27.29	22.50	693	5.396	120.62
	Ort.	**1.20**	**3.28**	**26.82**	**27.14**	**21.22**	**671**	**5.354**	**96.24**
	SS	0.05	0.12	0.08	0.08	0.73	19	0.042	23.91

Tablo A.21: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KK örnek grubu).

Kod: KK		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.17	0.49	27.54	27.60	15.07	636	4.163	70.27
	Max	0.42	1.19	28.23	28.30	19.02	703	5.103	199.38
	Ort.	**0.24**	**0.68**	**27.90**	**27.97**	**16.57**	**670**	**4.618**	**112.29**
	SS	0.07	0.20	0.24	0.24	1.11	18	0.303	36.82
4	Min	0.19	0.55	27.76	27.84	16.18	649	4.110	58.15
	Max	0.31	0.89	28.20	28.25	17.76	693	4.722	143.63
	Ort.	**0.27**	**0.77**	**27.99**	**28.07**	**16.83**	**667**	**4.507**	**109.09**
	SS	0.04	0.13	0.15	0.15	0.76	14	0.220	34.91
7	Min	0.24	0.70	27.45	27.55	16.49	634	4.049	54.33
	Max	0.39	1.10	28.16	28.23	16.99	687	5.151	131.80
	Ort.	**0.32**	**0.91**	**27.92**	**28.01**	**16.85**	**664**	**4.443**	**103.64**
	SS	0.05	0.14	0.26	0.25	0.19	17	0.378	26.74
10	Min	0.28	0.79	27.84	27.92	16.51	641	4.161	88.09
	Max	0.42	1.20	28.09	28.20	17.25	706	5.009	126.17
	Ort.	**0.34**	**0.97**	**27.98**	**28.08**	**16.85**	**662**	**4.469**	**107.07**
	SS	0.05	0.15	0.10	0.10	0.28	24	0.288	12.37
14	Min	0.27	0.75	27.68	27.76	17.00	631	3.893	87.22
	Max	0.47	1.33	28.11	28.19	17.75	677	5.398	117.11
	Ort.	**0.33**	**0.95**	**27.95**	**28.04**	**17.25**	**658**	**4.492**	**104.20**
	SS	0.07	0.20	0.16	0.16	0.27	16	0.579	11.02
20	Min	0.28	0.80	27.78	27.92	17.28	631	3.920	66.85
	Max	0.51	1.45	28.22	28.30	17.63	666	4.658	116.53
	Ort.	**0.35**	**1.00**	**28.02**	**28.12**	**17.42**	**648**	**4.267**	**99.21**
	SS	0.08	0.24	0.16	0.15	0.12	12	0.265	17.86
28	Min	0.35	1.01	27.39	27.50	16.80	599	3.976	72.56
	Max	0.40	1.12	28.07	28.18	18.17	671	4.328	134.25
	Ort.	**0.37**	**1.05**	**27.72**	**27.82**	**17.39**	**636**	**4.149**	**94.99**
	SS	0.02	0.04	0.26	0.26	0.59	29	0.147	23.46
35	Min	0.36	1.02	27.40	27.51	16.38	582	3.777	85.04
	Max	0.50	1.42	27.89	27.98	18.27	648	4.505	113.08
	Ort.	**0.43**	**1.20**	**27.63**	**27.75**	**17.59**	**627**	**4.112**	**92.01**
	SS	0.05	0.14	0.16	0.16	0.78	23	0.301	10.72
56	Min	0.39	1.09	27.53	27.63	16.07	617	3.544	71.75
	Max	0.50	1.41	27.85	27.99	19.26	638	4.316	97.88
	Ort.	**0.44**	**1.23**	**27.66**	**27.78**	**17.56**	**627**	**3.973**	**86.41**
	SS	0.04	0.13	0.13	0.14	1.23	7	0.286	8.99
70	Min	0.40	1.14	27.43	27.56	17.32	598	3.622	64.95
	Max	0.51	1.45	27.82	27.93	17.97	629	4.247	93.70
	Ort.	**0.44**	**1.25**	**27.70**	**27.82**	**17.62**	**616**	**3.900**	**83.55**
	SS	0.04	0.11	0.14	0.13	0.23	12	0.231	9.80
84	Min	0.42	1.19	27.68	27.80	17.25	601	3.721	65.10
	Max	0.50	1.42	27.72	27.84	18.15	620	4.029	96.53
	Ort.	**0.45**	**1.26**	**27.70**	**27.82**	**17.63**	**613**	**3.889**	**81.75**
	SS	0.03	0.09	0.01	0.02	0.37	7	0.124	11.43

Tablo A.22: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KT örnek grubu).

Kod: KT		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.71	1.78	23.69	24.00	22.71	551	4.795	44.41
	Max	1.30	3.14	24.58	24.78	27.00	604	5.659	66.40
	Ort.	**0.94**	**2.32**	**24.29**	**24.51**	**24.14**	**583**	**5.259**	**56.01**
	SS	0.17	0.40	0.28	0.24	1.41	16	0.263	7.27
4	Min	0.78	1.96	23.98	24.22	21.94	557	5.021	44.20
	Max	1.05	2.60	24.63	24.83	27.09	602	5.398	55.73
	Ort.	**0.90**	**2.23**	**24.36**	**24.58**	**24.26**	**576**	**5.149**	**51.63**
	SS	0.10	0.24	0.22	0.20	1.81	17	0.137	4.05
7	Min	0.86	2.16	23.45	23.78	23.85	559	4.822	41.12
	Max	1.39	3.32	24.59	24.80	25.40	598	5.339	64.33
	Ort.	**1.06**	**2.60**	**24.11**	**24.37**	**24.52**	**576**	**5.067**	**50.90**
	SS	0.19	0.41	0.39	0.35	0.57	14	0.171	7.83
10	Min	0.98	2.43	23.72	24.03	24.12	505	4.559	41.44
	Max	1.32	3.19	24.41	24.67	26.22	620	5.216	53.33
	Ort.	**1.14**	**2.79**	**24.11**	**24.38**	**25.33**	**569**	**4.970**	**48.27**
	SS	0.12	0.28	0.22	0.20	0.91	39	0.222	4.73
14	Min	1.00	2.50	23.37	23.71	23.85	538	4.764	43.66
	Max	1.46	3.49	24.69	24.98	27.96	583	5.230	54.89
	Ort.	**1.20**	**2.96**	**24.29**	**24.58**	**25.87**	**563**	**4.938**	**47.98**
	SS	0.15	0.32	0.48	0.45	1.48	15	0.170	4.13
20	Min	1.12	2.81	23.99	24.33	24.56	540	4.496	39.57
	Max	1.52	3.76	24.76	25.06	27.60	573	5.091	52.40
	Ort.	**1.30**	**3.22**	**24.38**	**24.70**	**26.34**	**561**	**4.808**	**45.37**
	SS	0.15	0.34	0.26	0.24	1.05	11	0.240	4.79
28	Min	1.17	2.95	23.98	24.30	25.92	533	4.686	34.54
	Max	1.47	3.62	24.61	24.90	26.67	588	5.002	46.52
	Ort.	**1.33**	**3.27**	**24.26**	**24.58**	**26.38**	**556**	**4.790**	**41.42**
	SS	0.11	0.25	0.21	0.20	0.28	21	0.109	4.88
35	Min	1.07	2.70	23.60	24.03	25.86	509	4.572	31.48
	Max	1.83	4.41	24.74	25.01	27.63	571	4.996	46.79
	Ort.	**1.45**	**3.56**	**24.12**	**24.47**	**26.84**	**551**	**4.776**	**40.27**
	SS	0.27	0.61	0.38	0.32	0.60	22	0.137	5.61
56	Min	1.25	3.12	23.64	24.01	22.89	512	4.439	33.49
	Max	1.56	3.76	24.48	24.79	28.71	578	5.055	42.60
	Ort.	**1.43**	**3.51**	**24.15**	**24.49**	**26.83**	**553**	**4.747**	**38.43**
	SS	0.11	0.24	0.30	0.28	2.06	24	0.208	3.44
70	Min	1.18	2.95	23.47	23.99	25.14	519	4.283	31.46
	Max	2.22	5.32	24.60	24.89	30.01	575	5.076	43.03
	Ort.	**1.49**	**3.65**	**24.05**	**24.41**	**27.18**	**543**	**4.731**	**36.68**
	SS	0.38	0.86	0.40	0.34	1.93	19	0.276	4.82
84	Min	1.26	3.17	23.71	24.10	24.78	497	4.126	28.22
	Max	1.64	3.96	24.74	25.05	28.79	559	5.096	46.79
	Ort.	**1.46**	**3.60**	**24.18**	**24.53**	**27.42**	**529**	**4.623**	**35.05**
	SS	0.14	0.29	0.40	0.37	1.40	25	0.316	7.31

Tablo A.23: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (MD örnek grubu).

Kod: MD		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.19	0.54	27.67	27.74	22.22	624	3.355	103.23
	Max	0.24	0.69	27.78	27.83	24.08	658	4.204	147.41
	Ort.	**0.21**	**0.60**	**27.75**	**27.81**	**23.30**	**646**	**3.624**	**129.32**
	SS	0.01	0.04	0.03	0.03	0.61	9	0.222	13.93
4	Min	0.18	0.52	27.76	27.82	22.82	631	2.957	124.12
	Max	0.22	0.63	27.84	27.89	24.19	652	4.121	140.16
	Ort.	**0.20**	**0.56**	**27.80**	**27.86**	**23.57**	**645**	**3.608**	**132.08**
	SS	0.01	0.04	0.03	0.02	0.45	8	0.482	5.32
7	Min	0.17	0.49	27.75	27.81	22.41	621	3.269	104.97
	Max	0.22	0.63	27.82	27.87	24.95	654	3.940	139.80
	Ort.	**0.19**	**0.55**	**27.79**	**27.84**	**23.91**	**640**	**3.528**	**126.34**
	SS	0.02	0.05	0.03	0.02	1.09	11	0.238	12.94
10	Min	0.19	0.55	27.74	27.80	23.52	631	3.263	99.57
	Max	0.25	0.70	27.82	27.88	24.18	654	3.821	150.14
	Ort.	**0.21**	**0.59**	**27.79**	**27.85**	**23.96**	**639**	**3.540**	**125.64**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.03	0.26	9	0.221	21.34
14	Min	0.20	0.57	27.75	27.81	23.22	630	3.171	103.58
	Max	0.22	0.63	27.78	27.84	24.30	635	3.663	138.52
	Ort.	**0.21**	**0.60**	**27.77**	**27.83**	**23.72**	**633**	**3.467**	**121.26**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.42	2	0.170	11.08
20	Min	0.20	0.57	27.77	27.83	22.19	630	2.967	105.49
	Max	0.22	0.63	27.80	27.86	25.89	638	3.521	130.29
	Ort.	**0.21**	**0.59**	**27.79**	**27.84**	**24.17**	**635**	**3.370**	**118.85**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	1.19	3	0.204	8.79
28	Min	0.20	0.58	27.76	27.83	23.23	623	2.647	88.60
	Max	0.23	0.65	27.82	27.88	25.58	641	3.463	123.32
	Ort.	**0.22**	**0.63**	**27.78**	**27.84**	**24.19**	**633**	**3.244**	**113.94**
	SS	0.01	0.03	0.02	0.02	0.83	6	0.306	13.30
35	Min	0.22	0.62	27.75	27.82	23.77	621	2.995	101.17
	Max	0.24	0.69	27.79	27.85	25.52	629	3.300	117.85
	Ort.	**0.23**	**0.64**	**27.77**	**27.84**	**24.59**	**626**	**3.108**	**112.17**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.56	3	0.110	6.27
56	Min	0.21	0.60	27.73	27.80	23.92	615	2.751	91.96
	Max	0.24	0.69	27.77	27.83	25.35	626	3.193	123.66
	Ort.	**0.23**	**0.65**	**27.75**	**27.81**	**24.65**	**620**	**2.990**	**111.85**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.46	4	0.155	12.88
70	Min	0.23	0.66	27.73	27.81	22.48	605	2.652	87.57
	Max	0.29	0.81	27.79	27.85	27.14	623	3.634	144.53
	Ort.	**0.27**	**0.75**	**27.76**	**27.84**	**25.36**	**613**	**2.927**	**110.06**
	SS	0.02	0.05	0.02	0.02	1.81	7	0.362	21.69
84	Min	0.24	0.68	27.70	27.79	24.94	601	2.848	65.28
	Max	0.30	0.84	27.78	27.84	25.57	617	3.040	130.39
	Ort.	**0.27**	**0.76**	**27.74**	**27.81**	**25.35**	**610**	**2.966**	**101.84**
	SS	0.02	0.07	0.03	0.02	0.22	5	0.067	21.21

Tablo A.24: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (TS örnek grubu).

Kod: TS		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.07	0.20	26.75	26.80	17.87	712	5.900	80.53
	Max	0.29	0.80	27.21	27.25	20.32	746	6.907	143.69
	Ort.	**0.16**	**0.44**	**26.93**	**26.98**	**19.19**	**728**	**6.549**	**97.61**
	SS	0.06	0.17	0.14	0.14	0.65	11	0.260	17.05
4	Min	0.14	0.39	26.81	26.85	18.77	699	6.333	67.57
	Max	0.19	0.54	27.24	27.30	19.77	735	6.677	113.15
	Ort.	**0.17**	**0.47**	**27.01**	**27.05**	**19.34**	**720**	**6.542**	**93.06**
	SS	0.02	0.06	0.18	0.18	0.33	15	0.131	18.18
7	Min	0.14	0.37	26.78	26.82	18.93	701	6.369	65.70
	Max	0.21	0.58	27.08	27.12	20.24	727	6.751	120.48
	Ort.	**0.17**	**0.46**	**26.88**	**26.92**	**19.65**	**717**	**6.558**	**90.59**
	SS	0.03	0.07	0.11	0.11	0.46	9	0.130	18.99
10	Min	0.18	0.50	26.74	26.79	19.25	692	6.373	76.99
	Max	0.23	0.63	27.13	27.18	20.46	732	6.543	107.57
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.97**	**27.02**	**19.73**	**713**	**6.465**	**87.38**
	SS	0.02	0.05	0.13	0.13	0.44	15	0.067	11.09
14	Min	0.16	0.44	26.75	26.81	19.56	696	5.963	69.88
	Max	0.31	0.87	27.24	27.32	20.45	733	6.540	110.92
	Ort.	**0.22**	**0.60**	**26.91**	**26.97**	**19.97**	**710**	**6.342**	**87.46**
	SS	0.05	0.14	0.17	0.19	0.29	13	0.201	15.59
20	Min	0.20	0.54	26.78	26.84	19.56	700	6.175	63.22
	Max	0.25	0.68	27.12	27.18	20.82	715	6.549	101.80
	Ort.	**0.23**	**0.62**	**26.90**	**26.96**	**20.07**	**709**	**6.388**	**82.13**
	SS	0.02	0.05	0.12	0.12	0.43	5	0.131	14.09
28	Min	0.24	0.65	26.82	26.89	19.43	701	6.094	59.93
	Max	0.26	0.73	27.19	27.26	20.88	721	6.400	103.56
	Ort.	**0.25**	**0.69**	**26.98**	**27.05**	**20.13**	**712**	**6.305**	**83.25**
	SS	0.01	0.03	0.15	0.15	0.48	8	0.114	16.41
35	Min	0.24	0.67	26.80	26.87	20.15	699	6.027	58.31
	Max	0.35	0.97	27.18	27.27	20.42	721	6.388	96.48
	Ort.	**0.28**	**0.78**	**26.99**	**27.07**	**20.23**	**708**	**6.264**	**81.21**
	SS	0.03	0.10	0.12	0.13	0.10	8	0.136	13.22
56	Min	0.25	0.67	26.63	26.71	19.40	699	6.048	59.57
	Max	0.33	0.91	27.28	27.37	21.46	718	6.390	103.37
	Ort.	**0.29**	**0.81**	**26.85**	**26.93**	**20.67**	**709**	**6.189**	**77.54**
	SS	0.03	0.08	0.23	0.23	0.84	7	0.119	14.90
70	Min	0.32	0.88	26.69	26.78	20.55	697	6.118	59.67
	Max	0.36	0.97	26.83	26.92	21.10	712	6.235	86.91
	Ort.	**0.34**	**0.92**	**26.76**	**26.85**	**20.87**	**704**	**6.146**	**75.41**
	SS	0.01	0.03	0.05	0.05	0.20	6	0.045	8.97
84	Min	0.31	0.85	26.69	26.78	19.84	685	5.961	65.87
	Max	0.35	0.95	27.04	27.13	21.35	705	6.183	92.86
	Ort.	**0.33**	**0.89**	**26.89**	**26.97**	**20.79**	**697**	**6.111**	**75.74**
	SS	0.01	0.04	0.14	0.14	0.62	8	0.088	10.21

Tablo A.25: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BB örnek grubu).

Kod: BB		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.12	0.31	25.67	25.78	15.12	653	5.697	65.03
	Max	0.47	1.24	26.50	26.53	21.18	729	6.524	92.46
	Ort.	**0.36**	**0.96**	**26.12**	**26.21**	**18.58**	**697**	**6.120**	**78.28**
	SS	0.10	0.27	0.22	0.20	1.63	23	0.213	8.88
4	Min	0.24	0.66	26.04	26.17	18.01	657	5.926	67.04
	Max	0.52	1.38	26.49	26.55	19.60	721	6.191	79.71
	Ort.	**0.36**	**0.97**	**26.31**	**26.41**	**18.77**	**694**	**6.096**	**74.28**
	SS	0.13	0.33	0.19	0.16	0.52	24	0.097	4.61
7	Min	0.30	0.80	25.75	25.88	17.47	655	5.674	65.00
	Max	0.51	1.33	26.35	26.44	20.85	730	6.248	79.46
	Ort.	**0.40**	**1.06**	**26.17**	**26.28**	**19.09**	**690**	**5.970**	**71.15**
	SS	0.08	0.20	0.22	0.20	1.11	28	0.183	5.29
10	Min	0.15	0.41	25.76	25.97	18.67	645	5.622	57.17
	Max	0.81	2.13	26.48	26.52	19.85	728	6.233	78.48
	Ort.	**0.42**	**1.12**	**26.19**	**26.30**	**19.33**	**685**	**5.903**	**66.89**
	SS	0.22	0.58	0.25	0.19	0.39	33	0.243	8.74
14	Min	0.28	0.76	26.01	26.16	18.81	626	5.584	52.87
	Max	0.58	1.55	26.39	26.46	20.34	707	6.044	78.84
	Ort.	**0.44**	**1.18**	**26.19**	**26.30**	**19.56**	**682**	**5.835**	**65.05**
	SS	0.10	0.26	0.13	0.10	0.52	30	0.166	10.00
20	Min	0.36	0.96	26.09	26.24	19.63	668	5.633	55.71
	Max	0.59	1.56	26.41	26.51	20.51	692	5.963	73.71
	Ort.	**0.46**	**1.22**	**26.28**	**26.40**	**19.97**	**680**	**5.784**	**61.83**
	SS	0.08	0.21	0.11	0.09	0.33	10	0.118	6.43
28	Min	0.33	0.89	26.00	26.19	18.84	638	5.541	51.47
	Max	0.74	1.95	26.41	26.50	21.10	702	5.778	68.08
	Ort.	**0.48**	**1.28**	**26.24**	**26.36**	**20.29**	**676**	**5.631**	**59.78**
	SS	0.14	0.36	0.13	0.10	0.77	23	0.083	5.29
35	Min	0.32	0.85	25.48	25.76	19.68	654	5.258	46.40
	Max	1.10	2.86	26.46	26.54	21.52	687	5.820	65.16
	Ort.	**0.53**	**1.39**	**26.21**	**26.34**	**20.38**	**671**	**5.614**	**57.23**
	SS	0.30	0.76	0.37	0.30	0.78	13	0.199	7.23
56	Min	0.38	1.03	25.97	26.16	19.77	614	5.371	44.87
	Max	0.71	1.89	26.36	26.46	21.10	694	5.754	66.45
	Ort.	**0.57**	**1.52**	**26.16**	**26.30**	**20.42**	**670**	**5.571**	**55.02**
	SS	0.11	0.29	0.13	0.10	0.47	30	0.139	8.14
70	Min	0.55	1.47	26.37	26.52	20.20	655	5.458	54.00
	Max	0.62	1.65	26.45	26.59	21.27	682	5.619	58.46
	Ort.	**0.58**	**1.57**	**26.41**	**26.56**	**20.55**	**668**	**5.541**	**55.71**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.03	0.38	10	0.061	1.68
84	Min	0.45	1.20	25.62	25.86	20.25	652	5.374	47.14
	Max	0.93	2.42	26.36	26.49	21.13	684	5.660	62.96
	Ort.	**0.63**	**1.66**	**26.09**	**26.25**	**20.59**	**663**	**5.522**	**54.59**
	SS	0.20	0.51	0.29	0.24	0.33	11	0.105	5.26

Tablo A.26: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BB2 örnek grubu).

Kod: BB2 DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	GD (mm)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	0.05	0.13	26.44	26.47	17.44	695	6.572	71.70
	Max	0.10	0.28	26.55	26.56	19.80	726	6.754	112.70
	Ort.	**0.08**	**0.21**	**26.51**	**26.53**	**18.49**	**712**	**6.649**	**90.01**
	SS	0.02	0.04	0.03	0.03	0.81	9	0.069	14.52
4	Min	0.06	0.16	26.46	26.49	18.28	691	6.355	78.95
	Max	0.12	0.33	26.56	26.58	19.14	723	6.650	95.90
	Ort.	**0.08**	**0.23**	**26.52**	**26.54**	**18.76**	**709**	**6.569**	**85.73**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.03	0.34	11	0.110	6.67
7	Min	0.09	0.25	26.46	26.50	18.69	705	6.508	62.74
	Max	0.13	0.34	26.56	26.58	19.51	713	6.548	102.84
	Ort.	**0.11**	**0.29**	**26.52**	**26.55**	**19.06**	**708**	**6.536**	**82.77**
	SS	0.01	0.03	0.04	0.03	0.30	3	0.015	12.79
10	Min	0.10	0.28	26.48	26.52	18.99	669	6.414	65.86
	Max	0.15	0.39	26.55	26.58	19.73	717	6.544	89.63
	Ort.	**0.12**	**0.33**	**26.52**	**26.55**	**19.19**	**705**	**6.489**	**80.06**
	SS	0.02	0.05	0.03	0.02	0.28	18	0.047	10.38
14	Min	0.12	0.33	26.50	26.54	18.83	694	6.340	56.37
	Max	0.15	0.40	26.68	26.72	20.62	714	6.518	87.05
	Ort.	**0.13**	**0.36**	**26.55**	**26.58**	**19.53**	**704**	**6.421**	**76.30**
	SS	0.01	0.03	0.07	0.07	0.61	7	0.059	10.80
20	Min	0.14	0.37	26.45	26.51	19.39	677	6.293	63.47
	Max	0.22	0.60	26.54	26.57	19.92	711	6.443	84.78
	Ort.	**0.16**	**0.43**	**26.51**	**26.55**	**19.79**	**699**	**6.371**	**75.56**
	SS	0.03	0.09	0.03	0.02	0.20	13	0.056	7.26
28	Min	0.15	0.42	26.48	26.54	19.24	672	6.269	56.47
	Max	0.22	0.58	26.56	26.60	20.50	710	6.414	84.25
	Ort.	**0.18**	**0.47**	**26.54**	**26.58**	**19.91**	**697**	**6.325**	**74.13**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.02	0.45	13	0.051	9.82
35	Min	0.12	0.32	26.18	26.31	19.91	688	6.096	48.92
	Max	0.50	1.33	26.59	26.62	20.24	707	6.374	88.99
	Ort.	**0.22**	**0.58**	**26.48**	**26.54**	**20.07**	**697**	**6.235**	**71.19**
	SS	0.14	0.38	0.15	0.12	0.11	8	0.111	14.95
56	Min	0.22	0.61	26.48	26.54	19.45	683	5.992	50.26
	Max	0.25	0.66	26.66	26.72	21.24	703	6.220	76.30
	Ort.	**0.23**	**0.63**	**26.52**	**26.58**	**20.15**	**693**	**6.093**	**68.07**
	SS	0.01	0.02	0.07	0.07	0.61	7	0.076	9.55
70	Min	0.14	0.38	26.29	26.44	19.94	681	5.992	52.78
	Max	0.56	1.51	26.59	26.63	21.18	702	6.142	75.60
	Ort.	**0.24**	**0.66**	**26.50**	**26.57**	**20.35**	**691**	**6.074**	**65.60**
	SS	0.16	0.43	0.11	0.07	0.45	7	0.050	8.77
84	Min	0.23	0.62	26.40	26.51	20.13	685	5.965	58.08
	Max	0.42	1.13	26.55	26.61	20.66	695	6.127	69.70
	Ort.	**0.28**	**0.76**	**26.50**	**26.58**	**20.53**	**692**	**6.062**	**64.38**
	SS	0.07	0.19	0.05	0.03	0.20	4	0.056	3.95

Tablo A.27: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (BG örnek grubu).

Kod: BG DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	0.28	0.76	26.28	26.36	819	4.879	92.70
	Max	0.33	0.89	26.33	26.41	837	5.169	112.21
	Ort.	**0.31**	**0.83**	**26.31**	**26.39**	**829**	**5.016**	**101.48**
	SS	0.01	0.04	0.02	0.02	6	0.095	7.53
4	Min	0.31	0.83	26.28	26.38	818	4.937	91.80
	Max	0.37	1.00	26.36	26.45	837	5.057	105.38
	Ort.	**0.34**	**0.92**	**26.32**	**26.41**	**825**	**4.965**	**98.60**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.02	7	0.046	5.10
7	Min	0.33	0.89	26.33	26.41	809	4.757	89.61
	Max	0.36	0.97	26.43	26.53	841	5.001	104.24
	Ort.	**0.35**	**0.93**	**26.37**	**26.46**	**822**	**4.929**	**97.06**
	SS	0.01	0.03	0.05	0.05	11	0.088	5.06
10	Min	0.34	0.92	26.28	26.38	813	4.877	76.02
	Max	0.37	1.00	26.31	26.40	827	4.965	100.89
	Ort.	**0.36**	**0.96**	**26.29**	**26.39**	**821**	**4.918**	**94.02**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	5	0.034	9.28
14	Min	0.35	0.95	26.27	26.37	812	4.781	78.81
	Max	0.41	1.09	26.38	26.49	824	5.067	95.81
	Ort.	**0.39**	**1.04**	**26.32**	**26.42**	**817**	**4.903**	**91.23**
	SS	0.02	0.05	0.05	0.04	4	0.114	6.29
20	Min	0.35	0.95	26.34	26.44	797	4.620	80.99
	Max	0.54	1.48	26.64	26.79	824	4.985	94.10
	Ort.	**0.40**	**1.08**	**26.42**	**26.52**	**814**	**4.892**	**88.42**
	SS	0.07	0.20	0.11	0.13	9	0.137	5.05
28	Min	0.37	1.00	26.30	26.40	796	4.724	81.43
	Max	0.54	1.46	26.72	26.86	826	5.082	93.16
	Ort.	**0.42**	**1.13**	**26.41**	**26.53**	**811**	**4.876**	**86.36**
	SS	0.06	0.17	0.15	0.17	10	0.156	3.81
35	Min	0.40	1.06	26.35	26.46	794	4.615	71.82
	Max	0.48	1.28	26.42	26.54	824	5.329	92.42
	Ort.	**0.43**	**1.16**	**26.37**	**26.48**	**807**	**4.841**	**85.41**
	SS	0.04	0.10	0.02	0.03	10	0.262	7.35
56	Min	0.44	1.18	26.25	26.37	801	4.692	74.59
	Max	0.48	1.30	26.36	26.49	813	4.969	89.94
	Ort.	**0.46**	**1.24**	**26.30**	**26.42**	**806**	**4.810**	**84.46**
	SS	0.02	0.05	0.04	0.04	4	0.110	5.60
70	Min	0.39	1.06	26.31	26.43	793	4.643	81.02
	Max	0.58	1.57	26.72	26.87	816	4.830	87.34
	Ort.	**0.46**	**1.25**	**26.42**	**26.54**	**804**	**4.752**	**83.75**
	SS	0.06	0.18	0.15	0.17	9	0.064	2.24
84	Min	0.46	1.24	26.24	26.37	799	4.598	77.33
	Max	0.51	1.36	26.34	26.46	818	4.808	89.73
	Ort.	**0.48**	**1.29**	**26.29**	**26.42**	**805**	**4.721**	**84.06**
	SS	0.02	0.04	0.04	0.04	7	0.076	4.46

Tablo A.28: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (DY örnek grubu).

Kod: DY		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.04	0.11	29.40	29.47	12.42	855	6.730	166.47
	Max	0.21	0.62	30.49	30.51	13.38	884	7.285	201.29
	Ort.	**0.08**	**0.23**	**29.94**	**29.96**	**12.84**	**871**	**6.926**	**187.47**
	SS	0.05	0.15	0.29	0.28	0.31	8	0.154	11.13
4	Min	0.07	0.20	29.25	29.27	12.73	864	6.809	176.91
	Max	0.09	0.28	29.54	29.56	13.02	881	6.970	198.50
	Ort.	**0.08**	**0.25**	**29.41**	**29.44**	**12.87**	**872**	**6.876**	**186.67**
	SS	0.01	0.03	0.10	0.10	0.11	7	0.061	7.23
7	Min	0.07	0.22	29.60	29.64	12.60	851	6.702	169.57
	Max	0.11	0.34	30.69	30.72	13.52	882	7.014	196.26
	Ort.	**0.09**	**0.27**	**30.09**	**30.12**	**12.97**	**871**	**6.852**	**182.72**
	SS	0.01	0.04	0.42	0.42	0.39	11	0.117	10.51
10	Min	0.08	0.25	29.32	29.35	12.72	853	6.526	156.97
	Max	0.12	0.37	30.35	30.37	13.17	878	6.984	198.17
	Ort.	**0.10**	**0.30**	**29.82**	**29.85**	**13.01**	**868**	**6.822**	**182.28**
	SS	0.01	0.04	0.34	0.34	0.19	8	0.172	14.74
14	Min	0.08	0.24	29.71	29.74	12.28	860	6.630	155.59
	Max	0.14	0.43	30.00	30.03	13.63	877	6.921	217.68
	Ort.	**0.10**	**0.32**	**29.91**	**29.94**	**13.08**	**869**	**6.803**	**181.17**
	SS	0.03	0.08	0.10	0.11	0.52	7	0.096	23.05
20	Min	0.09	0.27	29.56	29.59	12.89	859	6.706	163.48
	Max	0.14	0.43	29.88	29.90	13.34	872	6.958	198.46
	Ort.	**0.11**	**0.33**	**29.68**	**29.71**	**13.18**	**867**	**6.783**	**180.01**
	SS	0.02	0.05	0.11	0.11	0.19	5	0.090	12.03
28	Min	0.10	0.30	29.87	29.90	13.17	863	6.584	160.90
	Max	0.16	0.48	30.80	30.83	13.47	871	6.911	190.58
	Ort.	**0.11**	**0.35**	**30.11**	**30.14**	**13.32**	**865**	**6.750**	**176.83**
	SS	0.02	0.07	0.36	0.36	0.13	3	0.134	10.10
35	Min	0.10	0.31	29.34	29.38	12.76	849	6.551	144.56
	Max	0.12	0.37	30.03	30.06	14.09	873	6.943	198.41
	Ort.	**0.12**	**0.35**	**29.68**	**29.71**	**13.34**	**861**	**6.735**	**175.17**
	SS	0.01	0.03	0.28	0.28	0.47	8	0.149	21.39
56	Min	0.09	0.28	29.71	29.74	12.60	849	6.571	153.60
	Max	0.15	0.45	30.00	30.03	13.95	866	6.770	193.84
	Ort.	**0.12**	**0.36**	**29.90**	**29.94**	**13.40**	**858**	**6.704**	**173.17**
	SS	0.02	0.06	0.10	0.11	0.52	7	0.072	15.50
70	Min	0.09	0.26	29.65	29.68	13.00	844	6.364	147.43
	Max	0.15	0.48	30.57	30.62	14.39	873	6.881	228.14
	Ort.	**0.12**	**0.38**	**29.97**	**30.01**	**13.48**	**856**	**6.684**	**174.25**
	SS	0.03	0.09	0.34	0.34	0.50	10	0.196	31.34
84	Min	0.12	0.37	29.54	29.58	13.26	842	6.504	156.14
	Max	0.16	0.49	30.27	30.32	13.71	870	6.818	184.95
	Ort.	**0.13**	**0.41**	**29.93**	**29.97**	**13.55**	**855**	**6.673**	**172.84**
	SS	0.02	0.05	0.28	0.28	0.19	11	0.102	10.23

Tablo A.29: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (EA örnek grubu).

Kod: EA DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	0.13	0.35	26.42	26.48	627	5.586	59.70
	Max	0.24	0.66	26.65	26.69	655	6.131	81.79
	Ort.	**0.17**	**0.45**	**26.57**	**26.61**	**640**	**5.877**	**70.95**
	SS	0.04	0.11	0.06	0.05	9	0.179	7.88
4	Min	0.16	0.42	26.60	26.65	623	5.623	61.83
	Max	0.21	0.56	26.63	26.68	642	5.933	73.68
	Ort.	**0.18**	**0.48**	**26.61**	**26.66**	**634**	**5.827**	**66.72**
	SS	0.02	0.05	0.01	0.01	7	0.111	4.17
7	Min	0.17	0.46	26.58	26.63	622	5.721	58.76
	Max	0.27	0.74	26.70	26.77	635	5.852	67.60
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.62**	**26.67**	**630**	**5.772**	**64.61**
	SS	0.03	0.09	0.04	0.05	5	0.050	3.09
10	Min	0.18	0.50	26.58	26.64	617	5.662	53.81
	Max	0.26	0.71	26.93	27.00	643	5.786	72.23
	Ort.	**0.21**	**0.58**	**26.68**	**26.74**	**627**	**5.732**	**61.49**
	SS	0.03	0.08	0.12	0.13	9	0.050	6.29
14	Min	0.21	0.57	26.49	26.56	601	5.481	52.35
	Max	0.28	0.76	26.60	26.66	636	5.863	65.08
	Ort.	**0.23**	**0.64**	**26.57**	**26.64**	**625**	**5.681**	**60.17**
	SS	0.02	0.06	0.04	0.04	12	0.156	4.31
20	Min	0.25	0.68	26.55	26.62	608	5.437	50.59
	Max	0.31	0.83	26.64	26.70	629	5.782	64.23
	Ort.	**0.27**	**0.73**	**26.59**	**26.67**	**620**	**5.584**	**56.18**
	SS	0.02	0.06	0.03	0.03	8	0.143	5.06
28	Min	0.24	0.65	26.55	26.64	602	5.453	50.91
	Max	0.37	1.01	26.62	26.69	621	5.670	59.89
	Ort.	**0.29**	**0.78**	**26.59**	**26.67**	**613**	**5.551**	**55.01**
	SS	0.05	0.13	0.03	0.02	8	0.085	3.16
35	Min	0.28	0.75	26.55	26.66	601	5.309	49.78
	Max	0.40	1.09	26.63	26.70	616	5.611	63.60
	Ort.	**0.31**	**0.83**	**26.59**	**26.67**	**610**	**5.505**	**53.51**
	SS	0.05	0.13	0.02	0.02	5	0.107	5.13
56	Min	0.32	0.87	26.46	26.56	585	5.249	44.70
	Max	0.39	1.04	26.57	26.66	619	5.577	56.82
	Ort.	**0.37**	**0.99**	**26.54**	**26.64**	**608**	**5.422**	**51.73**
	SS	0.02	0.06	0.04	0.04	12	0.133	4.24
70	Min	0.34	0.92	26.57	26.67	596	5.263	45.79
	Max	0.40	1.10	26.63	26.74	611	5.503	58.11
	Ort.	**0.38**	**1.04**	**26.59**	**26.69**	**602**	**5.362**	**50.53**
	SS	0.02	0.06	0.02	0.02	5	0.090	4.58
84	Min	0.41	1.10	26.52	26.62	585	5.129	43.86
	Max	0.49	1.33	26.60	26.73	615	5.424	53.86
	Ort.	**0.43**	**1.17**	**26.56**	**26.67**	**600**	**5.311**	**48.68**
	SS	0.03	0.09	0.03	0.04	10	0.102	3.25

Tablo A.30: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (GR örnek grubu).

Kod: GR		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.05	0.14	30.03	30.05	14.06	832	6.149	135.62
	Max	0.11	0.34	30.42	30.44	15.63	859	6.612	161.83
	Ort.	**0.07**	**0.21**	**30.29**	**30.31**	**14.68**	**844**	**6.517**	**147.57**
	SS	0.02	0.05	0.13	0.13	0.44	9	0.128	8.51
4	Min	0.08	0.23	29.99	30.02	14.34	829	6.408	126.77
	Max	0.10	0.31	30.36	30.39	15.24	856	6.568	165.52
	Ort.	**0.09**	**0.26**	**30.20**	**30.23**	**14.70**	**842**	**6.474**	**145.63**
	SS	0.01	0.03	0.12	0.12	0.30	9	0.069	15.67
7	Min	0.06	0.20	29.83	29.85	14.48	828	6.249	137.43
	Max	0.12	0.37	30.50	30.54	15.05	851	6.574	159.61
	Ort.	**0.09**	**0.27**	**30.24**	**30.27**	**14.75**	**839**	**6.412**	**143.77**
	SS	0.02	0.05	0.23	0.23	0.22	9	0.107	8.43
10	Min	0.05	0.14	29.64	29.72	14.28	826	5.720	118.87
	Max	0.28	0.84	30.24	30.26	15.34	857	6.624	158.37
	Ort.	**0.11**	**0.32**	**30.00**	**30.03**	**14.90**	**837**	**6.381**	**141.57**
	SS	0.09	0.26	0.22	0.20	0.46	11	0.338	17.13
14	Min	0.12	0.36	30.12	30.16	14.45	827	6.273	129.29
	Max	0.13	0.40	30.46	30.50	15.86	843	6.395	149.50
	Ort.	**0.12**	**0.37**	**30.29**	**30.32**	**15.01**	**834**	**6.350**	**137.77**
	SS	0.00	0.01	0.14	0.14	0.47	6	0.047	6.94
20	Min	0.11	0.33	29.99	30.06	14.67	825	6.158	129.37
	Max	0.22	0.66	30.49	30.53	15.62	836	6.453	140.97
	Ort.	**0.14**	**0.43**	**30.24**	**30.29**	**15.20**	**831**	**6.314**	**135.93**
	SS	0.04	0.13	0.20	0.19	0.35	4	0.101	3.89
28	Min	0.12	0.37	30.12	30.16	15.10	821	6.148	123.05
	Max	0.20	0.61	30.40	30.44	15.73	831	6.282	146.60
	Ort.	**0.15**	**0.47**	**30.24**	**30.28**	**15.33**	**828**	**6.224**	**135.59**
	SS	0.03	0.10	0.09	0.09	0.23	4	0.059	8.30
35	Min	0.15	0.45	30.01	30.05	15.19	818	6.052	120.84
	Max	0.17	0.54	30.55	30.60	15.67	829	6.242	145.84
	Ort.	**0.16**	**0.50**	**30.25**	**30.30**	**15.47**	**825**	**6.146**	**134.42**
	SS	0.01	0.03	0.20	0.21	0.18	4	0.066	8.44
56	Min	0.17	0.53	30.10	30.16	15.02	819	6.058	124.56
	Max	0.18	0.56	30.45	30.50	16.43	835	6.138	140.79
	Ort.	**0.18**	**0.55**	**30.27**	**30.32**	**15.58**	**826**	**6.102**	**132.21**
	SS	0.00	0.01	0.14	0.14	0.47	6	0.032	5.66
70	Min	0.17	0.54	30.10	30.16	15.39	820	5.970	124.11
	Max	0.20	0.62	30.41	30.47	15.89	827	6.138	143.47
	Ort.	**0.18**	**0.57**	**30.23**	**30.28**	**15.63**	**824**	**6.053**	**132.88**
	SS	0.01	0.03	0.12	0.12	0.18	3	0.054	7.04
84	Min	0.16	0.50	29.67	29.75	15.12	811	5.967	124.65
	Max	0.29	0.86	30.37	30.43	16.07	841	6.075	145.42
	Ort.	**0.20**	**0.62**	**30.16**	**30.22**	**15.65**	**823**	**6.033**	**132.80**
	SS	0.04	0.13	0.25	0.24	0.35	11	0.039	7.56

Tablo A.31: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KM örnek grubu).

Kod: KM		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.09	0.24	26.15	26.19	18.37	678	6.308	78.07
	Max	0.30	0.80	26.52	26.55	21.24	699	6.580	130.90
	Ort.	**0.15**	**0.39**	**26.41**	**26.45**	**19.48**	**692**	**6.434**	**104.43**
	SS	0.06	0.17	0.12	0.11	0.93	6	0.088	19.59
4	Min	0.17	0.46	26.41	26.47	19.03	687	6.302	100.05
	Max	0.22	0.59	26.45	26.50	20.32	691	6.483	106.35
	Ort.	**0.19**	**0.52**	**26.43**	**26.49**	**19.51**	**689**	**6.387**	**102.17**
	SS	0.02	0.05	0.02	0.01	0.58	2	0.074	2.95
7	Min	0.19	0.51	26.45	26.51	19.46	682	6.291	94.55
	Max	0.22	0.59	26.49	26.54	20.02	696	6.394	102.17
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.47**	**26.53**	**19.76**	**687**	**6.333**	**97.58**
	SS	0.01	0.03	0.02	0.02	0.23	6	0.044	3.30
10	Min	0.20	0.55	26.45	26.51	19.79	667	6.119	84.41
	Max	0.23	0.63	26.47	26.53	20.19	696	6.586	101.41
	Ort.	**0.22**	**0.59**	**26.46**	**26.52**	**20.02**	**685**	**6.308**	**94.41**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.17	13	0.201	7.26
14	Min	0.22	0.60	26.46	26.52	19.89	663	6.136	84.53
	Max	0.25	0.68	26.49	26.54	20.84	699	6.305	100.51
	Ort.	**0.24**	**0.64**	**26.47**	**26.53**	**20.25**	**681**	**6.240**	**91.35**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.42	15	0.074	6.73
20	Min	0.20	0.55	26.42	26.50	20.03	653	5.856	84.51
	Max	0.30	0.80	26.48	26.54	20.83	692	6.363	92.59
	Ort.	**0.25**	**0.69**	**26.45**	**26.51**	**20.50**	**677**	**6.143**	**89.65**
	SS	0.04	0.11	0.03	0.02	0.34	17	0.212	3.65
28	Min	0.23	0.61	26.46	26.55	20.21	670	6.087	84.85
	Max	0.33	0.89	26.51	26.58	21.33	682	6.115	91.65
	Ort.	**0.27**	**0.73**	**26.49**	**26.57**	**20.62**	**675**	**6.103**	**87.25**
	SS	0.04	0.12	0.02	0.01	0.50	6	0.012	3.11
35	Min	0.28	0.76	26.48	26.56	20.45	662	6.028	78.62
	Max	0.31	0.83	26.52	26.59	21.33	675	6.071	92.11
	Ort.	**0.30**	**0.81**	**26.50**	**26.58**	**20.75**	**670**	**6.054**	**83.78**
	SS	0.01	0.03	0.02	0.01	0.41	5	0.019	5.95
56	Min	0.31	0.84	26.43	26.52	20.62	650	5.883	76.04
	Max	0.34	0.92	26.46	26.54	21.57	685	6.038	85.49
	Ort.	**0.33**	**0.89**	**26.44**	**26.53**	**20.98**	**668**	**5.984**	**80.75**
	SS	0.01	0.04	0.01	0.01	0.42	14	0.072	3.86
70	Min	0.31	0.83	26.46	26.57	20.14	652	5.876	69.76
	Max	0.39	1.04	26.50	26.59	22.45	673	6.060	93.87
	Ort.	**0.35**	**0.96**	**26.49**	**26.58**	**21.08**	**666**	**5.943**	**78.23**
	SS	0.03	0.09	0.02	0.01	0.99	9	0.083	11.07
84	Min	0.36	0.98	26.35	26.47	20.73	657	5.818	72.41
	Max	0.45	1.21	26.44	26.54	21.53	680	5.979	79.24
	Ort.	**0.40**	**1.07**	**26.40**	**26.50**	**21.20**	**666**	**5.911**	**75.57**
	SS	0.04	0.10	0.04	0.03	0.34	10	0.068	2.81

Tablo A.32: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (KY örnek grubu).

Kod: KY DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	0.19	0.51	25.70	25.75	579	4.948	58.36
	Max	0.24	0.63	26.32	26.37	626	5.225	70.77
	Ort.	**0.21**	**0.57**	**26.09**	**26.15**	**606**	**5.069**	**63.93**
	SS	0.02	0.04	0.24	0.24	15	0.095	4.28
4	Min	0.20	0.54	26.41	26.47	566	4.875	56.12
	Max	0.24	0.65	26.48	26.54	616	5.156	67.98
	Ort.	**0.23**	**0.61**	**26.44**	**26.50**	**601**	**5.031**	**61.67**
	SS	0.02	0.04	0.03	0.02	19	0.098	3.90
7	Min	0.22	0.60	26.40	26.47	582	4.875	46.43
	Max	0.27	0.72	26.49	26.54	602	5.075	62.74
	Ort.	**0.24**	**0.65**	**26.44**	**26.51**	**595**	**5.004**	**56.68**
	SS	0.02	0.05	0.03	0.02	7	0.072	6.07
10	Min	0.20	0.55	26.37	26.45	576	4.834	47.12
	Max	0.32	0.85	26.47	26.52	608	5.090	59.02
	Ort.	**0.25**	**0.67**	**26.41**	**26.48**	**591**	**4.943**	**53.35**
	SS	0.04	0.10	0.03	0.02	13	0.098	3.88
14	Min	0.22	0.60	26.35	26.43	551	4.847	41.54
	Max	0.33	0.89	26.47	26.52	608	4.909	56.92
	Ort.	**0.27**	**0.74**	**26.41**	**26.48**	**585**	**4.862**	**49.20**
	SS	0.03	0.09	0.04	0.03	19	0.024	5.76
20	Min	0.27	0.72	26.37	26.46	563	4.634	44.36
	Max	0.34	0.93	26.45	26.52	594	4.902	55.89
	Ort.	**0.29**	**0.78**	**26.42**	**26.50**	**583**	**4.787**	**47.66**
	SS	0.03	0.08	0.03	0.02	11	0.093	4.22
28	Min	0.30	0.80	26.38	26.47	547	4.636	47.31
	Max	0.34	0.91	26.45	26.54	596	4.782	51.91
	Ort.	**0.32**	**0.87**	**26.42**	**26.51**	**577**	**4.710**	**48.68**
	SS	0.01	0.04	0.03	0.03	18	0.052	1.69
35	Min	0.32	0.87	26.38	26.49	534	4.526	38.60
	Max	0.42	1.13	26.46	26.54	595	4.686	51.08
	Ort.	**0.35**	**0.95**	**26.43**	**26.52**	**570**	**4.626**	**45.46**
	SS	0.04	0.09	0.03	0.02	22	0.055	4.12
56	Min	0.37	1.00	26.32	26.43	533	4.526	36.51
	Max	0.44	1.17	26.43	26.52	590	4.571	52.03
	Ort.	**0.40**	**1.08**	**26.37**	**26.48**	**567**	**4.551**	**44.35**
	SS	0.02	0.05	0.03	0.03	19	0.017	5.80
70	Min	0.40	1.08	26.39	26.51	549	4.382	40.93
	Max	0.45	1.20	26.45	26.56	571	4.564	48.09
	Ort.	**0.43**	**1.15**	**26.41**	**26.52**	**562**	**4.476**	**43.89**
	SS	0.02	0.05	0.02	0.02	10	0.058	3.20
84	Min	0.44	1.18	26.01	26.14	547	4.356	38.32
	Max	0.49	1.30	26.13	26.24	568	4.449	46.24
	Ort.	**0.46**	**1.23**	**26.07**	**26.19**	**560**	**4.412**	**42.64**
	SS	0.02	0.05	0.04	0.04	7	0.030	2.75

Tablo A.33: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (MB2 örnek grubu)

Kod: MB2		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.10	0.26	26.53	26.56	21.24	557	3.959	57.17
	Max	0.16	0.42	26.55	26.59	23.29	618	4.687	74.16
	Ort.	**0.12**	**0.31**	**26.54**	**26.57**	**22.25**	**591**	**4.271**	**63.16**
	SS	0.02	0.05	0.01	0.01	0.63	20	0.238	6.35
4	Min	0.10	0.28	26.53	26.58	22.05	569	3.928	56.44
	Max	0.16	0.43	26.57	26.59	23.10	606	4.362	62.90
	Ort.	**0.14**	**0.38**	**26.55**	**26.58**	**22.60**	**588**	**4.139**	**59.14**
	SS	0.02	0.05	0.01	0.01	0.38	13	0.162	2.42
7	Min	0.17	0.45	26.54	26.58	21.62	576	3.825	53.64
	Max	0.18	0.49	26.57	26.61	23.78	610	4.193	68.89
	Ort.	**0.17**	**0.47**	**26.55**	**26.60**	**23.01**	**585**	**3.974**	**59.85**
	SS	0.00	0.01	0.01	0.01	0.75	13	0.124	6.47
10	Min	0.17	0.45	26.53	26.58	22.47	575	3.614	49.10
	Max	0.19	0.52	26.55	26.60	24.51	599	4.353	66.41
	Ort.	**0.18**	**0.49**	**26.54**	**26.59**	**23.47**	**583**	**3.910**	**54.23**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.71	9	0.255	6.34
14	Min	0.19	0.52	26.53	26.58	23.03	563	3.626	44.05
	Max	0.21	0.57	26.55	26.60	24.04	594	4.110	61.80
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.54**	**26.59**	**23.51**	**581**	**3.851**	**52.60**
	SS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.42	10	0.183	5.84
20	Min	0.22	0.59	26.53	26.59	22.95	568	3.507	36.65
	Max	0.24	0.65	26.54	26.61	25.14	587	4.135	60.21
	Ort.	**0.23**	**0.61**	**26.54**	**26.60**	**23.74**	**579**	**3.840**	**49.32**
	SS	0.01	0.02	0.00	0.01	0.74	6	0.238	8.24
28	Min	0.27	0.74	26.53	26.61	22.90	545	3.579	42.89
	Max	0.30	0.81	26.55	26.62	24.97	601	4.225	62.70
	Ort.	**0.29**	**0.78**	**26.54**	**26.62**	**23.85**	**571**	**3.823**	**51.75**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.70	21	0.241	7.81
35	Min	0.29	0.80	26.53	26.61	23.44	553	3.583	39.84
	Max	0.31	0.85	26.55	26.63	24.76	579	4.074	52.60
	Ort.	**0.30**	**0.81**	**26.54**	**26.62**	**24.03**	**566**	**3.801**	**48.04**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.43	10	0.165	4.38
56	Min	0.31	0.85	26.50	26.58	23.76	548	3.218	41.11
	Max	0.34	0.92	26.52	26.60	24.77	577	3.592	56.98
	Ort.	**0.33**	**0.90**	**26.51**	**26.59**	**24.24**	**565**	**3.404**	**47.47**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.42	10	0.141	5.37
70	Min	0.32	0.87	26.53	26.62	23.97	528	2.440	42.40
	Max	0.38	1.03	26.55	26.65	25.00	594	3.811	51.32
	Ort.	**0.35**	**0.95**	**26.54**	**26.63**	**24.48**	**563**	**3.326**	**45.34**
	SS	0.02	0.06	0.01	0.01	0.34	21	0.503	3.20
84	Min	0.34	0.92	26.52	26.62	23.71	550	3.164	37.93
	Max	0.42	1.14	26.55	26.64	25.90	565	3.551	46.85
	Ort.	**0.37**	**1.00**	**26.54**	**26.63**	**24.50**	**559**	**3.304**	**43.08**
	SS	0.03	0.08	0.01	0.01	0.74	5	0.162	3.10

Tablo A.34: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (MB3 örnek grubu)

Kod: MB3		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.07	0.19	26.55	26.57	19.31	566	3.630	54.79
	Max	0.12	0.33	26.61	26.63	23.46	626	3.874	76.21
	Ort.	**0.10**	**0.26**	**26.57**	**26.60**	**22.21**	**589**	**3.761**	**64.33**
	SS	0.01	0.03	0.02	0.02	1.16	18	0.087	7.21
4	Min	0.10	0.28	26.56	26.59	21.66	559	3.565	54.95
	Max	0.12	0.31	26.58	26.61	23.94	605	3.953	73.01
	Ort.	**0.11**	**0.30**	**26.57**	**26.59**	**22.61**	**584**	**3.705**	**63.06**
	SS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.77	15	0.140	6.44
7	Min	0.12	0.34	26.56	26.60	22.20	578	3.511	52.85
	Max	0.14	0.38	26.57	26.61	24.21	587	3.845	65.22
	Ort.	**0.13**	**0.36**	**26.57**	**26.60**	**23.04**	**581**	**3.694**	**58.86**
	SS	0.01	0.02	0.00	0.00	0.70	4	0.133	4.57
10	Min	0.14	0.37	26.54	26.58	22.38	567	3.418	45.12
	Max	0.15	0.40	26.58	26.62	24.68	592	3.809	60.99
	Ort.	**0.14**	**0.39**	**26.56**	**26.60**	**23.26**	**578**	**3.611**	**54.37**
	SS	0.00	0.01	0.01	0.01	0.90	9	0.156	5.22
14	Min	0.15	0.42	26.55	26.59	21.89	538	3.356	47.92
	Max	0.18	0.50	26.57	26.61	26.41	595	3.716	57.83
	Ort.	**0.17**	**0.46**	**26.56**	**26.60**	**23.46**	**574**	**3.571**	**53.71**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	1.65	19	0.126	3.67
20	Min	0.21	0.58	26.55	26.61	22.74	557	3.289	44.38
	Max	0.23	0.63	26.57	26.63	24.94	583	3.873	59.38
	Ort.	**0.22**	**0.60**	**26.56**	**26.62**	**23.80**	**571**	**3.521**	**52.16**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.71	9	0.218	6.26
28	Min	0.24	0.64	26.56	26.63	22.69	539	3.330	43.63
	Max	0.26	0.70	26.57	26.64	25.32	573	3.684	58.64
	Ort.	**0.25**	**0.67**	**26.56**	**26.63**	**24.16**	**565**	**3.452**	**50.42**
	SS	0.01	0.02	0.00	0.00	0.90	13	0.130	5.97
35	Min	0.25	0.67	26.55	26.63	22.92	552	3.299	39.73
	Max	0.27	0.74	26.57	26.64	26.74	576	3.553	62.89
	Ort.	**0.26**	**0.71**	**26.56**	**26.63**	**24.38**	**562**	**3.447**	**49.33**
	SS	0.01	0.03	0.00	0.00	1.28	9	0.085	8.26
56	Min	0.28	0.75	26.51	26.59	23.08	524	3.216	40.00
	Max	0.30	0.80	26.53	26.61	27.10	580	3.530	50.03
	Ort.	**0.29**	**0.78**	**26.52**	**26.60**	**24.65**	**560**	**3.401**	**45.63**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	1.53	19	0.109	3.64
70	Min	0.28	0.77	26.54	26.63	23.74	542	3.239	33.69
	Max	0.32	0.87	26.58	26.65	26.50	573	3.465	57.19
	Ort.	**0.31**	**0.83**	**26.56**	**26.64**	**24.85**	**555**	**3.371**	**46.05**
	SS	0.02	0.04	0.01	0.01	0.97	11	0.084	9.14
84	Min	0.32	0.87	26.55	26.64	23.90	526	3.159	37.59
	Max	0.35	0.95	26.56	26.65	26.10	570	3.461	48.37
	Ort.	**0.34**	**0.92**	**26.56**	**26.65**	**24.96**	**550**	**3.350**	**43.78**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.71	15	0.103	3.83

Tablo A.35: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (OM örnek grubu).

Kod: OM		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.08	0.21	26.37	26.39	19.00	606	6.157	58.01
	Max	0.13	0.35	26.58	26.61	24.24	637	6.582	76.78
	Ort.	**0.10**	**0.27**	**26.54**	**26.56**	**22.18**	**626**	**6.449**	**65.05**
	SS	0.01	0.03	0.06	0.06	1.77	9	0.116	5.87
4	Min	0.09	0.24	26.49	26.53	19.10	600	6.317	53.86
	Max	0.17	0.46	26.56	26.58	24.76	645	6.481	65.99
	Ort.	**0.13**	**0.35**	**26.53**	**26.56**	**22.48**	**622**	**6.423**	**59.03**
	SS	0.03	0.08	0.02	0.02	1.98	15	0.058	4.84
7	Min	0.11	0.30	26.49	26.55	19.99	606	6.234	48.28
	Max	0.23	0.63	26.57	26.60	24.37	622	6.518	63.42
	Ort.	**0.16**	**0.44**	**26.53**	**26.57**	**22.78**	**617**	**6.376**	**57.52**
	SS	0.04	0.12	0.03	0.02	1.75	6	0.096	5.16
10	Min	0.16	0.44	26.51	26.56	20.50	601	6.051	50.68
	Max	0.20	0.54	26.54	26.58	27.23	619	6.483	61.37
	Ort.	**0.18**	**0.48**	**26.53**	**26.58**	**23.00**	**612**	**6.332**	**55.83**
	SS	0.01	0.04	0.01	0.01	2.31	7	0.147	3.78
14	Min	0.17	0.45	26.49	26.55	21.93	597	6.082	43.81
	Max	0.22	0.58	26.55	26.59	24.16	617	6.488	61.96
	Ort.	**0.19**	**0.51**	**26.52**	**26.57**	**23.18**	**607**	**6.244**	**55.39**
	SS	0.02	0.05	0.02	0.02	0.77	8	0.162	6.40
20	Min	0.16	0.43	26.39	26.50	22.56	591	5.605	45.38
	Max	0.41	1.12	26.55	26.60	25.14	623	6.430	60.73
	Ort.	**0.22**	**0.60**	**26.51**	**26.57**	**23.50**	**603**	**6.214**	**53.03**
	SS	0.10	0.26	0.06	0.03	1.00	12	0.312	5.60
28	Min	0.21	0.57	26.51	26.58	23.15	576	5.973	45.04
	Max	0.26	0.71	26.57	26.62	25.90	604	6.306	60.10
	Ort.	**0.24**	**0.66**	**26.54**	**26.61**	**23.96**	**591**	**6.176**	**50.25**
	SS	0.02	0.05	0.02	0.02	0.98	11	0.113	5.51
35	Min	0.26	0.70	26.52	26.60	22.76	578	6.040	40.84
	Max	0.34	0.92	26.56	26.63	26.04	604	6.228	62.30
	Ort.	**0.29**	**0.79**	**26.54**	**26.62**	**24.45**	**587**	**6.121**	**52.45**
	SS	0.03	0.08	0.01	0.01	1.14	9	0.082	9.32
56	Min	0.28	0.76	26.46	26.55	23.74	570	6.019	38.70
	Max	0.33	0.90	26.52	26.59	25.97	589	6.242	54.82
	Ort.	**0.31**	**0.85**	**26.49**	**26.57**	**24.99**	**580**	**6.104**	**48.60**
	SS	0.02	0.05	0.02	0.02	0.77	7	0.099	5.65
70	Min	0.25	0.68	26.41	26.54	22.23	572	5.766	39.87
	Max	0.48	1.29	26.56	26.63	27.51	585	6.459	54.06
	Ort.	**0.33**	**0.89**	**26.51**	**26.60**	**25.25**	**578**	**6.084**	**46.68**
	SS	0.08	0.22	0.06	0.04	1.79	5	0.228	4.82
84	Min	0.34	0.91	26.50	26.60	24.46	566	5.789	35.87
	Max	0.41	1.10	26.56	26.65	27.04	599	6.204	49.79
	Ort.	**0.38**	**1.03**	**26.52**	**26.62**	**25.40**	**576**	**5.991**	**43.24**
	SS	0.03	0.07	0.02	0.01	1.00	12	0.162	4.64

Tablo A.36: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (ON örnek grubu).

Kod: ON		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.08	0.23	25.31	25.40	18.20	650	4.163	74.14
	Max	0.36	0.95	26.68	26.70	20.80	687	5.425	96.04
	Ort.	**0.19**	**0.51**	**26.30**	**26.35**	**19.51**	**664**	**4.629**	**86.11**
	SS	0.11	0.29	0.44	0.41	0.73	12	0.396	7.78
4	Min	0.18	0.48	26.30	26.37	19.63	644	4.486	79.91
	Max	0.27	0.73	26.68	26.72	20.42	676	4.737	87.51
	Ort.	**0.21**	**0.57**	**26.55**	**26.61**	**19.93**	**661**	**4.605**	**84.28**
	SS	0.03	0.08	0.13	0.12	0.26	13	0.086	2.88
7	Min	0.19	0.52	26.30	26.38	19.88	612	4.429	72.19
	Max	0.31	0.84	26.71	26.76	20.54	674	4.812	88.59
	Ort.	**0.22**	**0.60**	**26.59**	**26.65**	**20.23**	**657**	**4.574**	**80.05**
	SS	0.05	0.12	0.15	0.14	0.24	23	0.145	5.72
10	Min	0.23	0.63	26.59	26.66	20.16	623	4.262	70.29
	Max	0.25	0.67	26.72	26.78	20.74	676	4.646	86.77
	Ort.	**0.24**	**0.66**	**26.67**	**26.73**	**20.52**	**654**	**4.505**	**79.86**
	SS	0.01	0.01	0.04	0.04	0.24	21	0.134	5.40
14	Min	0.15	0.41	25.97	26.07	19.77	626	4.300	73.61
	Max	0.36	0.96	26.62	26.66	22.03	676	4.499	82.05
	Ort.	**0.28**	**0.74**	**26.33**	**26.40**	**20.92**	**651**	**4.426**	**77.72**
	SS	0.09	0.23	0.23	0.21	0.86	17	0.074	3.21
20	Min	0.23	0.64	26.37	26.48	20.55	620	4.196	55.98
	Max	0.41	1.10	26.66	26.72	21.53	671	4.544	84.87
	Ort.	**0.30**	**0.80**	**26.51**	**26.59**	**21.04**	**647**	**4.347**	**72.58**
	SS	0.06	0.17	0.11	0.10	0.33	20	0.144	12.77
28	Min	0.26	0.71	26.35	26.45	20.75	605	4.066	53.59
	Max	0.40	1.09	26.74	26.81	21.72	683	4.532	88.99
	Ort.	**0.33**	**0.90**	**26.53**	**26.62**	**21.25**	**642**	**4.254**	**71.35**
	SS	0.05	0.14	0.16	0.14	0.34	29	0.163	13.57
35	Min	0.29	0.80	26.39	26.51	20.44	587	3.950	58.72
	Max	0.43	1.15	26.72	26.80	22.41	674	4.376	78.50
	Ort.	**0.35**	**0.95**	**26.57**	**26.66**	**21.47**	**636**	**4.182**	**70.75**
	SS	0.05	0.13	0.13	0.12	0.73	33	0.150	7.49
56	Min	0.28	0.76	25.95	26.07	20.36	607	4.043	65.67
	Max	0.47	1.27	26.59	26.66	22.62	658	4.161	74.90
	Ort.	**0.39**	**1.04**	**26.30**	**26.40**	**21.51**	**633**	**4.105**	**70.51**
	SS	0.08	0.22	0.22	0.21	0.86	17	0.046	3.35
70	Min	0.41	1.11	26.67	26.79	21.18	593	3.828	54.35
	Max	0.44	1.21	26.69	26.80	22.46	670	4.227	74.64
	Ort.	**0.42**	**1.14**	**26.68**	**26.79**	**21.59**	**632**	**4.051**	**68.19**
	SS	0.01	0.03	0.01	0.01	0.50	27	0.135	7.19
84	Min	0.41	1.10	26.19	26.32	21.12	610	3.887	57.59
	Max	0.47	1.25	26.35	26.46	22.10	651	4.064	67.61
	Ort.	**0.44**	**1.19**	**26.29**	**26.40**	**21.61**	**630**	**4.011**	**64.36**
	SS	0.02	0.05	0.05	0.05	0.33	15	0.064	3.74

Tablo A.37: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (PG örnek grubu).

Kod: PG DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	0.29	0.79	25.18	25.33	670	5.108	66.69
	Max	0.66	1.70	26.56	26.64	736	5.816	82.12
	Ort.	**0.52**	**1.37**	**26.01**	**26.15**	**697**	**5.414**	**73.36**
	SS	0.11	0.30	0.45	0.43	20	0.222	3.81
4	Min	0.20	0.52	25.12	25.34	678	4.989	64.81
	Max	0.87	2.23	26.14	26.19	709	5.714	77.44
	Ort.	**0.59**	**1.51**	**25.55**	**25.70**	**693**	**5.390**	**70.80**
	SS	0.31	0.79	0.46	0.38	11	0.250	4.94
7	Min	0.30	0.81	25.65	25.85	633	5.027	64.81
	Max	0.79	2.09	26.54	26.74	717	5.825	76.88
	Ort.	**0.64**	**1.70**	**26.11**	**26.27**	**687**	**5.384**	**69.26**
	SS	0.18	0.47	0.31	0.31	29	0.307	5.11
10	Min	0.55	1.46	25.03	25.30	679	4.874	62.41
	Max	1.11	2.82	26.25	26.40	687	5.530	69.35
	Ort.	**0.71**	**1.85**	**25.76**	**25.94**	**683**	**5.280**	**65.91**
	SS	0.21	0.52	0.42	0.38	3	0.235	2.82
14	Min	0.51	1.36	25.09	25.37	653	5.013	59.87
	Max	1.11	2.84	26.12	26.25	701	5.602	72.05
	Ort.	**0.79**	**2.04**	**25.50**	**25.70**	**677**	**5.252**	**64.30**
	SS	0.20	0.49	0.37	0.33	19	0.216	4.37
20	Min	0.53	1.42	25.84	26.10	650	5.008	49.35
	Max	1.01	2.67	26.34	26.48	682	5.282	72.13
	Ort.	**0.79**	**2.09**	**26.06**	**26.26**	**673**	**5.164**	**60.06**
	SS	0.19	0.48	0.16	0.13	12	0.103	8.35
28	Min	0.51	1.36	25.68	26.02	628	4.876	51.60
	Max	1.34	3.50	26.74	26.98	702	5.357	72.04
	Ort.	**0.81**	**2.16**	**26.25**	**26.46**	**667**	**5.092**	**57.34**
	SS	0.30	0.78	0.34	0.31	25	0.164	7.58
35	Min	0.82	2.11	25.27	25.50	652	4.885	46.94
	Max	0.94	2.42	25.63	25.84	685	5.163	64.39
	Ort.	**0.87**	**2.25**	**25.40**	**25.62**	**666**	**5.042**	**55.32**
	SS	0.05	0.11	0.13	0.12	11	0.103	6.27
56	Min	0.37	0.99	25.04	25.37	638	4.778	48.82
	Max	1.31	3.34	26.15	26.25	686	5.226	57.42
	Ort.	**0.94**	**2.42**	**25.46**	**25.70**	**662**	**5.023**	**52.64**
	SS	0.34	0.84	0.41	0.33	19	0.153	3.25
70	Min	0.52	1.40	24.95	25.28	629	4.735	41.10
	Max	1.35	3.49	26.38	26.52	710	5.298	59.85
	Ort.	**0.98**	**2.54**	**25.57**	**25.82**	**659**	**5.003**	**50.64**
	SS	0.35	0.88	0.57	0.49	33	0.208	6.25
84	Min	0.78	2.06	25.40	25.66	631	4.747	43.68
	Max	1.15	2.99	26.11	26.36	678	5.186	58.08
	Ort.	**0.99**	**2.61**	**25.77**	**26.02**	**656**	**4.942**	**50.56**
	SS	0.13	0.31	0.30	0.28	17	0.158	6.09

Tablo A.38: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (RL örnek grubu).

Kod: RL DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	0.20	0.55	26.15	26.23	673	5.643	71.25
	Max	0.35	0.93	26.39	26.44	730	6.015	89.71
	Ort.	**0.30**	**0.80**	**26.30**	**26.37**	**698**	**5.848**	**78.02**
	SS	0.04	0.10	0.06	0.06	14	0.107	6.84
4	Min	0.30	0.80	25.84	25.93	667	5.674	69.01
	Max	0.38	1.00	26.04	26.12	702	5.944	84.16
	Ort.	**0.34**	**0.89**	**25.90**	**25.99**	**694**	**5.821**	**74.70**
	SS	0.02	0.06	0.08	0.08	13	0.092	5.82
7	Min	0.29	0.76	25.68	25.84	668	5.493	69.78
	Max	0.61	1.59	26.51	26.58	704	6.142	78.01
	Ort.	**0.39**	**1.03**	**25.95**	**26.05**	**690**	**5.771**	**73.13**
	SS	0.12	0.31	0.29	0.28	13	0.214	3.32
10	Min	0.40	1.05	25.70	25.84	669	5.508	64.83
	Max	0.53	1.39	25.93	26.03	703	5.951	75.34
	Ort.	**0.44**	**1.15**	**25.84**	**25.96**	**688**	**5.732**	**69.72**
	SS	0.05	0.12	0.08	0.06	12	0.184	3.91
14	Min	0.34	0.90	25.60	25.77	663	5.327	50.64
	Max	0.66	1.73	26.36	26.45	698	6.059	77.21
	Ort.	**0.48**	**1.28**	**26.08**	**26.20**	**684**	**5.653**	**66.18**
	SS	0.12	0.31	0.29	0.26	12	0.323	9.96
20	Min	0.48	1.28	26.16	26.28	649	5.545	57.17
	Max	0.55	1.48	26.49	26.64	711	5.641	75.17
	Ort.	**0.51**	**1.38**	**26.29**	**26.43**	**680**	**5.592**	**64.82**
	SS	0.03	0.08	0.12	0.12	24	0.039	6.67
28	Min	0.51	1.38	26.18	26.33	662	5.228	60.78
	Max	0.56	1.49	26.39	26.54	694	5.738	70.00
	Ort.	**0.54**	**1.45**	**26.30**	**26.44**	**676**	**5.520**	**65.61**
	SS	0.02	0.04	0.08	0.08	12	0.179	3.54
35	Min	0.36	0.99	25.60	25.79	665	5.047	48.76
	Max	0.76	1.98	26.77	26.87	675	5.954	71.09
	Ort.	**0.58**	**1.53**	**26.18**	**26.33**	**672**	**5.507**	**61.92**
	SS	0.17	0.44	0.49	0.44	4	0.371	7.92
56	Min	0.46	1.24	25.57	25.77	649	5.162	49.84
	Max	0.79	2.05	26.33	26.45	679	5.801	63.10
	Ort.	**0.60**	**1.59**	**26.05**	**26.20**	**667**	**5.453**	**57.46**
	SS	0.12	0.29	0.29	0.26	10	0.285	4.96
70	Min	0.43	1.18	25.57	25.79	657	4.969	43.24
	Max	0.88	2.29	26.89	27.02	670	5.683	66.21
	Ort.	**0.61**	**1.63**	**26.37**	**26.53**	**664**	**5.405**	**54.08**
	SS	0.19	0.46	0.58	0.53	4	0.308	9.55
84	Min	0.47	1.26	26.17	26.35	638	5.062	44.95
	Max	0.75	2.00	26.38	26.51	680	5.684	64.61
	Ort.	**0.64**	**1.70**	**26.29**	**26.46**	**660**	**5.340**	**53.63**
	SS	0.11	0.29	0.07	0.06	15	0.278	7.10

Tablo A.39: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (SG örnek grubu).

Kod: SG		A_w	n	γ_k	γ_d	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.18	0.48	26.19	26.30	665	6.318	67.86
	Max	0.46	1.24	27.03	27.14	714	6.811	87.03
	Ort.	**0.31**	**0.82**	**26.50**	**26.58**	**689**	**6.573**	**78.38**
	SS	0.11	0.30	0.22	0.22	16	0.207	7.63
4	Min	0.14	0.38	26.26	26.41	673	6.343	70.31
	Max	0.59	1.57	26.49	26.53	689	6.800	86.02
	Ort.	**0.38**	**1.02**	**26.36**	**26.46**	**685**	**6.559**	**77.06**
	SS	0.20	0.53	0.09	0.05	6	0.199	5.65
7	Min	0.22	0.61	26.36	26.46	669	6.282	67.65
	Max	0.66	1.81	26.98	27.16	693	6.725	78.73
	Ort.	**0.47**	**1.27**	**26.70**	**26.82**	**680**	**6.523**	**73.09**
	SS	0.15	0.41	0.25	0.28	8	0.157	4.31
10	Min	0.45	1.20	26.08	26.30	650	6.447	63.14
	Max	0.83	2.20	26.37	26.50	691	6.597	78.32
	Ort.	**0.53**	**1.42**	**26.29**	**26.43**	**676**	**6.488**	**71.53**
	SS	0.15	0.39	0.10	0.07	14	0.056	5.27
14	Min	0.17	0.47	26.55	26.59	656	6.296	60.97
	Max	0.72	1.98	26.89	27.09	695	6.535	74.92
	Ort.	**0.58**	**1.58**	**26.77**	**26.93**	**673**	**6.452**	**68.07**
	SS	0.21	0.57	0.13	0.19	12	0.098	4.92
20	Min	0.51	1.37	26.35	26.48	636	6.273	54.26
	Max	0.71	1.93	26.86	27.03	690	6.463	75.70
	Ort.	**0.60**	**1.63**	**26.61**	**26.77**	**670**	**6.371**	**67.24**
	SS	0.07	0.21	0.20	0.22	19	0.069	7.87
28	Min	0.28	0.75	26.16	26.37	627	6.292	42.23
	Max	0.90	2.46	26.73	26.97	692	6.424	77.59
	Ort.	**0.63**	**1.69**	**26.38**	**26.54**	**666**	**6.352**	**63.16**
	SS	0.23	0.62	0.20	0.22	23	0.055	11.65
35	Min	0.35	0.95	26.27	26.47	645	6.169	48.12
	Max	1.00	2.71	26.79	26.88	673	6.550	65.31
	Ort.	**0.64**	**1.71**	**26.50**	**26.67**	**662**	**6.323**	**59.35**
	SS	0.25	0.66	0.19	0.17	10	0.160	6.12
56	Min	0.27	0.72	26.52	26.59	643	6.118	50.54
	Max	0.83	2.26	26.87	27.09	681	6.369	65.34
	Ort.	**0.68**	**1.85**	**26.75**	**26.93**	**660**	**6.254**	**57.83**
	SS	0.21	0.57	0.13	0.19	12	0.096	5.13
70	Min	0.61	1.64	26.34	26.51	643	6.127	45.13
	Max	0.83	2.25	26.65	26.84	671	6.139	64.21
	Ort.	**0.70**	**1.89**	**26.51**	**26.69**	**656**	**6.133**	**57.19**
	SS	0.08	0.21	0.11	0.12	10	0.004	6.76
84	Min	0.66	1.78	26.28	26.48	643	5.950	48.44
	Max	0.81	2.18	26.95	27.13	670	6.068	62.32
	Ort.	**0.73**	**1.97**	**26.47**	**26.66**	**657**	**6.011**	**56.80**
	SS	0.06	0.16	0.25	0.24	11	0.042	5.09

Tablo A.40: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (UB örnek grubu).

Kod: UB		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	0.09	0.24	26.27	26.29	21.50	546	5.016	61.80
	Max	0.14	0.37	26.61	26.63	23.66	622	5.348	85.18
	Ort.	**0.11**	**0.30**	**26.47**	**26.50**	**22.97**	**592**	**5.184**	**74.48**
	SS	0.01	0.03	0.12	0.12	0.58	21	0.115	7.36
4	Min	0.10	0.27	26.55	26.59	22.95	573	5.085	63.62
	Max	0.14	0.39	26.61	26.64	23.61	611	5.229	76.31
	Ort.	**0.13**	**0.34**	**26.58**	**26.61**	**23.27**	**590**	**5.153**	**71.62**
	SS	0.02	0.04	0.02	0.02	0.26	13	0.053	4.83
7	Min	0.14	0.38	26.59	26.63	22.71	574	4.899	66.08
	Max	0.16	0.42	26.62	26.65	23.84	604	5.474	73.99
	Ort.	**0.15**	**0.40**	**26.60**	**26.64**	**23.42**	**587**	**5.116**	**69.77**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.39	10	0.207	3.09
10	Min	0.16	0.44	26.44	26.50	20.93	577	4.926	56.69
	Max	0.20	0.54	26.59	26.63	24.64	590	5.137	72.78
	Ort.	**0.17**	**0.46**	**26.55**	**26.60**	**23.64**	**584**	**5.035**	**67.15**
	SS	0.01	0.04	0.05	0.05	1.39	6	0.079	5.93
14	Min	0.18	0.48	26.46	26.53	22.58	557	4.740	58.57
	Max	0.26	0.71	26.58	26.63	25.38	596	5.365	76.37
	Ort.	**0.20**	**0.55**	**26.55**	**26.61**	**23.97**	**579**	**4.890**	**66.58**
	SS	0.03	0.08	0.05	0.04	0.90	15	0.240	5.88
20	Min	0.23	0.62	26.54	26.60	23.90	566	4.465	58.53
	Max	0.25	0.68	26.59	26.65	24.98	579	4.765	71.09
	Ort.	**0.24**	**0.64**	**26.56**	**26.63**	**24.28**	**575**	**4.687**	**64.25**
	SS	0.01	0.02	0.02	0.02	0.38	5	0.113	4.27
28	Min	0.25	0.68	26.57	26.63	24.29	562	4.610	51.88
	Max	0.27	0.74	26.59	26.66	24.85	587	4.728	66.22
	Ort.	**0.26**	**0.71**	**26.58**	**26.65**	**24.46**	**573**	**4.675**	**61.64**
	SS	0.01	0.02	0.01	0.01	0.22	10	0.039	5.55
35	Min	0.28	0.75	26.54	26.62	24.08	551	4.365	52.56
	Max	0.31	0.83	26.59	26.66	25.22	576	5.049	64.93
	Ort.	**0.29**	**0.78**	**26.57**	**26.64**	**24.54**	**569**	**4.590**	**60.75**
	SS	0.01	0.03	0.02	0.02	0.38	10	0.267	4.57
56	Min	0.30	0.81	26.43	26.53	23.71	543	4.437	52.11
	Max	0.37	1.01	26.55	26.63	25.51	582	4.934	65.96
	Ort.	**0.32**	**0.87**	**26.52**	**26.61**	**24.60**	**565**	**4.551**	**58.25**
	SS	0.03	0.08	0.04	0.04	0.59	15	0.192	4.58
70	Min	0.34	0.91	26.53	26.63	24.60	543	4.472	52.98
	Max	0.35	0.94	26.59	26.68	25.43	578	4.568	57.24
	Ort.	**0.34**	**0.93**	**26.57**	**26.66**	**24.93**	**561**	**4.521**	**55.85**
	SS	0.00	0.01	0.02	0.02	0.27	13	0.037	1.54
84	Min	0.36	0.98	26.44	26.54	24.69	544	4.392	45.43
	Max	0.39	1.04	26.48	26.58	25.77	567	4.731	57.41
	Ort.	**0.38**	**1.01**	**26.46**	**26.56**	**25.07**	**556**	**4.510**	**51.13**
	SS	0.01	0.02	0.02	0.02	0.38	8	0.132	3.99

Tablo A.41: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (İA örnek grubu).

Kod: İA		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	12.12	19.51	10.20	13.65	31.01	241	2.054	8.90
	Max	33.85	35.86	15.79	17.70	53.23	370	3.317	16.25
	Ort.	**23.60**	**29.06**	**12.66**	**15.52**	**40.77**	**298**	**2.645**	**11.97**
	SS	7.56	5.20	1.84	1.34	6.11	43	0.379	2.43
4	Min	15.03	23.85	12.41	15.71	39.78	270	2.185	9.57
	Max	26.67	33.72	15.57	17.91	42.72	318	3.102	16.01
	Ort.	**21.52**	**29.51**	**13.66**	**16.56**	**41.43**	**287**	**2.616**	**11.35**
	SS	3.99	3.34	1.13	0.80	1.08	17	0.298	2.38
7	Min	18.92	28.94	12.11	15.48	39.00	231	2.193	6.54
	Max	27.86	34.39	15.01	17.85	44.99	306	2.632	12.35
	Ort.	**21.05**	**30.35**	**14.32**	**17.30**	**42.04**	**276**	**2.497**	**10.50**
	SS	3.42	2.05	1.12	0.92	2.10	29	0.156	2.10
10	Min	15.62	25.30	11.32	15.06	40.89	230	1.614	6.21
	Max	32.99	38.07	15.93	18.54	43.43	308	2.887	13.74
	Ort.	**22.72**	**30.96**	**13.95**	**16.99**	**42.34**	**266**	**2.417**	**9.73**
	SS	7.05	5.18	1.90	1.40	1.03	34	0.533	2.91
14	Min	22.38	28.51	12.50	15.30	41.22	236	2.291	7.70
	Max	26.88	35.11	12.81	16.26	44.62	290	2.313	8.30
	Ort.	**24.63**	**31.81**	**12.66**	**15.78**	**42.92**	**263**	**2.302**	**8.00**
	SS	2.25	3.30	0.16	0.48	1.70	27	0.011	0.30

Tablo A.42: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K3 örnek grubu).

Kod: K3		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	12.28	21.67	16.15	18.58	35.05	478	2.213	29.03
	Max	15.07	24.81	17.32	19.45	43.54	558	2.428	40.00
	Ort.	**13.80**	**23.54**	**16.75**	**19.05**	**39.56**	**521**	**2.337**	**33.41**
	SS	0.84	1.02	0.34	0.26	2.74	25	0.063	3.37
4	Min	13.13	23.34	16.55	19.07	38.20	486	2.288	22.60
	Max	15.28	25.88	17.44	19.73	42.31	522	2.333	32.91
	Ort.	**14.23**	**24.51**	**16.92**	**19.32**	**40.31**	**503**	**2.312**	**28.46**
	SS	0.87	1.06	0.33	0.23	1.39	14	0.016	3.68
7	Min	13.46	23.79	16.21	18.84	39.43	439	2.238	20.15
	Max	16.24	26.83	17.34	19.68	44.66	543	2.302	33.22
	Ort.	**14.50**	**24.86**	**16.84**	**19.28**	**41.08**	**497**	**2.282**	**25.18**
	SS	0.94	1.09	0.37	0.27	1.85	34	0.023	5.16
10	Min	13.43	23.75	16.65	19.26	40.48	457	2.210	22.81
	Max	15.64	26.55	17.34	19.68	42.59	522	2.247	27.04
	Ort.	**14.42**	**25.06**	**17.06**	**19.52**	**41.59**	**491**	**2.232**	**24.21**
	SS	0.85	1.05	0.29	0.19	0.81	27	0.013	1.56
14	Min	13.97	24.24	16.47	19.03	40.85	453	2.177	21.98
	Max	15.56	26.12	17.03	19.41	43.12	515	2.181	24.51
	Ort.	**14.76**	**25.18**	**16.75**	**19.22**	**41.98**	**484**	**2.179**	**23.24**
	SS	0.80	0.94	0.28	0.19	1.14	31	0.002	1.26

Tablo A.43: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K4 örnek grubu).

Kod: K4 DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	GD (mm)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	18.64	30.68	14.96	18.26	40.79	366	2.120	13.77
	Max	22.12	33.96	16.15	19.16	53.39	451	2.422	20.84
	Ort.	**21.51**	**33.36**	**15.23**	**18.50**	**50.06**	**402**	**2.225**	**16.70**
	SS	0.98	0.92	0.32	0.23	3.48	22	0.082	2.19
4	Min	18.88	31.39	15.04	18.53	49.02	360	2.074	12.93
	Max	23.18	35.54	16.31	19.39	52.47	397	2.348	18.74
	Ort.	**21.46**	**33.93**	**15.56**	**18.89**	**50.70**	**383**	**2.187**	**15.53**
	SS	1.89	1.86	0.54	0.36	1.16	13	0.108	2.24
7	Min	20.22	33.10	15.14	18.65	45.08	358	2.115	12.72
	Max	23.15	35.74	16.05	19.30	55.05	385	2.192	15.75
	Ort.	**22.01**	**34.65**	**15.47**	**18.87**	**51.47**	**368**	**2.153**	**14.34**
	SS	1.28	1.13	0.41	0.31	4.53	12	0.031	1.24
10	Min	22.50	34.91	15.17	18.63	50.81	342	2.036	12.28
	Max	22.78	35.23	15.23	18.66	52.69	378	2.122	14.84
	Ort.	**22.62**	**35.04**	**15.20**	**18.64**	**51.99**	**358**	**2.074**	**13.56**
	SS	0.11	0.12	0.02	0.01	0.74	13	0.031	0.95

Tablo A.44: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K5 örnek grubu).

Kod: K5 DÇ çevrim		A_w (%)	n (%)	γ_k (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	GD (mm)	HL_D -	V_P (km/s)	UCS (MPa)
0	Min	25.96	35.24	11.85	15.56	32.77	282	2.472	10.61
	Max	31.79	39.72	13.32	16.78	61.51	364	2.738	17.24
	Ort.	**30.47**	**38.46**	**12.40**	**16.18**	**47.36**	**310**	**2.549**	**12.39**
	SS	1.62	1.23	0.37	0.30	8.41	21	0.082	1.81
4	Min	26.95	37.08	11.11	15.05	44.72	255	2.442	9.67
	Max	35.51	40.74	13.50	17.14	53.25	309	2.600	16.79
	Ort.	**31.81**	**39.62**	**12.29**	**16.17**	**47.82**	**287**	**2.500**	**12.34**
	SS	2.80	1.30	0.77	0.67	3.50	20	0.057	2.57
7	Min	27.59	37.86	12.32	16.30	45.98	249	2.371	9.50
	Max	32.29	40.55	13.46	17.18	52.24	322	2.643	12.85
	Ort.	**30.92**	**39.78**	**12.64**	**16.55**	**48.26**	**282**	**2.462**	**11.31**
	SS	1.69	0.99	0.41	0.32	2.34	24	0.098	1.14
10	Min	27.64	37.78	12.22	16.30	46.89	259	2.365	8.93
	Max	33.41	41.62	13.41	17.12	52.42	298	2.450	13.96
	Ort.	**31.01**	**40.02**	**12.69**	**16.61**	**48.99**	**278**	**2.396**	**11.12**
	SS	2.05	1.49	0.40	0.27	2.24	13	0.029	1.67
14	Min	27.99	38.44	11.80	15.61	48.10	260	2.277	9.00
	Max	33.97	42.05	13.47	17.24	50.09	285	2.410	11.45
	Ort.	**31.39**	**40.05**	**12.55**	**16.48**	**49.19**	**275**	**2.352**	**10.17**
	SS	2.01	1.30	0.58	0.54	0.90	8	0.050	0.80
20	Min	30.48	39.47	11.95	16.00	48.12	267	2.279	8.07
	Max	33.92	41.31	12.88	16.80	51.10	277	2.317	10.54
	Ort.	**31.91**	**40.26**	**12.39**	**16.34**	**49.44**	**272**	**2.293**	**9.21**
	SS	1.46	0.78	0.38	0.34	1.24	4	0.017	1.02

Tablo A.45: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (K1 örnek grubu).

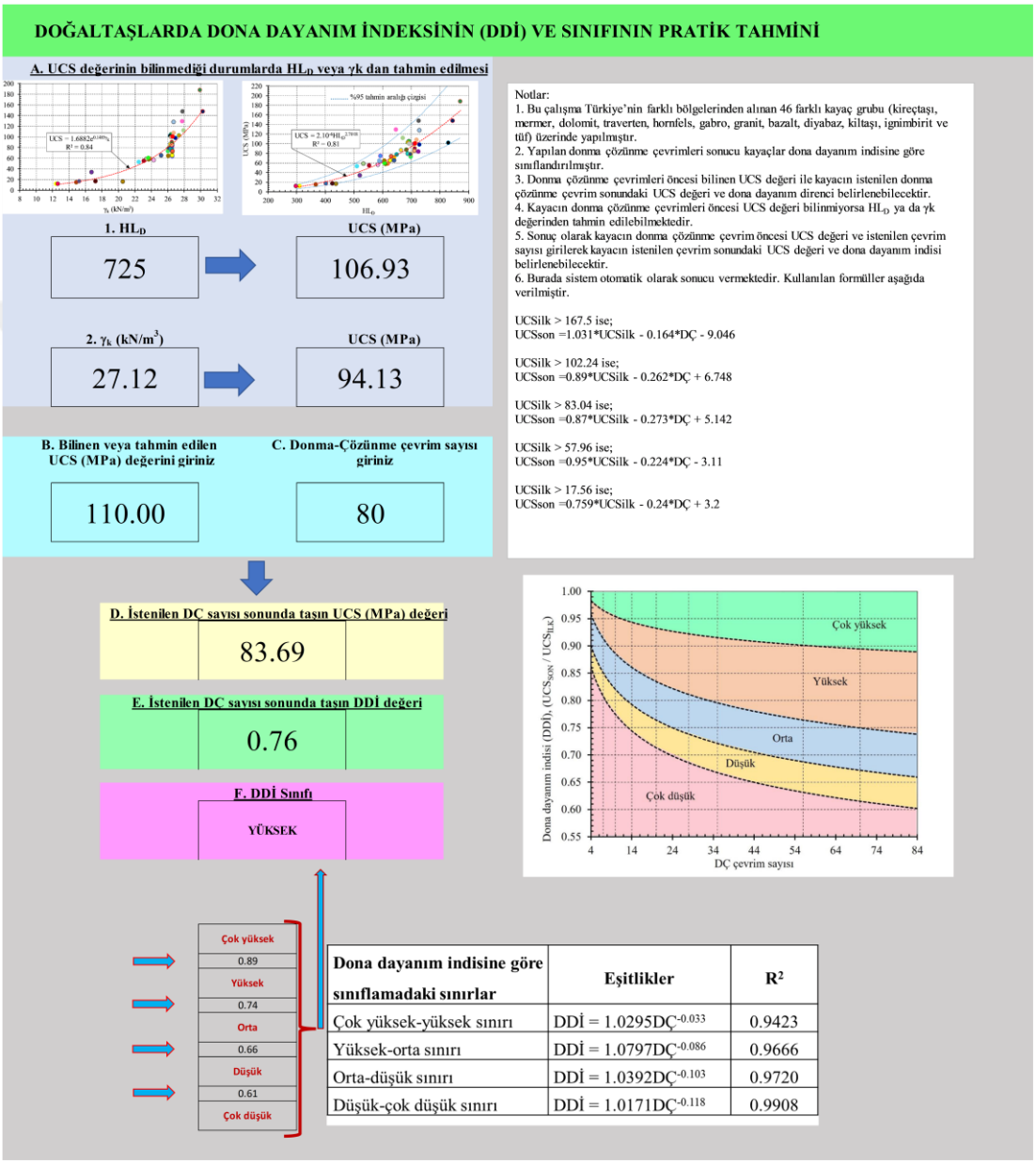
Kod: K1		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	19.64	30.11	14.27	17.65	26.99	341	2.769	13.06
	Max	23.71	34.49	15.12	18.16	38.60	426	2.970	16.76
	Ort.	**20.93**	**31.66**	**14.85**	**17.96**	**32.65**	**367**	**2.906**	**15.01**
	SS	1.12	1.19	0.23	0.13	3.87	27	0.058	1.16
4	Min	20.47	31.67	14.62	17.89	30.92	322	2.745	12.79
	Max	22.36	33.32	15.18	18.28	35.13	389	2.852	14.59
	Ort.	**21.18**	**32.26**	**14.95**	**18.12**	**33.89**	**359**	**2.807**	**13.79**
	SS	0.71	0.63	0.21	0.15	1.74	25	0.045	0.68
7	Min	21.77	32.68	14.73	17.93	34.72	355	2.724	10.82
	Max	21.77	32.68	14.73	17.93	34.72	355	2.724	10.82
	Ort.	**21.77**	**32.68**	**14.73**	**17.93**	**34.72**	**355**	**2.724**	**10.82**
	SS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.000	0.00
10	Min	21.48	32.84	14.69	17.94	34.17	347	2.628	9.07
	Max	22.15	33.17	15.00	18.22	36.33	350	2.633	10.32
	Ort.	**21.82**	**33.01**	**14.84**	**18.08**	**35.25**	**348**	**2.630**	**9.70**
	SS	0.33	0.16	0.15	0.14	1.08	1	0.002	0.62

Tablo A.46: DÇ çevrimleri sonrası örneklerin kontrol parametrelerine ait değerler (ÖR örnek grubu).

Kod: ÖR		A_w	n	γ_k	γ_d	GD	HL_D	V_P	UCS
DÇ çevrim		(%)	(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(mm)	-	(km/s)	(MPa)
0	Min	6.61	14.48	19.99	22.04	26.36	393	3.698	12.32
	Max	10.26	20.91	21.50	22.92	35.45	500	4.886	19.66
	Ort.	**8.84**	**18.47**	**20.57**	**22.38**	**32.78**	**437**	**4.066**	**15.90**
	SS	1.32	2.36	0.52	0.29	2.99	39	0.430	2.35
4	Min	6.35	14.01	19.81	21.99	28.02	383	2.822	11.35
	Max	10.98	22.17	21.66	23.03	36.85	503	5.010	16.44
	Ort.	**9.29**	**19.32**	**20.51**	**22.40**	**33.31**	**421**	**3.808**	**14.25**
	SS	1.57	2.79	0.62	0.34	3.07	43	0.751	2.04
7	Min	9.38	19.91	20.45	22.51	31.73	385	3.566	11.15
	Max	10.04	20.93	20.82	22.77	36.01	435	3.906	15.76
	Ort.	**9.73**	**20.44**	**20.61**	**22.62**	**34.35**	**404**	**3.692**	**13.30**
	SS	0.27	0.42	0.15	0.11	1.87	22	0.152	1.89
10	Min	10.20	21.36	20.55	22.64	35.39	385	3.447	11.27
	Max	10.20	21.36	20.55	22.64	35.39	385	3.447	11.27
	Ort.	**10.20**	**21.36**	**20.55**	**22.64**	**35.39**	**385**	**3.447**	**11.27**
	SS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.000	0.00

EK B Doğaltaşlarda Dona Dayanım İndisinin (DDİ) ve Sınıfının Pratik Tahmini

Doğaltaşlarda dona dayanım indisinin (DDİ) ve sınıfının pratik tahmini için Excel programında hazırlanan uygulamaya ait görüntü Şekil B.1'de verilmiştir.



Şekil B.1: Doğaltaşlarda dona dayanım indisinin (DDİ) ve sınıfının pratik tahmini için yapılan uygulama.