T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

AYRIŞMIŞ KİREÇTAŞLARININ SINIFLANDIRILMASI VE KARAKTERİZASYONU

Candan BİLEN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2020

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

AYRIŞMIŞ KİREÇTAŞLARININ SINIFLANDIRILMASI VE KARAKTERİZASYONU

Candan BİLEN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma 31.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Atiye TUĞRUL
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi

Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xiv**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xvi**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI 1
1.2 ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI 3
1.2.1 Coğrafya 4
1.2.2 Yüzey Şekilleri 4
1.2.3 Akarsu Ağı 4
1.2.4 İklim 5
1.2.5 Sıcaklık 5
1.2.6 Yağış 6
1.2.7 Bitki Örtüsü 7
1.2.8 Yerleşim ve Ulaşım 7
2. GENEL KISIMLAR **8**
2.1 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 8
2.1.1 Araştırma Alanı ile İlgili Önceki Çalışmalar 8
2.1.2 Araştırma Konusu ile İlgili Önceki Çalışmalar 11
3. MALZEME VE YÖNTEM **20**
3.1 BÜRO ÇALIŞMALARI 20
3.2 ARAZİ ÇALIŞMALARI 20
3.3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI 22
3.3.1 Petrografi Çalışmaları 22

3.3.2 Kimyasal Analizler 23
3.3.3 Fiziksel Özellikler 26
4. BULGULAR 29
4.1 İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ 29
4.1.1 Trakya Formasyonu 31
4.1.2 Kapaklı Formasyonu 31
4.1.3 Demirciler Formasyonu 31
4.1.4 Ballıkaya Formasyonu 32
4.1.5 Akveren Formasyonu 35
4.1.6 Meşetepe Formasyonu 35
4.2 BÖLGENİN JEOLOJİK EVRİMİ 36
4.3 ÇALIŞILAN KİREÇTAŞI VE DOLOMİTLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE TANIMLAR 38
4.4 AYRIŞMANIN GENEL ÖZELLİKLERİ 43
4.4.1 Giriş 43
4.4.2 Ayrışmanın Genel Prensipleri ve Ayrışma Tipleri 44
4.4.2.1 Fiziksel Ayrışma 47
4.4.2.2 Kimyasal Ayrışma 49
4.4.2.3 Biyolojik Ayrışma 50
4.4.3 Çalışma Alanında Ayrışmayı Denetleyen Başlıca Faktörler ve Kayaçların Ayrışma Süreçleri 52
4.4.3.1 Litolojik Özellikler 52
4.4.3.3 Yapısal Özellikler 58
4.4.3.4 Yüzey ve Yeraltı Suları 61
4.4.3.5 Karstlaşma 62
4.4.4 Ayrışmanın İncelenen Kayaçlara Etkileri 64
4.4.4.1 Ayrışmanın Süreksizlik Özelliklerine Etkisi 64
4.4.4.2 Ayrışma ile Petrografik Özelliklerdeki Değişimler 67
4.4.4.3 Ayrışmanın Mineralojik Özelliklere Etkisi 81
4.4.4.4 Ayrışmaya Bağlı Kimyasal Değişimler 88
4.4.4.5 Ayrışmaya Bağlı Kimyasal İndekslerdeki Değişim 94
4.4.4.6 Ayrışma ile Fiziksel-Mekanik Özelliklerdeki Değişimler 98
4.4.5 İncelenen Kayaçlardaki Ayrışma Profilleri 114

TARTIŞMA VE SONUÇ **122**
KAYNAKLAR **145**
ÖZGEÇMİŞ **157**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası 3
Şekil 1.2 Çalışma sahası iklim verilerinin Peltier (1950) diyagramlarında gösterimi 5
Şekil 1.3 Çalısma alanı ve çevresine ait en yüksek, en düşük ve ortalama sıcaklık değerleri ile yağış verileri arasındaki ilişki 6
Şekil 3.1 Arazide Schmidt Çekici geri sıçrama değeri ölçümü çalışmasına ait görüntü. 21
Şekil 3.2 İnce kesitlerin polarizan mikroskopta incelenmesi ve fotoğraflanması. 22
Şekil 3.3 Kimyasal analizler sırasında kullanılan XRF cihazı 24
Şekil 3.4 Kimyasal analizleri için toz numune hazırlama işlemi ve XRD ölçüm cihazı 25
Şekil 3.5 Kireçtaşı ve dolomit bloklarından silindirik karot örneği alımı. 26
Şekil 3.6 Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan karot örneklerine ait bir görüntü. 27
Şekil 3.7 Pundit cihazı ile P dalga hızı ölçümü. 28
Şekil 3.8 Tek eksenli sıkışma dayanımı ölçümü. 28
Şekil 4.1 Çalışma alanı ve yakın çevresine ait jeoloji haritası 30
Şekil 4.2 Ballıkaya formasyonu içerisinde açılmış taş ocağının genel görünümü 34
Şekil 4.3 Anadolu levhası ve çevresinin ana kenet kusakları ve kıtasal blokları gösterir harita 36
Şekil 4.4 Basit kireçtaşı sınıflaması 39
Şekil 4.5 Karbonat kayalarında doku sınıflaması 40
Şekil 4.6 Karbonatların minerolojik içerigine göre sınıflandırılması 43
Şekil 4.7 Ayrışma sınıflamasını ve karakterizasyonunu belirleyen etmenler 45
Şekil 4.8 Minerallerin atmosferik koşullara bağlı olarak gelişen ayrışmaya karşı duraylılıkları 46
Şekil 4.9 Farklı ayrışma tiplerini oluşturan etkenler 47
Şekil 4.10 a) Taze (I) - az ayrışmış (II) ve orta derecede ayrışmış (III) kireçtaşlarının kaya kütlesi görünümü b) orta derecede ayrışmış kireçtaşında demir oksit gelişimi c) taze kireçtaşı kaya malzemesi görünümü 53

Şekil 4.11 a) Orta derecede ayrışmış (III), tamamen ayrışmış (IV) ve rezidüel zemin (V) kireçtaşlarının kaya kütlesi ve zemin malzemesi görünümü b) rezidüel zemin kireçtaşında ayrışma ürünlerinden (kil, demir oksit vd.) oluşan zemin malzemesi c) tamamen ayrışmış kireçtaşı kaya malzemesi görünümü 54
Şekil 4.12 a) Taze (I) - az ayrışmış (II) dolomitlerin kaya kütlesi görünümü b) taze-az ayrışmış kaya malzemesi (tabakalı çörtlü yapı) c) orta derecede aytışmış dolomit kaya kütlesi ve tabakalarda demir oksitlenmeden kaynaklı kırmızı renkli görünüm d) kaya malzemesi içerisindeki süreksizlik yüzeylerinde meydana gelen demir oksitlenmeler..... 56
Şekil 4.13 a) Tamamen ayrışmış (IV) ve rezidüel zemin (V) seviye dolomit kaya kütlesi görünümü b) ileri derecede ayrışmış kaya malzemesi c-d) rezidüel zemin seviyeye ait zemin malzemesi 57
Şekil 4.14 Çalışma alanında gözlemlenen normal fay görüntüsü 59
Şekil 4.15 Arazideki tektonik etkiler sonucu oluşmuş fay, kıvrım ile ezik zonlar ve ayrışmanın bu alanlardaki gelişimi..... 60
Şekil 4.16 Çalışma alanındaki farklı süreksizlik takımları ve bu alanlarda meydana gelen ayrışmalar 66
Şekil 4.17 Ayrışma derecelerine göre kireçtaşlarının ince kesit görüntüleri ((I) taze, (II) az ayrışmış, (III) orta derecede ayrışmış, (IV) tamamen ayrışmış kireçtaşı örneğine ait polarizan mikroskop görüntüleri. Sol taraftaki ince kesit görüntüleri tek nikol olup sağ taraftaki görüntüler çift nikol altında elde edilmiştir. 70
Şekil 4.18 Taze (I) - az ayrışmış (II) kireçtaşlarına ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri 71
Şekil 4.19 Orta derecede (III), tamamen (IV) ve rezidüel zemin (V) kireçtaşlarına ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri..... 72
Şekil 4.20 Tamamen ayrışmış (IV) ve rezidüel zemin (V) kireçtaşlarına ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri..... 73
Şekil 4.21 Ayrışma derecelerine göre dolomitlerin ince kesit görüntüleri ((I) taze, (II) az ayrışmış, (III) orta derecede ayrışmış, (IV) tamamen ayrışmış dolomit örneğine ait polarizan mikroskop görüntüleri. Sol taraftaki ince kesit görüntüleri tek nikol olup sağ taraftaki görüntüler çift nikol altında elde edilmiştir. 77

Şekil 4.22 Taze (I) dolomite ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri 78
Şekil 4.23 Az ayrışmış (II) (a1) ve orta derecede ayrışmış (III) (a2) dolomite ait a) arazi b) polarizan mikroskop tek nikol c) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri 79
Şekil 4.24 Tamamen ayrışmış (IV) dolomite ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri 80
Şekil 4.25 Taze (I) kireçtaşına ait XRD grafiği 82
Şekil 4.26 Az ayrışmış (II) kireçtaşına ait XRD grafiği 83
Şekil 4.27 Orta derecede ayrışmış (III) kireçtaşına ait XRD grafiği 83
Şekil 4.28 İleri derecede ayrışmış (IV) kireçtaşına ait XRD grafiği 84
Şekil 4.29 Tamamen ayrışmış (V) kireçtaşına ait XRD grafiği 84
Şekil 4.30 Taze (I) dolomite ait XRD grafiği 85
Şekil 4.31 Az ayrışmış (II) dolomite ait XRD grafiği 86
Şekil 4.32 Orta derecede ayrışmış (III) dolomite ait XRD grafiği 86
Şekil 4.33 İleri derecede ayrışmış (IV) dolomite ait XRD grafiği 87
Şekil 4.34 Tamamen ayrışmış (V) dolomite ait XRD grafiği 87
Şekil 4.35 Kireçtaşlarının saflıklarına göre sınıflandırılması (Krumbein ve Sloss, 1963'ten değiştirilerek) 91
Şekil 4.36 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarının içerdiği ana element oksit ve kızdırma kaybı yüzdeleri 92
Şekil 4.37 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlerin içerdiği ana element oksit ve kızdırma kaybı yüzdeleri 92
Şekil 4.38 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kızdırma kaybı değerlerinin değişimi 94
Şekil 4.39 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait kimyasal analiz sonuçları ve kimyasal ayrışma index değerleri 97
Şekil 4.40 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait kimyasal analiz sonuçları ve kimyasal ayrışma index değerleri 98
Şekil 4.41 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait özgül ağırlık değerlerinin değişimi 100
Şekil 4.42 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait özgül ağırlık değerlerinin değişimi 100

Şekil 4.43 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin değişimi 102
Şekil 4.44 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin değişimi 103
Şekil 4.45 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait etkin gözeneklilik değerlerinin değişimi..... 105
Şekil 4.46 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait etkin gözeneklilik değerlerinin değişimi..... 105
Şekil 4.47 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait ağırlıkça su emme değerlerinin değişimi..... 107
Şekil 4.48 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait ağırlıkça su emme değerlerinin değişimi..... 108
Şekil 4.49 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait P dalga hızı değerlerinin değişimi..... 110
Şekil 4.50 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait P dalga hızı değerlerinin değişimi..... 110
Şekil 4.51 Karot örnek alımı sırasında ayrışmadan kaynaklı yaşanan sorunlar 112
Şekil 4.52 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin değişimi 113
Şekil 4.53 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin değişimi 113
Şekil 4.54 Karbonatlı kayaçlara ait tipik ayrışma profili. 116
Şekil 4.55 Kireçtaşı kütlesindeki farklı ayrışma dereceleri 117
Şekil 4.56 Kireçtaşı ayrışma profili üzerindeki temsili örnekleme noktaları 118
Şekil 4.57 Dolomit ayrışma profili üzerindeki temsili örnekleme noktaları 119
Şekil 4.58 İnceleme alanındaki kireçtaşlarına ait tipik ayrışma profili 120
Şekil 4.59 İnceleme alanındaki dolomitlere ait tipik ayrışma profili 121
Şekil 5.1 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile kızdırma kaybı değerlerinin karşılaştırılması 124
Şekil 5.2 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması 124
Şekil 5.3 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması 125

Şekil 5.4 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması 125
Şekil 5.5 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 126
Şekil 5.6 Kireçtaşlarındaki kızdırma kaybı değerleri ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması 127
Şekil 5.7 Kireçtaşlarındaki kızdırma kaybı değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması 127
Şekil 5.8 Kireçtaşlarındaki kızdırma kaybı değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 128
Şekil 5.9 Kireçtaşlarındaki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması 129
Şekil 5.10 Kireçtaşlarındaki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması 129
Şekil 5.11 Kireçtaşlarındaki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 130
Şekil 5.12 Kireçtaşlarındaki ağırlıkça su emme değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması 131
Şekil 5.13 Kireçtaşlarındaki ağırlıkça su emme değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 131
Şekil 5.14 Kireçtaşlarındaki P dalga hızı değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 132
Şekil 5.15 Dolomitlerdeki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması 133
Şekil 5.16 Dolomitlerdeki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması 134
Şekil 5.17 Dolomitlerdeki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması 134
Şekil 5.18 Dolomitlerdeki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile tek eksenli sıkışma değerlerinin karşılaştırılması 135
Şekil 5.19 Dolomitlerdeki kızdırma kaybı değerleri ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması 136

Şekil 5.20 Dolomitlerdeki kızdırma kaybı değerleri ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması 136
Şekil 5.21 Dolomitlerdeki kızdırma kaybı değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması 137
Şekil 5.22 Dolomitlerdeki kızdırma kaybı değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 137
Şekil 5.23 Dolomitlerdeki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması 138
Şekil 5.24 Dolomitlerdeki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması 138
Şekil 5.25 Dolomitlerdeki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 139
Şekil 5.26 Dolomitlerdeki ağırlıkça su emme değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması 140
Şekil 5.27 Dolomitlerdeki ağırlıkça su emme değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 140
Şekil 5.28 Dolomitlerdeki P dalga hızı değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması 141

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1 Çalışma alanı ve çevresinin yağış ve sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımları (2004-2017) 6
Tablo 4.1 Uniform malzemeler için ayrışma sınıflaması 51
Tablo 4.2 Heterojen kütleler için ayrışma sınıflaması 51
Tablo 4.3 Kireçtaşlarına ait süreksizliklerin özellikleri 64
Tablo 4.4 Dolomitlere ait süreksizliklerin özellikleri 64
Tablo 4.5 Farklı derecelerde ayrışmış kireçtaşlarına ait petrografik özellikler 69
Tablo 4.6 Farklı derecelerde ayrışmış dolomitlere ait petrografik özellikler 76
Tablo 4.7 İncelenen kayaçların mineralojik özellikleri 81
Tablo 4.8 Farklı derecede ayrışmış kireçtaşlarının bolluk sıralarına göre içerdiği mineraller 82
Tablo 4.9 Farklı derecede ayrışmış dolomitlerin bolluk sıralarına göre içerdiği mineraller 85
Tablo 4.10 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kimyasal analiz sonuçları 89
Tablo 4.11 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kızdırma kaybı değerleri ve değişimler 93
Tablo 4.12 Farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş olan kimyasal ayrışma indeksleri ve tez kapsamında karbonatlı kayaçlar için üretilen yeni kimyasal ayrışma indeksi 95
Tablo 4.13 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kimyasal indeks değerleri 96
Tablo 4.14 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait kimyasal analiz sonuçları ve yeni kimyasal ayrışma index değerleri 97
Tablo 4.15 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait kimyasal analiz sonuçları ve yeni kimyasal ayrışma index değerleri 97
Tablo 4.16 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait özgül ağırlık değerleri 99
Tablo 4.17 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kuru birim hacim ağırlık değerleri 101
Tablo 4.18 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait etkin gözeneklilik değerleri 104

Tablo 4.19 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait ağırlıkça su emme değerleri 106
Tablo 4.20 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait P dalga hızı değerleri 109
Tablo 4.21 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait tek eksenli sıkışma deneyi sonuçları ve SHV değerleri 112
Tablo 4.22 İncelenen kireçtaşı ve dolomit kayaçlarının ayrışma derecelerini arazide belirlemede kullanılan özelliklerinin karşılaştırılması 115
Tablo 5.1 Kireçtaşları için doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler ile elde edilmiş korelasyon katsayıları 123
Tablo 5.2 Dolomitler için doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler ile elde edilmiş korelasyon katsayıları 123

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
n_e	: Etkin (Görünür) Porozite
w_a	: Ağırlıkça Su Emme
Vp	: P Dalga Hızı
ρ	: Özgül Ağırlık
γ_k	: Kuru Birim Hacim Ağırlık
σ_c	: Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Kısaltmalar	Açıklama
LOI	: Kızdırma Kaybı (Loss on Ignition)
WPI	: Ayrışma Potansiyeli İndeksi (Weathering Potential Index)
PI	: Ürün İndeksi (Product Index)
MPWI	: Geliştirilmiş Ayrışma Potansiyeli İndeksi (Modified Weathering Potential Index)
RR	: Ruxton Oranı (Ruxton Ratio)
VR	: Vogt Oranı (Vogt Residuel Index)
CIW	: Ayrışmanın Kimyasal İndeksi (Chemical Index of Weathering)
CIA	: Alterasyonun Kimyasal İndeksi (Chemical Index of Alteration)
WIP	: Parker İndeksi (Weathering Index of Parker)
CWICR	: Karbonatlı Kayaçların Kimyasal Ayrışma İndeksi (Chemical Weathering Index for Carbonate Rocks)
XRD	: X Işını Kırınımı (X ray diffraction)
XRF	: X Işını Floresans (X Ray Flouresence)

ÖZET

DOKTORA TEZİ

AYRIŞMIŞ KİREÇTAŞLARININ SINIFLANDIRILMASI VE KARAKTERİZASYONU

Candan BİLEN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

Karbonatlı kayaçların ayrışma süreçlerinin birçok mühendislik projesinde farklı problemlere neden olmasından dolayı bu çalışmada, kireçtaşları ve dolomitlerde meydana gelen ayrışma süreçleri sonucu kayaçta ve kaya kütlesinde gelişen değişimler değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler ışığında, bu kayaç türleri için ayrışma profilleri geliştirilmiş ve profillerde yer alan her bir ayrışma derecesinde kayaçların mineralojik-petrografik özelliklerindeki değişimler ile fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimler tanımlanmıştır. Bu amaçla; kireçtaşı ve dolomit türü karbonatlı kayaçların ayrışmaya bağlı olarak mühendislik özelliklerindeki değişimler nedenleriyle birlikte ortaya konulmuştur. Çalışma alanı olarak, Gebze bölgesinde bulunan kırmataş ocakları seçilmiştir. Kireçtaşları ve dolomitlerden oluşan alanlarda yapılan arazi çalışmaları sırasında, öncelikle gözlemsel olarak ayırtlanan farklı ayrışma seviyeleri için her iki kayaç grubuna ait örnekler alınmıştır.

Araziden alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen petrografik çalışmalar ile ayırtlanan kireçtaşı ve dolomit türü karbonatlı kayaçlar üzerinde detaylı araştırmalar yapılmıştır. Farklı ayrışma derecelerindeki bu kayaç gruplarına ait örnekler üzerinde petrografik araştırmaların ardından, mineralojik ve kimyasal incelemeler yapılarak, bu örneklerin mineralojik ve kimyasal bileşim, doku vb özelliklerindeki ayrışmaya bağlı değişimler ortaya konmuştur. Daha sonraki aşamalarda, örneklerin özgül ağırlık, etkin (görünür) gözeneklik, ağırlıkça su emme, P dalga hızları, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ölçülmüş ve elde edilen bulguların yorumlanması sonucunda karbonatlı kayaç kimyasal ayrışma indeksi (CWICR) önerilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar; taze seviyeden ileri derecede ayrışmış seviyeye kadar yürütülmüştür. Tamamen ayrışmış seviye kaya kütlesi özelliği göstermediği için bu alanlarda sadece

mineralojik (XRD), kimyasal (XRF) ve fiziksel özelliklere ait parametrelerin ölçümleri yapılmıştır.

Elde edilen verilere göre; CaO, MgO yüzdesi, kızdırma kaybı (LOI), özgül ağırlık, P dalga hızı (Vp) değerleri, tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değerleri ayrışma ile azalma gösterirken, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 yüzdesi, karbonatlı kayaç kimyasal ayrışma indeksi (CWICR), etkin (görünür) gözeneklilik (ne) ile ağırlıkça su emme değerleri artış göstermektedir.

Kireçtaşlarına ait petrografik, kimyasal ve fizikomekanik özelliklerin ayrışmaya bağlı değişimleri, yapılan basit regresyon analizlerine göre de değerlendirilmiştir. Bu değelendirmeler ışığında; SiO_2 yüzdesi, Al_2O_3 yüzdesi, kızdırma kaybı (LOI), karbonatlı kayaç kimyasal ayrışma indeksi (CWICR), etkin (görünür) porozite (n_e), ağırlıkça su emme (w_a), P dalga hızı (V_p) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değerleri birbirleri ile önemli ilişkiler sunmaktadırlar. Dolomitlerde ise özellikle SiO_2 yüzdesi, Al_2O_3 yüzdesi, Fe_2O_3 yüzdesi, kızdırma kaybı (LOI), özgül ağırlık (ρ), ağırlıkça su emme (Wa), etkin (görünür) gözeneklilik (ne), P dalga hızı (Vp) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (σc)'nın birbirleri ile önemli ilişkiler elde edilmiştir.

Ocak 2020, 160 sayfa.

Anahtar kelimeler: Ayrışma, karbonatlı kayaçlar, fizikomekanik özellikler, petrografi özellikleri, kimyasal özellikler

SUMMARY

Ph.D. THESIS

CLASSIFICATION AND CHARACTERIZATION OF WEATHERED LIMESTONES

Candan BILEN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

In this thesis study, weathering profiles were obtained for limestone and dolomites with the help of the changes occured at the end of the weathering processes of this rock types and characterization of each weathering level observed in these abovementioned profiles was performed. The necessity of this study is the fact that weathering process of carbonate rocks results in different problems as regards to many engineering projects. For this purpose, weathering related changes in engineering properties of carbonatecous rock like limestone and dolomite were tried to be explained with its possible causes. In this context, limestone and dolomites placed in quarries located at Gebze region were taken into consideration. During the field analysis, initially sampling was carried out from the specific weathering profiles which includes each weathering levels for each type of rock.

Detailed investigations were carried out on the previously determined (by field investigations and petrographic observations) limestone and dolomite type carbonate rocks. Initially petrographical, minerological and chemical observations were performed on these samples from different weathering level group and their corresponding changes in mineralogical and chemical composition, texture and etc. properties as regards to weathering were explained in detail. Latter, samples (previously petrographical,mineralogical and chemical properties determined) are analyzed in terms of their density, dry unit weight, effective porosity, water absorbtion percent (% Wa), compressional wave velocity, uniaxial compression test, and in this context a new chemical weathering index for carbonate type rocks (CWICR) was proposed. All of the experimental work was carried out starting from fresh level to completely weathered level. Since the level of completely weathered has no rock mass properties, only mineralogical

(XRD), chemical (XRF) and physical properties were measured and determined for the samples in this group.

As regards to the evaluation of the obtained data from either experimental work or field study, occurance of important changes related to the weathering in terms of petrographical, mineralogical, chemical, physical and mechanical properties were determined. CaO, MgO percentages, loss on ignition (LOI), density, dry unit weight, compressional wave velocity (Vp measurements), uniaxial compression values (σc) show a decrease with weathering, while SiO2, Al2O3, Fe2O3 percentages, chemical weathering index for carbonate type rock (CWICR), effective porosity (ne) and water absorbtion percent (%ww) show an increase with weathering.

Considering the changes in petrographical, chemical and physico-mechanical properties of limestones related to weathering in terms of basic regression analyses,SiO2, Al2O3 percentages, loss of ignition (LOI), chemical weathering index for carbonate type rocks (CWICR), effective porosity, (ne), water absorption percentage (Wa), compressional wave velocity (Vp) and uniaxial compression strength (σc) values can be employed to have a numerical description of weathering (weathering classification) for limestones, since the abovementioned ones represent a high correlation coefficients with respect to each other. For dolomites however, high correlation coefficients with respect to SiO2, Al2O3, Fe2O3 percentages, loss of ignition, (LOI), density (p), water absorption percentage (Wa), effective porosity (ne), compressional wave velocity (Vp) and uniaxial compression strenght (σc) were obtained. For this reason, these abovementioned parameters can be employed to determine weathering levels of the rocks investigated.

January 2020, 160 pages.

Keywords: Weathering, carbonate rocks, physicomechanical properties, petrographical properties, chemical properties

1. GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Geçmiş jeolojik dönemlerde, yüzey ve yeraltında farklı sıcaklık ve basınç koşullarına maruz kalan kayaçların ve minerallerin, yüzeyde veya yüzeye yakın yerlerde farklı ortam koşullarının etkisi ile bu yeni koşullara uyum sağlamak için gösterdikleri değişim "ayrışma" olarak tanımlanmaktadır (Fookes ve diğ. 1971). Gerek ayrışma süreçlerinin gerçekleştiği seviyelerden sağlanan malzemenin kullanımı, gerekse söz konusu ayrışma zonları içerisinde farklı inşaat faaliyetlerinin olması, mühendislik uygulamalarında ayrışmanın türünün, derecesinin, derinliğinin ve ayrışma ürünlerine ait mühendislik parametrelerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu gereksinimleri karşılamak üzere, kayaçların ayrışma derecelerinin tanımlanması amacıyla, birçok araştırmacı tarafından farklı kayaç türleri için değişik ayrışma sınıflamaları geliştirilmiştir. Bugüne kadar ayrışma konusunda yapılan çalışmalar genellikle mağmatik (Tuğrul 1995, Ceryan 1998, Kılıç 1999, Sönmez 1999, Yılgör 2000, Dinçer; 2001, Koçbay;2003, Alemdağ; 2004, Gürocak ve Kılıç 2005, Ündül 2007, Ersöz 2017) kısmen metamorfik kayaçlar (Yurdakul 2006, Kılıç ve diğ. 2014) üzerinde yapılmış olup, çok sınırlı sayıda sedimanter kayaçlar (Kılavuz 1999, Usturbelli 2008) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla her türlü kayacın ayrışma derecesinin belirlenmesinde, genellikle mağmatik kayaçlar için esas alınan ölçütlerin kullanılması gibi bir sınırlama mevcuttur.

Karbonatlı kayaçların ayrışma süreçlerinin mühendislik projelerinde neden olduğu problemlerden bazıları şu şekilde özetlenebilir;

* Ayrışmanın özellikle taş ocaklarında blok verimini ve üretilen malzeme (agrega) kalitesini doğrudan etkilemesi nedeniyle kireçtaşları ve dolomitlerin uygun hammadde olarak kullanımında ayrışma süreçlerinin tanımlanmasını gerekli kılmaktadır.

* Birçok mühendislik yapısı yüzeyde veya yüzeye yakın derinlikte, belirli bir derecede ayrışmış kaya ve kalıntı toprak üzerinde yapılmaktadır. Bu durumda temellerde kazı yönteminin belirlemesinde ayrışma dereceleri belirlenmesi önemlidir.

* Yeraltı kazılarında (tünel, metro inşaası vs.) ayrışma zonlarının stabiliteyi etkilemesi nedeniyle bu zonların ayrımının iyi sapılması gerekmektedir.

* Ayrışma; yol projelerinde ve taş ocaklarında şevlerin stabilitesini etkilemekte ve hareket türlerini kontrol etmektedir.

* Kaya kütlesinin ayrışma bölgelerinde porozitenin artmasıyla birlikte hidrolik iletkenlikteki artış sonucunda rezervuardaki akiferlerin hızlı bir şekilde kirletici taşınımı sonucu kirlenmesine neden olmakta ve kimyasal kirlilik artış göstermektedir.

* Baraj projelerinin yapılacağı alanda yer alan karstik boşluk ve diğer ayrışma zonlarında su kaçakları ve çökmelere neden olmaktadır.

* Farklı ayrışma derecelerine sahip kireçtaşı ve dolomit kütlelerinde ayrışma karakterizasyonunun bilinmesi ve sınıflandırılması ile, bu kütlelerde inşaa edilecek olan mühendislik projelerinin planlanmasında, öngörülmeyen masrafların ve zaman kayıplarının önüne geçilmesi sağlanabilir.

Literatürde bugüne kadar karbonatlı kayaçların ayrışması konusunda gerçekleştirilmiş çalışmaların, genellikle tarihi eserlerde kullanılan kayaçlarda meydana gelen bozunma türü ayrışmalar olduğu görülmüştür. Farklı ayrışma profilleri ve derecelerindeki değişimlerin belirlenmesindeki bazı eksikliklerden dolayı, uygulamaya yönelik olarak kullanılması planlanan bu doktora tez çalışması hazırlanmıştır. Bu kapsamda; farklı özelliklerdeki kireçtaşı ve dolomit ortamlarına özel ayrışma profilleri geliştirilerek, ayrışma süreçlerinin etkisi ile profillerdeki her bir sınıfa ait kaya kütle ve malzemesindeki mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin nedenleriyle birlikte ortaya konarak birbirleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Oluşum süreçleri, ortam koşulları ve kayaç türleri; çalışılan kireçtaşı ve dolomitler ile benzer olmak şartı ile bu tür kaya malzeme ve kütlelerinde ayrışmadan kaynaklı sorunlarının tahmin edilmesi noktasında; pratik, uygulanabilir ve güvenilir mühendislik parametreleri ile belirlenen ve sahaya özel tipik ayrışma profillerinin tanımlanması amaçlanmıştır.

1.2 ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI

Farklı türdeki ayrışma türlerini ve ayrışma derecelerini açık ve net bir şekilde görülebileceği alanlardan biri olan taş ocaklarındaki şevlerin incelemeye uygunluğu göz önünde bulundurularak Kocaeli-Gebze bölgesindeki taş ocakları çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanı Marmara Bölgesi'nin kuzeydoğu kısmında bulunan Kocaeli iline bağlı Gebze ilçesinin güneydoğusundaki Muallimköy sınırları içerisinde yer almaktadır. Kocaeli, doğudan Sakarya, kuzeybatıdan İstanbul, güneybatıdan Yalova illeriyle çevrilmiştir (Şekil 1.1). Gebze Bölgesinde günümüzde aktif olarak işletilmekte olan kireçtaşı ve dolomit taş ocakları çalışma alanı içerisinde bulunmaktadır. Çalışmalar sırasında, 1/25.000 ölçekli Bursa G22-b3 ve Bursa G23-a4 paftalarından yararlanılmıştır.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası

İstanbul - İzmit Karayolunun (E-5) kuzeyinde yeralan, Kocaeli – Gebze ilçesi, Tavşanlı köyü, Taşkaldıran mevkiindeki kireçtaşı yatakları Gebze taşocakları işletmecileri tarafından işletilmektedir. Taş ocaklarının tümünde "agrega" üretimine yönelik delme-patlatma yöntemiyle tek aynalı ve/veya basamaklı ayna şeklinde açık ocak işletilmesi yapılmaktadır. Ekonomik olarak "bloktaş" elde edilmesi oldukça kısıtlı olan böyle bir jeolojik ortamda agrega üretimi "delme-patlatma, gevşetme, ufalama ve yükleme, taşıma ve kırma-eleme" olmak üzere

dört ana aşamada gerçekleşmektedir (Halili ve Gözübol, 1999). Seçilen bu üretim şekillerinde, üretilen malzeme türü ve verimlilik; ocaklardaki kaya kütlelerinin ayrışma ve faylar etkisiyle oldukça kırıklı ve çatlaklı olmasından ileri gelmektedir.

1.2.1 Coğrafya

İnceleme alanı birbirine dik drenaj ağı ile kesilmiş engebeli bir morfoloji sunmaktadır. Güneyde yayvan ve geniş bir vadi şeklinde Taşkaldıran deresi ile başlayan alan giderek daralır ve Suçıktı deresi ismini alarak devam eder. Bu vadinin kuzeybatı yamaçlarını Uzunçayırpınar Tepe (195 m) Karabayır Tepe (217 m) Koçkaya sırtı (160 m)' nın etekleri oluşturmaktadır. Vadinin güney-güneybatısında ise Turgut tepe (190m), Esermeydanı tepe (180 m) Eskiağıl tepe (175 m) yer almaktadır (Bom, 2007).

1.2.2 Yüzey Şekilleri

Çalışma alanı deniz seviyesinden yaklaşık 150 metre yüksekliktedir. Çalışma sahasının civarındaki en yüksek noktaları Yelken Tepe (409 m) ile Kayalıkuyularbaşı Tepe (409 m) oluşturur. Sahada hakim drenaj tipini dandritik drenaj oluşturur. Yarı dandritik, radyal ve kafesli drenaj az da olsa görülen diğer drenaj şekilleridir. Bölgede akarsular kimi yerde derin boğazlar oluştururken (Balıklayalar Boğazı), kimi kesimlerde de olgun ve yatık yamaçlı vadiler oluştururlar. Sahadaki diğer morfolojik unsurları alüvyal taban düzlüğü ve ovalar oluşturur. Güneybatı kesimde kalan Dilovası en büyük alüvyal düzlüktür. Diğer düz alanlar ise Çongoro Dere Taban Düzlüğü ve Tavşanlı Ovası'dır. Adını üzerinde kurulu bulunan Gebze şehrinden alan Gebze platosunun kuzey, doğu ve batı sınırını Gebze ilçesinin idari sınırları belirler (Bom, 2007).

1.2.3 Akarsu Ağı

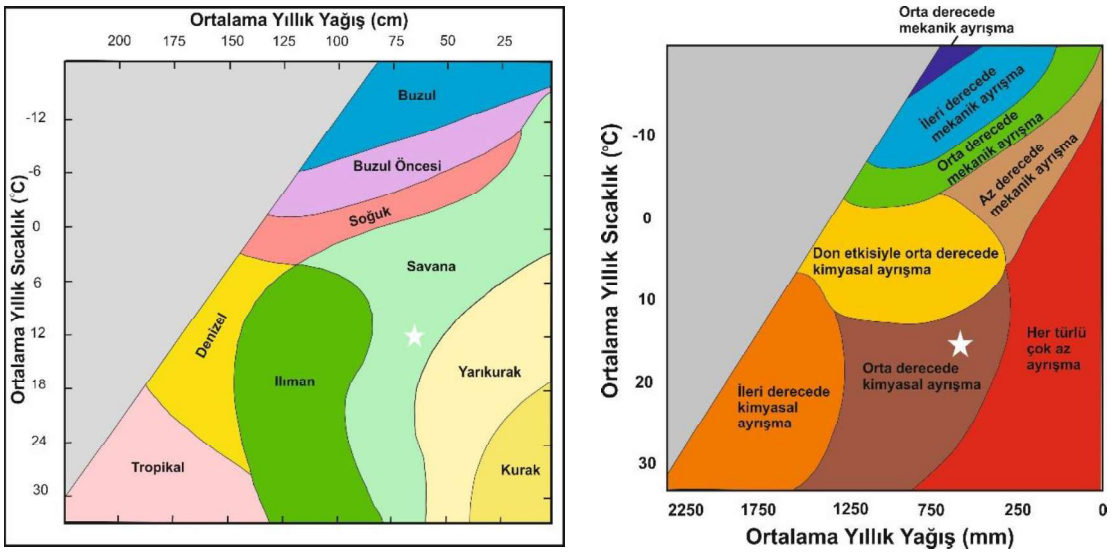
Gebze sınırları içerisindeki Tepecik köyü yakınlarından doğan 71 km uzunluğundaki Riva (Çayağzı) deresi İstanbul Boğazı'nda Karadeniz'e dökülmektedir. Yine Denizli köyü'nden doğup Karadeniz'e dökülen Kocadere'nin uzunluğu ise 50 km'dir. Yaz ayları boyunca su seviyesini koruyan tek akarsu 17 km uzunluğundaki Dilovası deresi olup İzmit körfezine dökülmektedir. Taş ocaklarının kuzeyinde yer alan yaklaşık doğu batı uzanımlı Değirmendere'nin dışındaki dereler yağışlara bağlı olarak mevsimlik akan derelerdir (Bom, 2007).

1.2.4 İklim

Çalışma alanı ve çevresini içine alan Gebze bölgesinin iklim özellikleri 17639 nolu Kocaeli Meteoroloji İstasyonundan alınan 1975-2006 yıllarına ait 32 yıllık rasat verileri (Bom, 2007) ile Devlet Meteoroloji Müdürlüğünden alınan 2004-2017 yılları arasındaki verilerden yararlanılarak ortaya konmuştur (Tablo 1.1).

Araştırma sahası; kış mevsiminde soğuk, yaz mevsiminde ise tropikal hava kütlelerinin etkisi altında kalmaktadır. Çalışma sahasında iklim özelliklerini etkileyen coğrafi faktörlerin başında denize olan yakınlığı gelmektedir. Su bölümü çizgisinin güneyinde kalan kısımlarda bakı ve denize olan yakınlık nedeniyle sıcaklık farkları ve yağış azdır. Su bölümü çizgisinin kuzeyinde kalan yerlerde ise artan yükselti nedeniyle yıllık toplam yağışın arttığı görülmektedir (Güngördü, 1999).

Peltier (1950)'in hazırlamış olduğu diyagramlara göre çalışma alanı ve çevresinin "Savana" iklim tipine girdiği görülmektedir. Yine incelenen aynı parametrelere göre bölgede "Orta derecede kimyasal ayrışma" nın etkin olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Çalışma sahası iklim verilerinin Peltier (1950) diyagramlarında gösterimi

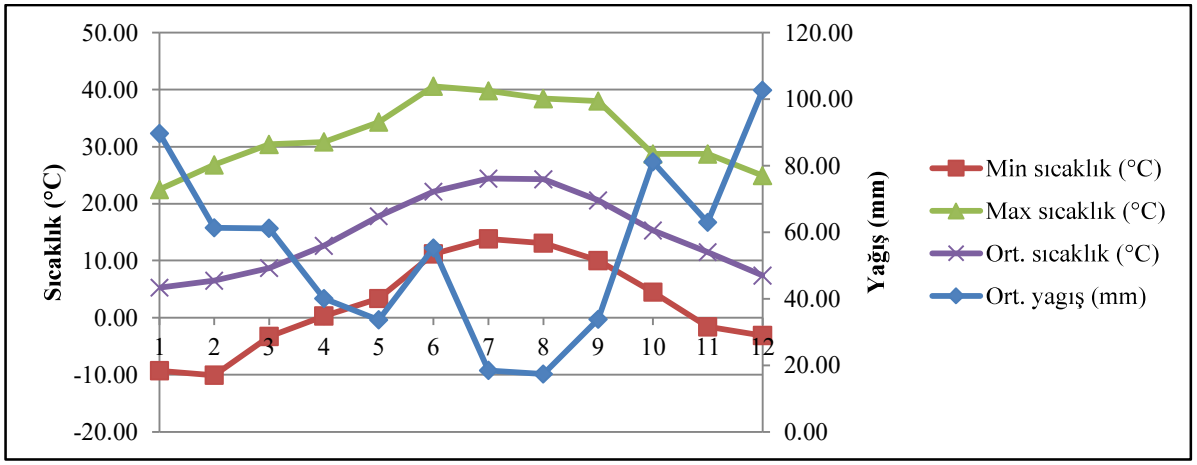
1.2.5 Sıcaklık

Çalısma alanı ve çevresindeki istasyonlardan alınan yaklaşık 13 yıllık ölçüm değerlerine göre ortalama sıcaklıklar 5.3 ^{0}C ile 24.4 ^{0}C arasında degişmektir. Aynı dönem içerisindeki en düşük

sıcaklık -10.1 ^{0}C, en yüksek sıcaklık ise 40.6 ^{0}C olarak ölçülmüştür. Çalışma alanı ve çevresindeki yagış ve sıcaklık değerleri Tablo 1.1'de sunulmuştur. En düşük, en yüksek, ortalama sıcaklıklar ile ortalama yagış değerlerinin aylara göre degişimi ise Şekil 1.3'de görülmektedir.

Tablo 1.1 Çalışma alanı ve çevresinin yağış ve sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımları (2004-2017)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. yagış (mm)	89.65	61.35	61.11	40.08	33.67	55.29	18.43	17.34	33.83	81.17	63.00	102.71
Min sıcaklık (^{0}C)	-9.3	-10.1	-3.3	0.3	3.4	11.2	13.8	13.1	10	4.5	-1.6	-3.1
Max sıcaklık (^{0}C)	22.5	26.8	30.4	30.8	34.3	40.6	39.8	38.4	38.0	28.7	28.7	24.9
Ort. sıcaklık (^{0}C)	5.3	6.5	8.7	12.6	17.8	22.1	24.4	24.3	20.6	15.3	11.5	7.4



Şekil 1.3 Çalısma alanı ve çevresine ait en yüksek, en düşük ve ortalama sıcaklık değerleri ile yağış verileri arasındaki ilişki

1.2.6 Yağış

Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış verilerine göre en yağışlı dönem 102.71 mm ile Aralık ayı, en kurak dönem ise, 18.43 mm ile Temmuz ayı olmuştur (Tablo 1.1 ve Şekil 1.3).

1.2.7 Bitki Örtüsü

Çalışma sahası ve genel olarak Gebze bölgesinde ağaç ve maki türü bitkiler bulunmaktadır. Ağaç türü bitkiler daha çok Gebze'nin kuzeyinde bulunurken, maki türüne ait bitkiler güney kesiminde bulunmaktadır. Araştırma alanının orman örtüsünü ise kayın ve meşe türleri oluşturmaktadır.

1.2.8 Yerleşim ve Ulaşım

Çalışma alanında karayolu ile ulaşım ağı oldukça gelişmiştir. Şehirler arası D-100 karayolu ve TEM otoyolu çalışma alanının güneyinden doğu-batı yönünde geçmektedir. Gebze taş ocakları; Kocaeli-Gebze ilçesi Tavşanlı Köyü Taşkaldıran mevkiinde bulunmaktadır. Saha İstanbul-İzmit E-5 Devlet Karayolunun kuzeyinde, Gebze ilçesinin doğusunda (Gebze-Tavşanlı Köyü arasında) yer almakta olup İstanbul'a yaklaşık 50 km mesafededir. Taş ocakları; Gebze-Kocaeli güzergahı D-100 karayolu üzerinde bulunan Muallimköy sapağının batısından gitmek sureti ile Organize Sanayi Bölgesinin güneybatısında kalmaktadır. Çalışma alanını oluşturan iki ocağın birbirlerine olan mesafeleri yaklaşık olarak 5 km'dir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalar; çalışma sahası ve çalışma konusu ile çalışma metodunu içerecek şekilde iki başlık altında sunulmuştur. Çalısma sahası ile ilgili araştırmalar genellikle Kocaeli-Gebze bölgesinde yapılmış olan genel jeoloji, bölgesel jeoloji ve tarihsel jeoloji ile ilgili çalışmaları kapsamaktadır. Bu çalışmalar genel olarak çalışma alanı ve çevresinin jeolojik evrimi ile genel jeolojik özelliklerine ışık tutan çalışmalardır. Çalışma konusu olan ayrışma ile ilgili önceki çalışmalar ise, farklı bölgelerde bulunan çeşitli kayaçlar üzerinde ayrışmanın etkilerinin tanımlanması ve ayrışma olayı sonucunda kayaçların petrografik, mineralojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerindeki degişimleri anlatmaktadır.

2.1.1 Araştırma Alanı ile İlgili Önceki Çalışmalar

Tchihatcheff (1867); Bölgedeki ilk çalışmaları yapan isimlerdendir. Araştırmacı; Gebze' nin doğusundaki doğuya eğimli beyaz, Üst Kretase yaşlı kireçtaşlarına değinmiş ve bu kireçtaşının Ereğli'deki Üst Kretase'yi andırdığını söylemiştir. Devoniyen ile Triyas dokanağının da Gebze doğusunda görülebildiğini belirtmiştir.

Paeckelmann (1938); Bölgenin jeoloji haritasını ve jeolojik özelliklerini kapsayan detaylı bir çalışma yürütmüştür. Araştırmacı, bölgedeki arkoz ve kuvarsarenitlerin stratigrafik olarak fosil kapsayan Devoniyen yaşlı grovak şistinin altında olduğunu, grovak horizonu diye isimlendirdiği birimin de Alt Devoniyen yaşında olduğunu söylemiştir. Ayrıca Üst Devoniyen yaşını verdiği yumrulu kireçtaşları ve radiolarialı çörtlerin, stratigrafik olarak şeyl, grovak ve kireçtaşları ile yanal geçişli olduğunu öne sürmüştür.

Erguvanlı (1949); İncelediği birimlerin içinde derlediği fosillerin tanımlamasını yapmış ve diğer bölgelerle korele etmiştir. Değirmenköy kireçtaşı adını verdiği birimi; marnlı, plaketli, dolomitik kalker olarak tanımlamış, Muallimköy kireçtaşını alt ve üst üyelere ayırmış, Kazmalı kireçtaşının yaşının Ladiniyen olduğunu belirtmiştir. Sancaktepe granitoyidi olarak adlandırdığı granitin, Üst Silüriyen' in arkoz, kuvarsit serisini kestiğini, bunlar da az da olsa kontak metamorfizmaya sebep olduğunu yaşının Devoniyen'den daha genç olduğunu dile getirmiştir.

Altınlı (1968); Araştırmacı l/25.000 lik beş pafta üzerine yayılan İzmit-Hereke-Kurucadağ alanının jeoloji incelemesini yapmıştır. Bu amaçla Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesit hazırlamıştır. Hereke formasyonunu aşağıdan yukarıya, sırasıyla, Crinoid'li billurlaşmış kireçtaşı, dolomitli kireçtaşı, dolotaşı, kumlu kireçtaşı, dolomitleşmiş az Crinoid'li sparitik aldatıcı oolitit, dolomitleşmiş mikritler olarak tanımlamıştır. Araştırmacıya göre; Hereke formasyonundan başka Kampaniende de dolomitleşme görüldüğüne göre, volkanizmayla ilişikli olan ve zaman zaman yükselen eriyikler değişikliği oluşturmuşlardır.

İrtem (1968); Yazar yüksek lisans tez çalışmasında Gebze-Darıca-Pelitli Köyü dolaylarının jeolojisini araştırmıştır. Araştırmacıya göre; Hereke Formasyonu 3 ayrı üyeden oluşmuştur. Yazar Hereke Formasyonunun genel olarak dolomitik kireçtaşı, dolomit ve marn ara katkılarından oluştuğunu belirtmiştir. Birimin gri, koyu gri, mavimsi renklerde olduğunu gözlemlemiştir. Yazara göre; sahada bulunan kireçtaşlarında yüzey sularının oluşturduğu erime şekilleri bulunmaktadır ve yer yer kalsit damarları gelişmiştir. Tabakalanmanın, tabandan daha üstlere doğru kalın-çok kalın olduğunu ifade etmiştir.

Eroskay (1978); Kocaeli Yarımadası güneyindeki kireçtaşlarının hidrojeolojisini ve karst parametrelerini incelediği çalışmasında, bölgede görülen karst türlerine, bu türleri doğuran karst parametrelerine (litolojik faktörler, yapısal faktörler, iklim koşulları ve bitki örtüsü vb.) değinmiş ve bölgede tektonizmanın Toroslar veya Alpler' deki kadar etkin olmadığından, kireçtaşı istifi çok kalın olmasına rağmen, karst taban düzeyinin birkaç yüz metreden daha derine inmediğini vurgulamıştır. Kireçtaşları üzerinde yaptığı ince kesit çalışmalarında, birimin içerisinde gözeneklerin bulunduğunu ve ayrıca tabakalanma ile eklem düzlemleri ile arakesitleri boyunca bağlantılı erime boşluklarının geliştiğini belirtmiştir.

Halili ve Gözübol (1999); Hereke formasyonunun kırmataş özelliği ve kırma-eleme tesislerindeki davranışını incelemişlerdir. Çalışmaya göre; Hereke formasyonunun kırıklı ve çatlaklı oluşu, teknolojik ve kimyasal özelliklerinin uygun sınırlar içerisinde olması birimin blok taştan ziyade kırmataş üretimine elverişli olduğunu vurgulamışlardır. Elde ettikleri diğer bir sonuca göre, Hereke formasyonunun üst seviyelerinde (yüzeye yakın kesimlerde) süreksizlikler boyunca oluşan ayrışmış malzemenin kuru hava koşullarında (yaz aylannda) işletilmesinin daha uygun olacağı belirtilmiştir.

Çerikçioğlu (2001); Araştırmasında, Kocaeli Triyas dolomitlerinin kökenini petrografik ve izotopik bir yaklaşımla incelemiştir. Yazar bu dolomitlerin, Ballıkaya formasyonu içerisinde yer aldığını, katmanlı ve merceksi yayılımlı olduğunu belirtmiştir. Petrografik incelemelerden elde ettiği bulgulara göre dolomitlerin iki fazlı bir mekanizma sonucu gelişmiş olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, bunların platform-yamaç geçişindeki bir alanda bulunmasından dolayı dolomitleşme üzerinde tektonik kontrolün kısmen de olsa etkili olduğunu belirtmiştir.

Zarif ve diğ. (2003); Yazarlar çalışmalarında, Gebze-Hereke kireçtaşlarının içinde bulunduğu İstanbul'daki kireçtaşlarını agrega kalitesi yönünden değerlendirmişlerdir. Buna göre; petrografik ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, kaliteleri ve agrega özellikleri nedeniyle İstanbul' daki tüm kireçtaşları'nın özelliklerinin standartlarda belirtilen kabul edilebilir limitler içinde bulunması veya bu limit değerlere çok yakın olması nedeniyle birçok alanda kullanılabileceklerinin uygun olduğu belirtilmiştir.

Dursun (2004); Yazar yüksek lisans tez çalışmasında Gebze ve Hereke bölgelerinde yüzeylenen Hereke formasyonundan üretilen kireçtaşı agregalarının kalite yönünden değerlendirilmesini yapmıştır. Laboratuvar çalışmalarından elde etmiş olduğu verilere göre, kireçtaşlarının gerek jeomekanik gerekse de agrega olarak kullanım özelliklerinin, standartlarda belirtilen limit değerlerle uyumluluk gösterdiğini ve bölgedeki kireçtaşlarının beton üretiminde agrega amaçlı olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Gedik ve diğ. (2005); Hazırladıkları MTA raporunda, Kocaeli Yarımadası'nın jeolojisini incelemiş olup, 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamışlardır.

Zabcı (2007); Yazar çalışmasında, Triyas birimlerinin litolojileri ve yaşlarını birleştirerek, İstanbul Boğazı'nın hem batısı hem de doğusu için geçerli genelleştirilmiş bir stratigrafik kesit üretmiştir.

Karaman (2010); Yazar yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, Gebze ve Dilovası'nın hidrojeolojik incelemesini yapmıştır. Bu amaçla öncelikle, inceleme alanında gözlenen birimlerin litolojilerine göre hidrojeolojik özelliklerini belirlemiştir. Buna göre birimler; geçirimsiz, yarı geçirimli, geçirimli ve karstik olarak değerlendirilmiş ve bölgenin hidrojeoloji haritası yapılmıştır. Ayrıca yeraltısuyu seviyesi haritası, su bilançosu ve su kimyası analizleri yardımıyla bölgedeki suların sulama, içme ve kullanma amaçlarına göre sınıflamalarını yapmıştır.

2.1.2 Araştırma Konusu ile İlgili Önceki Çalışmalar

Gilbert ve diğ. (1954); Didolomitleşme olayı sonucunda dolomitin yerini alan kalsitin bazı karbonat kayaçların içerisinde düzensiz olarak dağıldıklarını yeni oluşan kalsit kristallerinin dolomit kristali üzerinde girintiler oluşturduğunu veya dolomit mineralini boydan boya kestiğini söylemiştir.

Howers (1962); dolomitleşmenin % 80'den % 90'a çıktığında taneler arasındaki porozite ve permeabilitenin arttığını, dolomit oranı %90'ı aştığında ise porozite ve permeabilitenin tekrardan azalmaya başladığını belirtmiştir.

Deere ve Miller (1966); Karbonatlı kayaçlarda kaya malzemesi dayınım tayininin belirlenmesinde tek eksenli sıkışma dayanımı ve elastisite modülü parametreleri üzerinde çalışmıştır. Sonuçlara göre; Jura-Karbonifer yaşlı kireçtaşlarının betondan daha fazla dayanım gösterdiğini belirtmişlerdir. Kil içeriğinin artışına bağlı olarak porozitenin azaldığını, böylece dayanımın arttığını ancak elastisite modülünde azalma olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kaya kütlesi sınıflamasında süreksizliklerin oldukça önemli olduğunu, bunların açık veya hangi dolgu malzemesiyle dolmuş olabileceğinin bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir. .

Jennings (1966); Çörtlü dolomitler ve kireçtaşındaki ayrışmayı tanımlamıştır. Araştırmada dolomitlerde birbirine bağlı erime boşluklarının açık veya dolgu malzemesi ile dolu olduğunu gözlemlemiştir. Yazara göre dolomitin kalıntı toprağı ; aşırı poroz olup çört molozu , kırmızı kil ve kırmızımsı kahve mangandioksitten oluşmuştur. Çalışma sonuçlarında; kireçtaşlarının ayrışma profilinde diğer kayaçların ayrışma profilinden farklı olarak genellikle az veya orta derecede dayanıklı, toprak ile kaya arasında bir malzeme bulunduğu belirtilmiştir.

DeGroot (1967); yapmış olduğu deneysel çalışmalar didolomitleşmenin yüksek Ca^{++}/Mg^{++} oranlı ve kısmi CO_2 basıncının 0.5 atm'den az olan eriyiklerle ve sıcaklığın 50 ^{0}C'den fazla olmadığı durumlarda oluşabileceğini göstermiştir. Eğer tüm koşullar sağlanmış olsa bile sıcaklığın 50 ^{0}C'den fazla olması hallerinde didolomitleşme olayının gerçekleşemeyeceğini belirtmiştir.

Deere ve Patton (1971); Çalışmalarında; kireçtaşlarında ayrışmadan kaynaklı oluşan şev duraylılığı problemlerine neden olan en yaygın üç ayrışma modelini tanımlamışlardır. Farklı tür problemlere neden olduğu için eriyebilen kireçtaşlarının bulunduğu alanlarda ayrışmadan

kaynaklı oluşan stabilite problemlerinin oluşmaması için farklı kazı tekniklerinin kullanılması gerektiğini önermişlerdir.

Wardlaw (1974); Çalışmış olduğu kuzeybatı Alberta bölgesindeki orta Devoniyen dolomitlerinin kireçtaşlarına göre daha geçirgen olduklarını tespit etmiştir.

Şenalp (1977); Çalışmasında; didolomitleşme olayı sonucunda ortaya çıkan doku tipleri üzerinde çalışmıştır. Didolomitleşme olayı ile kireçtaşları içerisinde gelişen romboeder şekilli gözeneklere de değinmiştir. Yazara göre didolomitleşmedeki en büyük etken kalsiyum sülfat taşıyan yeraltı sularıdır.

James ve Lupton (1978); Karbonat kayaç minerallerinin "solubility rate constant" (çözünme katsayısı sabiti) değerlerini ölçmeyi amaçlayan yazarlar bu amaçla saf suda ve farklı CO_2 içeriğine sahip sulardaki değişimi incelemiştir. Buna göre su içindeki CO_2 varlığını çözünmeyi arttırıcı bir etken olarak belirtmişlerdir. Yazarlara göre; süreksizlik sisteminin erimedeki rolü oldukça büyük olduğu için süreksizliklerin tanımlanması, boyutları, sıklığı, dolgulu olup olmadıkları, açıklığı, aralığı, uzunluğu vs önemlidir. Kalsit minerali ve kayacının CO_2 konsantrasyonu arttıkça saf suda çözünebilirliğinin arttığını belirtmişlerdir. Kireçtaşı gibi karbonatlı kayaç ortamlarında yapılan mühendislik çalışmalarına başlamadan önce ortamdaki kayaçların çözünebilirlikleri ve çözünme katsayısı sabiti değerleri ile ilgili ölçümlerin mutlaka yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

ANON (1981); Kaya malzemesi özelliklerinin tanımlamasını; renk, ayrışma derecesi ve dayanım parametrelerine göre, kaya kütlesi özelliklerinin tanımlamasını da; yapı, süreksizlik ve ayrışma profili parametrelerine göre yapmıştır.

Dearman (1981); Çalışmasında karbonatlı kayaçların mühendislik özelliklerini tanımlamıştır. Bu bağlamda kaya kütlesi özelliklerinden zaman, yapı, süreksizlikler ve ayrışma profili tanımları üzerinde durmuştur. Bunlara daha ayrıntılı bir biçimde bakıldığı zaman kıvrımlar ve faylar, süreksizlikler; eklem, çatlak, tabaka, kesme-makaslama zonu, kaya kütlesi içinde kaya ve zemin türlerinin dağılımı ve ayrışma profilinde kaya ve zemin malzemesinin dağılımı gibi kavramların kaya kütlesinin tanımlanmasında gerekli olduğunu vurgulamıştır. Kaya malzemesi özelliklerinde ise; renk, doku (tane boyutu, yapı (fabrik) vb.), ayrışma derecesi, dayanım-dayanıklılık parametrelerinin doğru şekilde tanımlanmasının önemli olduğunu belirtmiştir.

James (1981); Çalışmasında karbonatlı kayaçların çözünme mekanizmaları ve çözünme katsayılarının tespiti üzerinde çalışmıştır. Çalışma sonucuna göre; saf $CaCO_3$ içerikli olan kayaçların çözünme oranı sabitleri 1.2-3.3x10^{-5} m/s arasında değişmektedir. Çözünme katsayılarının değişiminde; kayacın kimyasal içeriğinin, fissürlerin boyutları, miktarı ve dağılımının önemli olduğunu belirtmiştir.

James (1982); Kireçtaşı kütlelerinin mühendislik özelliklerinde, süreksizliklerin boyutları ve dağılımlarının oldukça önemli olduğunu belirtmiştir. Karbonatlı kayalarda yapılacak olan mühendislik çalışmalarında; süreksizlik aralığının < 400 mikron olması durumunda tehlike arz edebileceğini söylemiştir. Kireçtaşlarındaki problemlerin; sağlam kayanın ayrışma özellikleriyle ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Spencer (1985); Çalışmasında kireçtaşlarında yıllık erozyon aşınma miktarlarını saptamak amacıyla "Micro Erosion Meter (MEM)" yöntemini kullanarak Ground Cayman Adasında ölçüm yapmıştır. Sonuçlara göre, deniz ortamı için yüksek ayrışma oranları (>1.00 mm yıl $^{-1}$) ölçülmüştür.

Fookes ve Hawkins (1988); Çalışmasında özellikle Paleozoyik döneme ait rekristalize kireçtaşlarının çözünme tipi ayrışma sürecini incelemiştir. Bu amaçla; kireçtaşlarında uygulanan mühendislik çalışmaları sırasında çözünmeden kaynaklı karşılaşılabilecek sorunlardan bahsederek basit bir mühendislik sınıflaması önermektedirler.

Chowdhury ve diğ. (1990); Mikritik kireçtaşından yapılan bir sfenksin bozunma karakterinin kayacın porozitesi ile doğrudan ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada boşluk oluşum tipleri ve bu boşlukların kayacın ayrışmasındaki rolünü araştırmışlardır. Dayanıklılıktaki farklılıkların, boşlukların düğüm yerlerinden ve boşluk çapından kaynaklı olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmadan elde ettikleri sonuca göre, "ink-bottle "(mürekkep şişesi)" şekilli boşluk sistemine sahip olan kayaçların dayanıklılığı; boşlukların düğüm çapı dağılımı, düğümlerin homojenliği, düğümlerin boyut aralığı, büyük boşlukların ve toplam boşluğun hacmine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

ANON (1995); Çalışmada, öncelikle ayrışma araştırmaları ile ilgili tarihsel süreç değerlendirilmiştir. Ardından, fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışma ile hidrotermal alterasyon hakkında dünyanın farklı yerlerindeki araştırmacılardan alınan bilgiler derlenmiş ve ayrışma

sınıflamaları için gerekli olan etkenler belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak kayaçlara ait malzeme ve kütle boyutunda ayrışma sınıflamaları önerilmiştir.

Tuğrul (1995); Doktora tez çalışmasında; Niksar yöresindeki bazaltların mühendislik özelliklerine ayrışmanın etkilerini araştırmıştır. Araştırmasının amacı, arazi gözlemleri ile ayrışma derecelerine göre sınıflanan farklı ayrışma derecelerindeki Niksar yöresendeki Eosen yaşlı bazaltların mühendislik parametrelerindeki değişimlerin bu kayaçların hangi özelliklerinden kaynaklandığını nedenleriyle birlikte ortaya koymaktır. Ayrışmadan oldukça etkilenen bazaltlar için yeni sınıflama geliştirmiş ve her sınıfı petrografik ayrışma indeksi ile sayısal olarak ifade etmiştir.

Ceryan (1999); Doktora tez çalışmasında yazar, Harşit Granitoyidi'nde ayrışmanın granitik kayaçların fiziko-mekanik özelliklerine etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Harşit Granitoyid'ini oluşturan minerallerdeki ayrışmanın gelişim şekli ve ayrışma ürünleri belirlenmiş ve granitik kayaçlann ana oksit miktarlarının ayrışmayla değişimi ortaya konmuştur. Kimyasal ayrışma indeksleri ile granitik malzemenin fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koymuştur. Kayacın ultrasonik dalga hızlarından ve suda dayanım indeksinden yararlanılarak, yeni bir yaklaşımla, sayısal ayrışma indeksi oluşturmuştur. Geliştirmiş olduğu sayısal ayrışma indeksi ile ayrışma derecelerinin tanımlayabildiğini ve kaya malzemesinin mühendislik özelliklerinin ayrışmayla değişimini belirlemiştir.

Halili ve diğ. (1999); Çalışmalarında Gebze kireçtaşının agrega özelliklerini belirlemek amacıyla teknolojik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, formasyonda, tektonizmadan dolayı çatlak, kırık, fay gibi yapısal unsurların geliştiğini, bu durumun etkisiyle ve formasyonun teknolojik ve kimyasal özelliklerinin limit değerlerle uygunluk göstermesi nedeniyle blok taş olarak değil, kırmataş olarak değerlendirilmesinin daha doğru olacağını vurgulamışlardır. Ayrıca ocaklardan maksimum verim elde edilebilmesi için üretim şekline ve kırma eleme tesislerinin dizaynına yönelik önerilerde bulunmuşlardır.

Tuğrul ve diğ. (1999); Araştırmacılar İstanbul'daki tarihi anıt ve yapılarda kullanılan kireçtaşlarının kirlenme ve bozunmasındaki etkin faktörleri araştırmışlardır. Çevresel etkiler ve etki sürelerinin; taşın petrografik, mineralojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Gözlemsel bulgularına göre, İstanbul'daki yoğun hava kirliliğinin özellikle $CaCO_3$ içeren yapıtaşlarını bozduğunu ve bunların yüzeyinde jips oluşumuna neden

olduğunu, bu oluşumun taşın gözenekliliğini arttırdığını ve direncini azalttığını tespit etmişlerdir. Fazla yağış almayan nemli bölgelerin ayrışma açısından en tehlikeli bölgeler olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel bulgulara göre ayrışma sonucunda kireçtaşlarının kuru birim hacim ağırlıklarında azalma ve efektif porozitelerinde önemli değişiklikler olduğunu saptamışlardır.

Liu ve Zhao (2000); Karbonatlı kayaların ayrışmasının çözünme ve karbonatın tekrar çökelimi safhalarından oluştuğunu vurgulamışlardır. Ayrışma için yağış, su, nem ve CO_2 kaynağının olması gerektiğini belirtmişlerdir. Karbonat kayaların ayrışması sırasında tüketmiş oldukları atmosferik CO_2 miktarlarının iki yılda yaklaşık iki katına çıkmış olduğunu tespit etmişlerdir.

Tuğrul ve Zarif (2000); İstanbul'un özellikle doğusunda bulunan Devoniyen yaşlı kireçtaşlarında meydana gelen ayrışmaların, bu kayaçların jeolojik ve jeomekanik davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Mühendislik uygulamaları için kullanılan bu kireçtaşlarının karakterizasyonunun yapılması için malzeme ve kütle bazında arazi ve laboratuvar araştırmaları sonucuna göre bir model oluşturarak, ayrışma sınıflaması önermişlerdir. Bu kayaçlar için kimyasal ayrışmanın fiziksel ayrışmaya göre daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Erime-çözünme ve boşluk oluşumlarındaki artışın kimyasal ayrışmanın önemli olguları olduğunu belirten araştırmacılar, kimyasal özellikler ve porozitenin ayrışmada iyi belirteçler olduğunu ifade etmişlerdir. Kayacın dokusal ve mikroyapısal özelliklerindeki değişikliklerin dayanım üzerinde etkisi olduğunu vurgulamışlardır. Ayrışma derecelerinin; karbonat içeriği, doku, porozite ve süreksizliklerin oranına bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Ayrışmayla birlikte kayacın SiO_2, Al_2O_3,Fe_2O_3, Na_2O,K_2O yüzdeleri ve porozitesinin arttığını, CaO yüzdesi, birim hacim ağırlık ve dayanımının azaldığını belirtmişlerdir.

Morse ve Ardvinson (2002); Karbonat minerallerinin çözünme kinetiklerinin; jeokimyasal döngü, CO_2 nin fosil yakıtlara etkisi, sedimanter kayaçların diyajenezi, karbonatların petrol ve doğalgaz yataklarındaki davranışlarını anlama, mermer ve kireçtaşından yapılan binaların ve tarihi yapıların korunması gibi birçok alanda kullanılmasının önemini belirttikleri çalışmalarında karbonat minerallerinin çözünme katsayılarını ölçmüşlerdir. Çözünme katsayılarını karşılaştırdıklarında aragonite ait çözünme katsayısı sabitinin dolomitten daha büyük olduğunu ve dolomitin de kiteçtaşından daha büyük olduğunu bulmuşlardır.

Ceryan ve Tüdeş (2003); Araştırmalarında ayrışmış kayaçların fiziko-mekanik özelliklerine suyun etkisini araştırmışlardır. Kilce zengin kayaçlarda ve ayrışmış kayaçlarda, sağlam kayaç minerallerinin ayrışmasıyla oluşmuş kil minerallerinin kristal kafeslerine su alması sonucu kayaçta şişme ve kırılmalar oluştuğunu belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada doygun ve kuru tek eksenli sıkışma dayanımlarının kayacın ayrışma derecesini verebileceğini belirtmişlerdir. Kayaçtaki su ile temas artışı ile birlikte tek eksenli basınç değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Tuğrul (2004); Çalışmasında, farklı kayaçların porozite özelliklerini (örn: boşluk dağılımı ve boşluk boyutları) incelemiştir. Porozite dışında kuru birim hacim ağırlık, su emme, tek eksenli sıkışma dayanımı özelliklerinin de ayrışma derecesi ile değişimini inceleyerek bu parametreleri porozite özellikleri ile kıyaslamıştır. Çalışma bulgularında; ayrışmış kireçtaşlarının renklerinin griden kahverengiye doğru geçiş göstermiş olduğunu, çözünmeyen madde miktarı ve mikro çatlak yoğunluğunun arttığını belirtmiştir. Ayrışma derecesi arttıkça çalışmış olduğu kireçtaşlarının (biyomikritik) çözünme oranlarının, su emme miktarının ve porozitelerinin de artış gösterdiğini, kuru birim hacim ağırlık ve tek eksenli basınç dayanımının azaldığını tespit etmiştir. Ayrışmış kayaçların boşluk çaplarının taze kayaçlara göre daha küçük olduğunu ve bunun nedeninin ayrışma süresince boşluk alanlarında yeniden mineral oluşumları olmasından kaynaklandığını tespit etmişitir.

ISRM (2007); Önermiş oldukları sınıflamada, kayacın dayanımını değerlendirmeye almamış olup, ayrışmanın artmasıyla birlikte kayacın rengi, orijinal dokusu ve süreksizlik yüzeylerinde meydana gelen değişimler ile kaya/zemin oranlarını dikkate almıştır.

Martinez ve diğ. (2007); Çalışmalarında, aşırı derecede çatlaklı, kırıklı, breşik kireçtaşı ve dolomit kullanmışlardır. Kompleks ve heterojen yapılı malzemelerin petrografik özelliklerini sayısallaştırmışlardır. Kayacın mekanik özelliklerinin, permeabilitesinin ve ayrışma süreçlerinin, petrografik özelliklere bağlı olarak değiştiği sonucunu elde etmişlerdir.

Rozenbaum ve diğ. (2007); Çalışmasında iki farklı kireçtaşı seçerek bunların ince kesitlerini SEM de iki farklı analiz yöntemiyle Otokorelasyon fonksiyonu analizi ve CHORD dağılımı analizleri ile incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre taş ocağından alınan kireçtaşı örneklerindeki boşluk ve katı faz dağılımının tespitinde ve farklılıklarının tespitinde istatistiksel ve sayısal metodların uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ayrışma süreçlerini anlamak için porozite

özellikleri hakkında detaylı araştırma yapmak amacıyla kayaçların iki boyutlu analizinin yapılması, boşluk ve katı fazın dağılımının matematiksel araçlarla tespit edilmesi üzerinde çalışmıştır.

Ündül (2007); Doktora tez çalışmasında; ayrışmanın ultramafik ve mafik kayaçların mühendislik özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Farklı ayrışma derecelerindeki kayaç gruplarına ait örnekler üzerinde; petrografik, mineralojik ve kimyasal incelemeler yaparak, ayrışmaya bağlı olarak bu örneklerin mineralojik ve kimyasal bileşim, doku vb. özelliklerindeki değişimleri ortaya koymuştur. Elde etmiş olduğu sonuçlara göre; mikropetrografik indeks, özgül ağırlık, kuru ve doygun birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı, Schmidt çekici geri sıçrama değerleri, P dalga hızı değerleri ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ayrışma ile azalma gösterirken, kızdırma kaybı, mikroçatlak indeksi, mikroçatlak yoğunluğu, mikroçatlak yayılımı, toplam ve etkin gözeneklilik ile ağırlıkça su emme değerleri artış göstermiştir.

Akın (2008); tez kapsamında; travertenlere ait bir bozunma sınıflaması geliştirmiştir. Kaya kütlesindeki bozunma derecesini belirlerken; renk değişimi, gözeneklilik, kaya/zemin oranı, süreksizlik aralığı parametrelerini kullanmıştır. Yapmış olduğu fiziko mekanik deneylerin sonucuna göre, bozunma derecesi arttıkça kuru birim hacim ağırlık ve P dalga hızı değerlerinde azalma, gözeneklilikte artış olmuştur.

Angrissani ve diğ. (2011); Cusano kireçtaşından yapılmış olan Santa Chiara Manastırı'nın (Napoli) çan kulesi duvar cephelerinde oluşan ayrışma morfolojilerini incelemiştir. Buna göre binanın kuzey cephesinde orta derecede (%49.59), batı cephesinde orta derecede (%34.19), güney cephesinde orta derece (%38.56) doğu cephesinde ise yüksek derecede (%70.88) bir bozunma tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin doğu cephesinin trafik ve hava şartlarının da oldukça yoğun yaşandığı bir cephe (sıcaklık, nem ve yağış) olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. En çok gözlemlenen bozunma türlerinin, siyah kabuk, çiçeklenme, kopma, pul pul ayrılma, genişleme ve bitki oluşumu olduğunu belirlemişlerdir.

Farah (2011); Yüksek lisans tez çalışmasında Ocala kireçtaşları üzerinde ayrışmanın olumsuz etkilerini araştırmıştır. Sonuçlara göre ayrışma derecesi arttıkça birim hacim ağırlık ve dayanım değerlerinin azaldığını tespit etmiştir. Dayanım testlerini kendi aralarında korele ettiğinde tek eksenli basınç dayanımı ile indirekt çekme dayanımının, nokta yüklemeden daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Karaman ve diğ. (2011); Bu çalışmada, Araklı–Taşönü (Trabzon) kalker ocağında değişik karbonat fasiyeslerinde yüzeylenen kayaçların ayrışma durumları değerlendirilmiştir. Schmidt çekici sertlik ve ultrasonik dalga hızı sınıflamaları göz önüne alınarak, çalışma sahasındaki biyomikritik kireçtaşlarının ayrışma durumunu doğrudan yansıtacağı düşünülen ağırlıkça su emme yüzdelerine göre bir ayrışma sınıflaması önermişlerdir. Önerilen sınıflamaya göre; Z–2 ayrışmamış, Z–1 ve Z–4 az ayrışmış, Z–3 ise orta ayrışmış sınıfına dahil olduğu görülmüştür. Ağırlıkça su emme yüzdesine göre biyomikritik kireçtaşları için önerdikleri ayrışma sınıflamasının, benzer nitelikteki kayaçlar için ucuz, kolay ve pratik bir çözüm sunacağını belirtmişlerdir.

Teymen ve diğ. (2011); Bu çalışmada, kalsiyum karbonatlı bazı kayaçların (kireçtaşı, mermer ve traverten) fiziksel, mekanik ve petrografik özellikleri incelemişlerdir. Genel özellikleri itibariyle, incelenen tüm kayaçların özelliklerinin standartlarda belirtilen aralıklarda olduğunu görmüşlerdir. Özellikle dayanım açısından, kireçtaşı grubunda Hatay ve Ceyhan kireçtaşlarının, mermer grubunda ise Yeşil mermer ve Marmara beyaz mermerlerinin iyi özellik gösterdiğini belirlemişlerdir.

Krklec ve diğ. (2013); Lipica kireçtaşlarındaki mikro ölçekteki ayrışmanın gelişimini ve modelini analiz etmek için çözünme oranlarını incelemişlerdir. Bu amaçla "sayısal analiz methodu" ve SEM görüntüleme tekniği ile "nitel ayrışma analizi" olmak üzere farklı iki method üzerinde çalışmayı yürütmüşlerdir. Analiz sonuçlarına göre; kireçtaşlarında çözünmenin sadece kayacın yüzeyinde değil aynı zamanda içindeki boşluklarda da meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Dubois ve diğ. (2014); Petit granit kireçtaşının ayrışması sonucu değişen mineralojik, petrografik ve mekanik özelliklerini sayısallaştırılmayı amaçlamışlardır. Örneklere ait porozite, permeabilite, özgül ağırlık, karbonat içeriği ve mekanik dirençleri analiz etmişlerdir. Yapmış oldukları deney sonuçlarına göre ayrışma derecesi artarken porozitede ve permeabilitede artış, buna karşın $CaCO_3$ içeriğinde ciddi oranda azalma, özgül ağırlık değerlerinde düşüş ve hatta mekanik dirençlerinin sıfıra kadar azaldığını görmüşlerdir. Kaya kütlesinin farklı ayrışma derecelerinde jips (alterit), kaolinit, simektit ve illit kili gibi ayrışma ürünlerine rastlamışlardır.

Dubois ve diğ. (2015); çalışmalarında karbonatlı kayaçlarda uygulanacak petrofiziksel modelleri temel alan bir ayrışma indeksi hesaplamışlardır. Araştırmanın genel sonuçlarına göre;

karbonatlı kayaçlarda meydana gelen ayrışma süreçleri taze kayayı toprağımsı bir malzemeye dönüştürdüğü ve oluşan bu malzemenin petrofiziksel özellikleri ilk aşamadaki taze kayanınkinden tamamıyla farklı olduğudur. Önermiş oldukları metodlar ile kolayca ölçümü yapılabilen özgül ağırlık, prozite ve $CaCO_3$ içeriği gibi parametrelerle karbonatlı kayaçların ayrışma durumunun tespit edilebileciğini belirtmişlerdir.

Saheb ve diğ. (2016); Paris'te 60 yılı aşkın süredir çevresel etkilere maruz kalan "Saint Maximin Roche" kireçtaşlarının ayrışmaya bağlı dokusal ve morfolojik değişimlerini incelemişlerdir. Ayrışmalarında etken parametrenin su aktivitesi olduğunu belirtmişlerdir. Kimyasal ayrışmaya bağlı olarak kayaç yüzeylerinde jips oluşmları ve karbon depolanmalarını gözlemlemişlerdir.

Ruffolo ve diğ. (2017); İtalya'da tarihi eserlerde kullanılan Modaco kireçtaşının tuz kristallenmesine bağlı olarak oluşan ayrışmasını bunun karşılığında restorasyon çalışmalarında alınabilecek önlemleri araştırmışlardır. Tuz kristallenmesinin özellikle poroz kireçtaşlarında basınç oluşturarak kayaca zarar verdiğini belirtmişlerdir. Tuz kristallenmesine karşın nanolime maddesinin taşa iyi bir rezistans sağladığını belirtmişlerdir. Diğer bir alternatif olan etil silikat maddesinin taşın kohezyonunu arttırdığını ve kristallenme basıncında artışa neden olduğu için ayrışmaya yatkınlık sağladığını belirtmişlerdir.

Joshi (2020); kireçtaşlarının doğada ayrışma reaksiyonunu laboratuvar ortamında simüle etmiştir. Bu bağlamda CO_2'in kireçtaşlarının çözünmesindeki etki oranlarını gözlemlemiştir. Atmosferdeki CO_2'nin su ile birleşerek zayıf asit oluşturmasını ve bunun da kireçtaşlarına etki ederek bikarbonat birikimlerinin sağlandığını vurgulamıştır. Bu reaksiyon oranlarının; sıcaklık, akış miktarı ve tane boyutuna göre değişkenlik gösterdiğini belirtmiştir. Bu amaçla 4mm, 500, 250, 100 ve 50 µm çaplı tanelerden oluşan kireçtalarını kullanmış ve 0.5, 1.0 ve 1.5 L/min akış hızlı karbonik asite 2 saat boyunca 80 ^{0}C'de maruz bırakmıştır. Sonuçlara göre, en yüksek akış hızında (1.5 L/min) en büyük miktarda kayıplar olduğunu tespit etmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Farklı tür ve litolojiye sahip kireçtaşları ve dolomitlerin ayrışma tanımlamalarının belirlenmesi ve sonrasında buna bağlı olarak oluşturulan ayrışma sınıflamalarının ayrıntılı bir şekilde ortaya konması amacıyla yapılan çalışmalar; büro, arazi ve laboratuvar çalışmaları başlıkları altında sunulmuştur.

3.1 BÜRO ÇALIŞMALARI

2015 yılı bahar döneminde tez konusunun belirlenmesinin ardından ayrışmış kireçtaşları ve dolomitlerin karakterizasyonunun belirlenmesi ve ayrışma sınıflamasının yapılması amacıyla literatürde daha önceden yapılmış olan ulusal ve uluslararası yayınların yanı sıra çalışma bölgesi için yapılmış jeoloji raporları ve tezler de incelenmiştir. Büro çalışmalarının ardından arazi çalışmalarına başlanmıştır.

3.2 ARAZİ ÇALIŞMALARI

2015 yılı yaz döneminde saha çalışmalarına başlanmıştır. Gebze taş ocaklarının bulunduğu alanda gerçekleştirilen arazi çalışmaları sırasında agrega temini amacıyla açılan ve günümüzde de işletilmekte olan kireçtaşı ve dolomit taş ocaklarından yararlanılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle genel jeolojik tanımlamalar ve gözlemler yapılmaya çalışılarak çalışma bölgesine ait mevcut jeoloji haritası revize edilmiştir. Arazi çalışmaları ile yaklaşık olarak düşeyde 120 m ve yatayda 45 m'lik örnekleme alanı seçilerek kireçtaşı ve dolomitlerin farklı ayrışma seviyeleri makroskobik olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ayrışma profillerinin tanımlanabileceği bölgeler belirlenmiştir. Belirlenen ayrışma profillerinin ayrıntılı fotoğraflama çalışmaları yapıldıktan sonra profillere ait her bir kademenin taslak kesitleri çizilmiştir. Daha sonra ise özellikle kireçtaşı ve dolomitlerin ayrışma süreçlerini birinci dereceden kontol eden süreksizlik özelliklerindeki değişimleri gözlemlemede Jenning (1970) tarafından önerilen ve ISRM (1978) tarafından geliştirilmiş olan istatistiksel anlamda en tatmin edici sonuçların alındığı yöntem olan hat etüdü yöntemi uygulanmıştır. Yöntemin uygulanması sırasında Brunton 5006 LM model jeolog pusulası yardımıyla çok sayıda süreksizlik (tabaka, kırık, fay vb.) ölçümleri yapılmıştır. Hat etüdleri ile süreksizlik türleri, yönelimleri, ara uzaklıkları, devamlılıkları, açıklıkları, dolgu türü, pürüzlülük özellikleri ISRM (2007)'nin önerdiği şekillerde ölçülmüştür. Bunun dışında sahada ayrışma profillerinin petrografik açıdan

tanımlanabilmesi için kireçtaşları için 180 adet ve dolomitler için 360 adet olmak üzere toplamda 540 adet el örneği alınmıştır. Ayrıca kayaç örnekleri üzerine hidroklorik asit damlatılması suretiyle kireçtaşı ve dolomit örneklerinin arazideki ayrımı yapılmış olup bu gözlemsel ayrım laboratuvar ortamında da denetlenmiştir. Belirlenen ayrışma profillerinden, farklı ayrışma derecelerini temsil eden örnekler alınmıştır. Laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere tamamen ayrışmış kısım hariç diğer ayrışma sınıflarını temsil ettiğini düşündüğümüz ortalama 30x30x30 cm boyutlarında 12 adet kireçtaşı blok örneği ve 21 adet dolomit blok örneği olmak üzere toplamda 33 adet blok örnek, diğer ayrışma seviyelerinden ise mümkün olduğunca büyük parçalar içeren örnekler alınmaya çalışılmıştır. Örneklemede mümkün olduğunca her ayrışma sınıfını temsil eden el örnekleri, blok örnekleri ve zemin örnekleri alınmaya özen gösterilmiştir. Son olarak ayrışma profilleri üzerinde belirlenen örnekleme noktalarında kaya kütlesinin yerinde dolaylı tek eksenli sıkışma dayanınlarının saptanması amacıyla PROCEQ marka Schmidt Sertik Çekici yardımıyla Schmidt geri sıçrama değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.1).



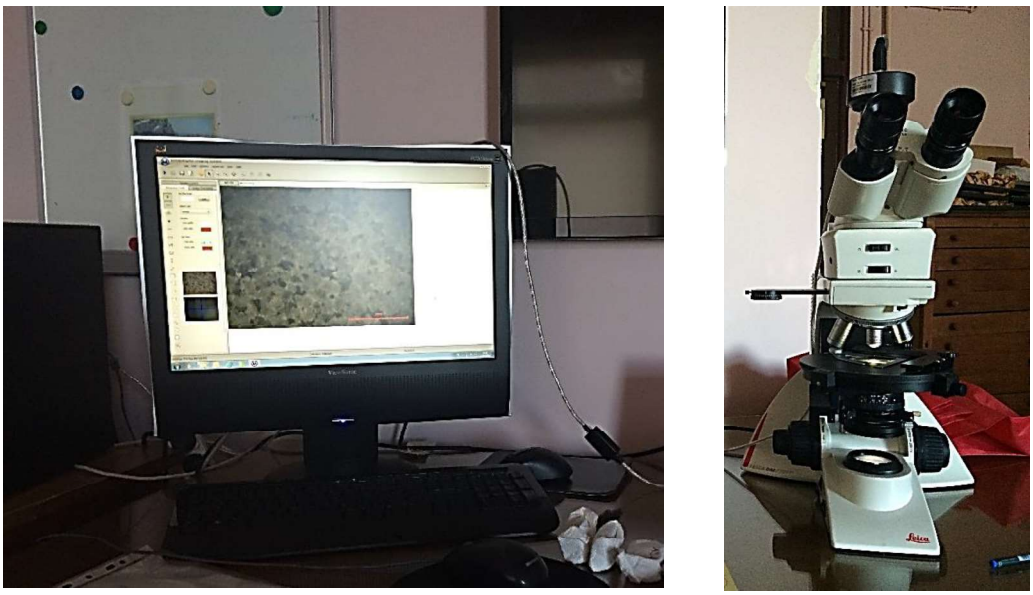
Şekil 3.1 Arazide Schmidt Çekici geri sıçrama değeri ölçümü çalışmasına ait görüntü.

3.3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Ayrışma mekanizmalarının tanımlanması aşamasında, gözlemsel verilerin tespiti, süreksizliklere ait özelliklerinin belirlenmesi, arazi ortamında yerinde deneyler (Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini vb.) ve laboratuvar çalışmaları kapsamında farklı derecede ayrışmış kayaçlara ait mineralojik-petrografik tanımlanmalar, kimyasal içerik tayini, fiziksel parametrelerin belirlenmesi ve mekanik dayanım deneyleri yapılmıştır.

3.3.1 Petrografi çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları kapsamında ilk aşamada farklı ayrışma sınıfına ait kireçtaşı ve dolomit örneklerinin petrografik özelliklerini belirlemek için kullanılan ince kesitler Pamukkale Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi, İnce Kesit Hazırlama Laboratuvarında hazırlanmıştır. Kireçtaşı ve dolomit örneklerinin petrografik tanımlamalarının yapılması, iç yapılarındaki ayrışma safhalarını tanımlanabilmesi ve arazide görülemeyen ayrışma sınıflarının mikro ölçekte görülebilmesi amacıyla hazırlanan 64 adet kireçtaşı ve 127 adet dolomit olmak üzere toplamda 191 adet ince kesit örneği üzerindeki detaylı incelemeler İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalı'nda bulunan LEICA DM 750 P model Polarizan mikroskop kullanılarak incelenmiş ve fotoğraflanmıştır (Şekil 3.2). Polarizan mikroskobu incelemeleri ile kireçtaşı ve dolomit örneklerinin türleri, mineral içerikleri ve petrografik ayrışma sınıflamaları yapılmıştır.



Şekil 3.2 İnce kesitlerin polarizan mikroskopta incelenmesi ve fotoğraflanması.

3.3.2 Kimyasal analizler

Kireçtaşı ve dolomitlerin mineralojik bileşimlerinin belirlenmesi ve ayrışmanın; kayaçların mineralojik ve kimyasal içeriklerinde ne tür değişimlere neden olduğunu ortaya koymak amacıyla tüm ayrışma sınıflarını temsil eden örneklere ve ayrışma ürünü olarak sınıflandırılan kil örneklerine öğütme işlemi yapıldıktan sonra kimyasal analizler kapsamında XRF (X-ray fluorescence) ve XRD (X-ray powder diffraction) analizleri yapılmıştır.

XRF analizleri kapsamında farklı ayrışma sınıflarını temsil ettiği düşünülen 22 adet kireçtaşı ve 49 adet dolomit olmak üzere toplamda 71 adet örneğin XRF analizi İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3.3). XRF analizlerinde Philips PW-2404 model dalga boyu dağılımlı X-Işını floresan spektrometre (XRF) cihazı kullanılmıştır. Bruker marka S8 Tiger model dalga boyu dağılımlı XRF ile tüm spektrum boyunca numune taraması yapılmıştır. Be-U arası tüm elementlerin ölçümü için gerekli kristaller mevcuttur. Kızdırma kaybı (LOI) değerlerinin incelenmesinde 200 μm'nin altında öğütülmüş olan malzemeden yaklaşık 1 gr kullanılarak yapılmıştır. Örnek önce 500 ^{0}C'ye kadar 1 saat sonrasında ise kademeli olarak 900 ^{0}C'ye kadar ısıtılmıştır. Bu analizler yardımıyla örneklerin majör oksit element yüzdesi ve kızdırma kaybı değerleri ASTM standartlarına göre belirlenmiştir.



Şekil 3.3 Kimyasal analizler sırasında kullanılan XRF cihazı

XRD analizleri kapsamında farklı ayrışma sınıflarını temsil ettiği düşünülen 7 adet kireçtaşı ve 8 adet dolomit olmak üzere toplamda 15 adet örneğin XRD analizi İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Mineraloji Petrografi Anabilim Dalı ICP-MS Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3.4). İstanbul Üniversitesi'nde yapılan XRD analizlerinde GNR APD 2000 PRO Cu X-Işını tüpü (λ= 1.5405 Angstrom) kullanılarak X-Işını toz difraksiyon (XRD) desenleri çekilmiştir. X-ray enerji çalışma aralığı 3 KeV-30 KeV'dur. XRD cihazı ile Ni filtreli Cu-X ışın tüplü cihazlar ile 2 - 70 derece arasında analiz edilerek, elde edilen X-ışın difraktogramları ASTM standartlarına göre yorumlanmıştır.



Şekil 3.4 Kimyasal analizleri için toz numune hazırlama işlemi ve XRD ölçüm cihazı

3.3.3 Fiziksel Özellikler

Laboratuvara getirilen örneklerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ISRM (2007) tarafından önerilen standartlara uyumlu olarak boy/çap oranının 2.0-2.2 arasında olan silindirik karot örnekleri alınarak yüzeyleri düzeltilmiştir. 42mm (BX) ve 36,5mm (BQ) çaplı 52 adet kireçtaşı ve 181 adet dolomit olmak üzere toplamda 233 adet silindirik karot örneği hazırlanmıştır. Örnek hazırlama çalışmaları İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Bölümü Örnek Hazırlama Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.5-3.6)



Şekil 3.5 Kireçtaşı ve dolomit bloklarından silindirik karot örneği alımı.



Şekil 3.6 Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan karot örneklerine ait bir görüntü.

Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar kapsamında kayaçların özgül ağırlık, etkin (görünür) porozite ve ağırlıkça su emme parametreleri ISRM (2007) ve TSE (1978)'nin önerdiği hususları dikkate alınarak İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Doğal Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

3.3.4 Mekanik Özellikler

Mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ISRM (2007) tarafından önerilen standartlara uyumlu olarak boy/çap oranının 2.0-2.2 arasında olan silindirik karot örnekleri alınarak yüzeyleri düzeltilmiştir. 42mm (BX) ve 36,5mm (BQ) çaplı 52 adet kireçtaşı ve 181 adet dolomit olmak üzere toplamda 233 adet silindirik karot örneği hazırlanmıştır (Şekil 3.5-3.6).

Kireçtaşı ve dolomitlern üzerinde P dalga hızı deneyleri İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Maden Mühendisliği Bölümünden temin edilen PROCEQ marka PL-200 model Pundit cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). Çalışma sırasında laboratuvarda hazırlanan karot örnekleri üzerinde 500 Hz 2mikro saniye gecikmeli olarak Pundit cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Pundit cihazı ile P dalga hızı ölçümü.

Çalışılan kireçtaşı ve dolomitlerin tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3.8).



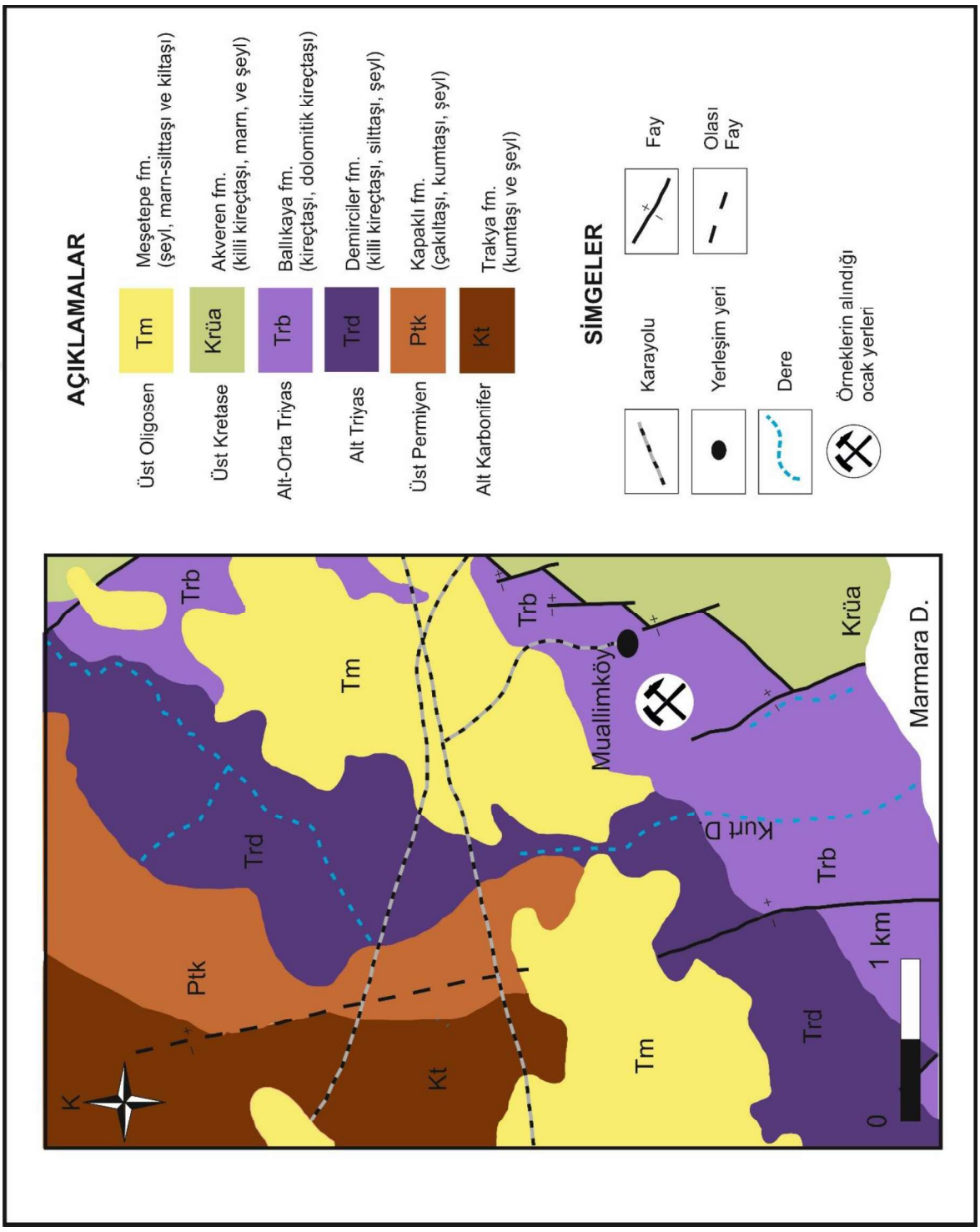
Şekil 3.8 Tek eksenli sıkışma dayanımı ölçümü.

4. BULGULAR

Tez kapsamında incelenen farklı ayrışma derecelerine sahip kireçtaşı ve dolomitlerin alınmış oldukları bölgelerin jeolojik özellikleri (Şekil 4.1) ve deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen mineralojik-petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait veriler ayrıntılı bir şekilde bu bölümde sunulmuştur.

4.1. İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ

Tez çalışması kapsamında İstanbul'un doğusunda yer alan Kocaeli ili Gebze ilçesi çevresinde bulunan kireçtaşı ve dolomit kırma taş ocakları çalışma alanları olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). Bu inceleme alanlarının bulunduğu bölgelerin jeolojik özellikleri aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında incelenen kireçtaşları ve dolomitlerin bulunduğu Ballıkaya formasyonuna birçok araştırmacı çalışmalarında yer vermiştir (Zabcı ve diğ., 2003, Çetin ve diğ., 2004, Zabcı 2007, Mert ve Mert 2011, Lom ve diğ, 2016, Gaetani 2016, Kılıç ve diğ, 2018).



Şekil 4.1 Çalışma alanı ve yakın çevresine ait jeoloji haritası (Gedik ve diğ., 2005'ten değiştirilerek alınmıştır).

4.1.1 Trakya Formasyonu

Çalışma alanında yer alan en yaşlı birim olan Trakya formasyonu Penck (1919) tarafından "Trakya Serisi" olarak adlanmış olup, söz konusu ad Kaya (1971)'in bugünkü "formasyon" anlamında ilk olarak Karbonifer birimlerine uygulanmış olması nedeniyle kullanılmaktadır. Kalınlığı 500-1000 m arasında olduğu belirtilen formasyon genelde yeşilimsi gri, yer yer de pembe renkli, ince orta tabakalı, kumtaşı ve şeyl ardalanmasından oluşmuştur (Önalan, 1982). Karbonatlı kesimleri makro ve mikro fauna ile flora içeren birimin geneli (Thrazische Serie) Penck (1919) tarafından "Devoniyen", Paeckelmann (1938) tarafından da "Üst Orta-Üst Devoniyen" olarak yaşlandırılmıştır.

4.1.2 Kapaklı Formasyonu

İlk olarak Altınlı (1968) ve Yurtsever (1982) tarafından "Kapaklı Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Kalınlığı 10-800 m arasında değişmekte olan birim çoğunlukla kırmızı renkli, ince-kalın ve çapraz tabakalı, çakıltaşı, çakıllı kaba kumtaşı, mikalı kumtaşı ve mikalı çamurtaşı-şeyl ardalanmasıdan oluşmaktadır (Altınlı, 1968). Birimin yaşı önceki araştırmacılar tarafından daha üstte yer alan Demirciler Formasyonu'nun yaşına göre "en Erken Triyas" (Baykal, 1943), "Erken Triyas" (Erguvanlı, 1949; Altinlı, 1968a; Gedik, 1975; Yurtsever, 1982) ve "Permo-Triyas" (Dağer, 1978) olarak kabul etmişlerdir. Kapaklı Formasyonu akarsu çökelleriyle temsil edilmektedir ve Trakya formasyonunun üzerinde transgressif aşmalı olarak açısal uyumsuzlukla yer almaktadır (Gedik, 2005).

4.1.3 Demirciler Formasyonu

Birim ilk kez Yurtsever (1982) tarafından adlarılmıştır. Sığ-derin deniz ortamını karakterize eden birim gri, koyu gri ve siyah renkli, ince-orta tabakalı, killi, mikritik kireçtaşı ile yeşilimsi gri, boz renkli, ince tabakalı silttaşı, şeyl ve az oranda kumtaşı aradalanmasından oluşur ve genelde karbonat yığışımlarından yapılıdır (Yurtsever ve Çağlayan, 2002; Gedik ve diğ., 2005). Kapaklı formasyonu üzerine Alt Triyas yaşlı Demirciler formasyonu dereceli geçişli olarak bulunmaktadır (Gedik ve diğ., 2005).

4.1.4 Ballıkaya Formasyonu

Erguvanlı (1949) ve Altınlı (1968) birime Alt-Orta Triyas yaşını vermişlerdir. Birim, sığ-derin deniz aralığında çökelmiştir. Dolomitleşme ise çökelim sonunda gelişmiştir (Altınlı, 1968). Alt-Orta Triyas yaşlı Ballıkaya formasyonu altta Demirciler, üstte Kazmalı formasyonları ile dereceli geçişli olarak bulunmaktadır (Gedik ve diğ., 2005). Bu çalışma kapsamında kireçtaşlarının ayrışma sınıflamasını ortaya koyabilmek için alınan örnekler Ballıkaya formasyonu içerisinde işletilmekte olan agrega ocaklarından temin edilmiştir (Şekil 4.2).

Ballıkaya fosmasyonu; Erikli ve Demirciler formasyonları ile birlikte Hereke Grubu içerisinde yer alan birimlerdendir. 1982 yılı öncesindeki çalışmalarda bu birimden genel olarak "Hereke formasyonu" olarak bahsedilmektedir. Hereke formasyonu ilk olarak Altınlı (1968) tarafından Aşağı Hereke-Yukarı Hereke yol hattı boyunca gözlendiği için adlandırılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda ise ince-orta kristalli, çoğunlukla dolomitli, yer yer dolotaşlı kireçtaşlarından oluşan bu birim, ilk kez Yurtsever ve Çağlayan (1982) tarafından "Ballıkaya Formasyonu" olarak adlandırılmıştır.

İnceleme alanında gözlemlediğimiz birim genelde gri, koyu gri ve siyahımsı renklerde, ince-kalın tabakalı, kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Altınlı (1968), formasyonun kalınlığını 950 m olarak belirlemiştir. Birimde, Folk (1962) sınıflamasına göre; kristalize-rekristalize, mikritik, biyomikritik, biyosparitik, mikrosparitik, intramikrosparitik, biyomikrosparitik, oosparitik, biyooosparitik, mikrosparitik dolomitik ve intrasparitik dolomitik kireçtaşı şeklinde farklı türde kireçtaşlarından göreceli olarak az miktarda olup, sahada çoğunlukla sparitik kireçtaşı ve dolomit görülmüştür. Tabakalanmalar tabanda ince-orta kalınlıkta olup, üstlere doğru kalın-çok kalındır.

Sahada bulunan kireçtaşlarında yüzey sularının oluşturduğu erime şekilleri (karstik şekiller) gözlemlenmiştir. Genellikle süreksizliklerde kalsit damarları gelişmiştir. Birimdeki dolomitleşme iki fazlıdır (Çerikçioğlu, 2001). Karbonatlar, kırıntılılara göre, dolomitleşmeden daha çok etkinmişlerdir (Altınlı, 1968). Formasyon oldukça yaşlı bir birim olduğu için geçmişten günümüze çok farklı tektonik hareketlere maruz kalmıştır. Dolayısıyla birimde çok farklı yönlerde süreksizlik sistemleri gelişmiştir. Bu süreksizlikler boyunca malzemede ezilme, bozulma, aynşma ve alterasyon etkisiyle demir oksitli, siltli ve killi zonlar oluşmuştur. Bu

zonlar sağlam kısımlarla birarada bulunduğu için malzemenin yapısı ve rengini olumsuz yönde etkilemiştir.



Şekil 4.2 Ballıkaya formasyonu içerisinde açılmış taş ocağının genel görünümü

4.1.5 Akveren Formasyonu

“Akveren formasyonu” ilk kez Badgley (1959) tarafından çalışmıştır. Kalınlığı 350 m dolayında olan birim beyaz, bej ve pembe renkli, ince-orta tabakalı, mikritik ve killi kireçtaşı, kalkarenit, marn ve yeşilimsi gri-yeşil renkli şeyllerden oluşmaktadır (Gedik ve diğ., 2005). Yer yer yoğun olarak ekinit fosilleri içeren Akveren Formasyonu'nun yaşı önceki araştırmacılar tarafından çalışma alanında geç Senoniyen (Baykal, 1943), Maastrihtiyen (Altınlı, 1968a), Maastrihtiyen-Paleosen (Dizer ve Meriç, 1972, 1981), Kampaniyen-erken Maastrihtiyen (Baykal ve Kaya 1963), geç Karrıpaniyen-Paleosen (Özer ve diğ., 1990); çalışma alanı dışında Kampaniyen-Maastrihtiyen (Ketin ve Gümüş, 1962), Maastrihtiyen (Ketin ve Gümüş, 1963), geç Maastrihliyen-Geç Paleosen-Erken Eosen (Dizer, 1971; Kaya ve diğ, 1982/1983'ten) ve Geç Kretase- Paleosen (Gedik ve Korkmaz, 1984) olarak belirlenmiştir. Birim kısmen farklı ortamlarda çökelmiştir ve altta Kocaeli Yarımadası'nın kuzey alanlarında Yemişliçay grubu birimleri, orta ve güney alanlarında da Teksen formasyonu ile dereceli geçişlidir (Aydın, 2005).

4.1.6 Meşetepe Formasyonu

Kalınlığı en çok 100 m dolayında olan formasyon, genel olarak yeşil, yeşilimsi gri, gri ve kirli beyaz renkli, ince tabakalı, kömürlü, şeyl, marn, silttaşı ve kiltaşı ile mercekler halinde bulunan beyaz, kızılımsı kahverengi ve yer yer kırmızı-pembe renkli, çapraz tabakalı, zayıf tutturulmuş kuvars kumtaşı ve çakıltaşından oluşmaktadır (Önalan, 1982, Aydın, 2005). Neojen'in yaygın görülen polenlerinin birimde bulunmamasına dayanarak (Yavuz, 2011) ve Türkiye'deki benzer stratigrafik konum ve yaş aralığında olan ve benzer kaya türlerinden oluşan birimlerin yaşı göz önüne alınarak Meşetepe formasyonunun yaşı Geç Oligosen-Erken Miyosen olarak kabul edilmiştir (Aydın, 2005). Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı "Meşetepe formasyonu" Akveren formasyonu üzerinde açısal uyumsuz olarak çökelen formasyon göl, akarsu ve yelpaze çökelleri ile temsil edilmektedir (Gedik ve diğ., 2005).

4.2 BÖLGENİN JEOLOJİK EVRİMİ

İnceleme alanı kuzeybatı Türkiye'nin ana tektonik birliklerinden biri olan İstanbul Zonu içerisinde bulunmaktadır (Şekil 4.3). İstanbul Zonu İstanbul yakınlarında Çatalca civarında başlayan ve doğuda Azdavay-İnebolu civarına kadar takip edilebilen bir tektonik birliktir. Bu tektonik birliğin temelinde Paleozoyik yaşlı bir çökel istif bulunmaktadır. Bu çökel istif Ordovisiyen' den başlayan ve üstte Karbonifer' e kadar uzanan, altta sığ denizel hatta karasal çökellerle başlayıp üstte Karbonifer yaşlı derin denizel çört içeren türbiditlere kadar uzanan bir transgresif seriyi temsil etmektedir (Çuvaş, 2002).



Şekil 4.3 Anadolu levhası ve çevresinin ana kenet kusakları ve kıtasal blokları gösterir harita (Sengör, 1984; Okay, 1989; Okay vd., 1994, Okay ve Tüysüz, 1999'dan yalınlaştırılmıştır).

Bu Paleozoyik istif pasif bir kıta kenarı sedimanter prizmasını temsil etmektedir (Abdüsselamoğlu, 1977; Görür et. al., 1997).

Paleozoyik birimlerini, Triyas sedimanter istifi diskordan olarak örtmektedir. Bu istif altta karasal kırmızı renkli tabakalarla başlamakta, üste doğru sığ su çökellerine geçmekte ve derin denizel Ammonitli kırıntılılar ve karbonatlarla devam etmektedir. En üst kısımlar ise regresif sedimanlarla temsil edilmektedir. Paleomanyetik veriler hem Paleozoyik hem de Triyas istifinin Lavrasya kıtası kökenli olduğu göstermektedir (Sarıbudak vd., 1989; Evans vd., 1991; Theveniaut, 1993). Triyas batıda (Gebze dolayları) Alt Triyas karasal konglomera, kumtaşı ve bazaltlar ile başlayan, kireçtaşları ile devam eden ve Üst Triyas yaşlı bir fliş ile biten transgressif

bir istif oluşturmaktadır. Doğuda ise tümü ile kızıl karasal konglomera, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır (Çakraz Fm). Batıda Triyas istifi Üst Kretase volkanikleri (Yemişliçay Fm) ve kireçtaşları ile örtülürken; doğuda ise arada Jura ve Alt Kretase çökelleri görülmektedir (Tüysüz, 1999).

Kocaeli Yarımadası' nın, jeolojik süreçlerde Hersiniyen ve Alpin orojenezlerinin etkisinde kaldığı bilinmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü taş ocaklarına yakın bölgelerde daha çok Alpin Orojenezi' nin izlerini yansıtan D-B gidişli kıvrımlar gözlenmiştir. Bu kıvrımları oluşturan stress K-G yönlü olup, Hereke Bölgesi' nde Kurtköy, Aydos, Ballıkaya ve Şemsettin formasyonları içerisinde gözlenmektedir. Gebze Bölgesi' nde gözlenen kıvrımlar genellikle KD-GB gidişli olup, Hersiniyen Orojenezi' nin ürünüdürler. Bu kıvrımlar genellikle kumtaşı ve kireçtaşlarında oluştuğu için litoloji etkisiyle paralel tipte gelişmiştir (Önalan, 1982; Dursun, 2004).

Bölgede gözlemlenebilen fayların tamamı düşey fay karakterinde olup, bir kısmının doğrultusu KD-GB, diğer kısmının doğrultusu ise KB-GD' dur. Bu faylar çoğu kesimlerde paralellikler arz etmekte olup, yarım horst ve grabenler oluşturmuştur. Gebze' deki Paleozoyik istifi biçen düşey faylar genelde KB-GD doğrultuludur ve Hersiniyen Orojenezi' ni oluşturan K-G yönlü sıkışma bileşeni ile ilişkili bir açılmayı ifade eder. Bu fayların, genellikle KD blokları yükselmiş, GB blokları düşmüştür. Bu durum yer yer basamaklı bir yapı gelişmesine neden olmuştur. Fayların çoğu birimler içerisinde gelişmiş olup, çoğunlukla dokanak teşkil etmişlerdir (Dursun, 2004).

Önceki incelemelerde Paleozoyik istifte sözü edilen diskordansların olmadığı Önalan (1982) tarafından saptanmış ve Paleozoyik' in düzenli ve uyumlu bir istif şeklinde sıralandığı ifade edilmiştir. Paleozoyik istife ait Karbonifer yaşlı, grovak-şeyl litolojisinden oluşan Trakya formasyonu üzerine çökelen Triyas yaşlı, kireçtaşı ve kumtaşından oluşan Kapaklı formasyonu arasında bir diskordans söz konusudur. Kireçtaşı, dolomit ve yumrulu kireçtaşı litolojilerinden oluşan, Triyas yaşlı Hereke formasyonu üzerine çökelen, Kretase yaşlı, çakıltaşları ve kireçtaşlarından oluşan Hereke çakıltaşı arasında bir diskordans vardır (Dursun, 2004).

Kireçtaşı ve dolomit profillerinin bulunduğu bu taş ocaklarında farklı doğrultu ve eğimlere sahip çok miktarda fay olduğu görülmüştür (Şekil 4.14).

4.3 ÇALIŞILAN KİREÇTAŞI ve DOLOMİTLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE TANIMLAR

Kireçtaşlarının genel özellikleri

Kireçtaşları kalsiyum karbonatın kimyasal olarak çökelimi ile oluşan kayaçlardır. Kireçtaşlarında üç ana unsur vardır. Bunlar karbonat tanelerini oluşturan allokemler, mikritik çamur (mikrit veye mikrokristalin kalsit) ve sparit çimentodur. Allokemlerin başlıcaları intraklast, oolit, pellet ve iskelet taneleridir.

Kireçtaşları monomineralik (tek tip mineralli) olup egemen olarak kalsitten oluşurlar. Kireçtaşlarını oluşturan elementler temel olarak dört gruba ayrılırlar. 1) Karbonat kırıntıları, 2) kavkı parçaları, 3) mikrokristalin kalsit (mikrit) ve 4) Çimento (spari kalsit).

Folk (1959) sudan direkt olarak çökelmemiş ve belli oranda taşınmıs malzemeyi allokem (allochems) grubu adı altında sınıflamıştır. Bu taneler (allokemler) tane boyu olarak yaklaşık olarak silt büyüklüğünden (~0.02 mm) kum büyüklüğüne (2 mm) değişirler. Bu taneler genel olarak 5 ana gruba ayrılırlar. 1) Karbonat parçaları, 2) iskelet/kavkı parçaları, 3) oolitler, 4) peloitler, 5) lump veya üzümtaşlarıdır (grapestones).

Bazı kireçtaşları 0.02-0.1mm büyüklüğünde beyaz, çok açık renkli kristal kalsit içerirler. Bu tip klasitler sparit veya spari kalsit olarak adlandırılırlar. Mikritlerden büyüklükleri parlak görünüşleri ile allokemlerden ise beli bir iç yapıları olmaması ile ayrılırlar.

Kireçtaşlarının sınıflandırılmasında kayacın mineralojik içeriği, tane boyu, kompozisyonu ve dokusu (Şekil 4.4, Şekil 4.5) oldukça önemlidir.

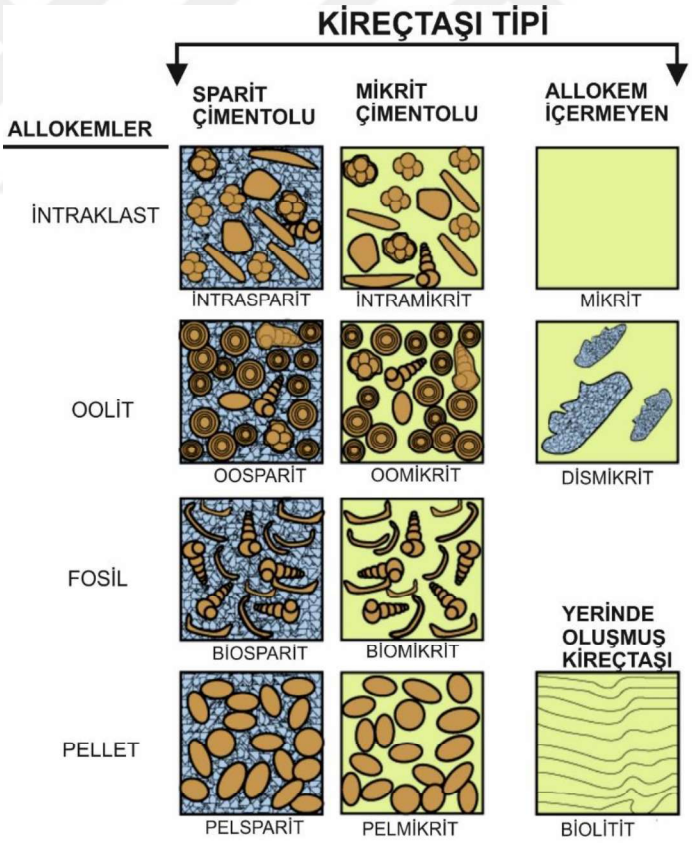
Kimyasal formülü $CaCO_3$ olan kalsit ince kesitte renksizdir ve kristal tane boyutu 1 mm-10 cm arasında olan kireçtaşının yapıtaşı olan bir mineraldir. Kireçtaşları monomineralidir. Kalsit, trigonal kristal yapısına sahiptir. Mikroskop tablasının çevrilmesi ile birlikte optik engebede belirgin bir değişikliğin varlığı gözlenir. İnce kesitlerde yüksek optik engebe göstermektedir (Erkan, 2011).

Kimyasal bileşiminde asgari % 90 kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) bulunan tortul kayaçlara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde asgari % 90 kalsit minerali bulunan kayaçlara da kalker adı verilmektedir. İçerisinde % 50'den fazla karbonat minerali

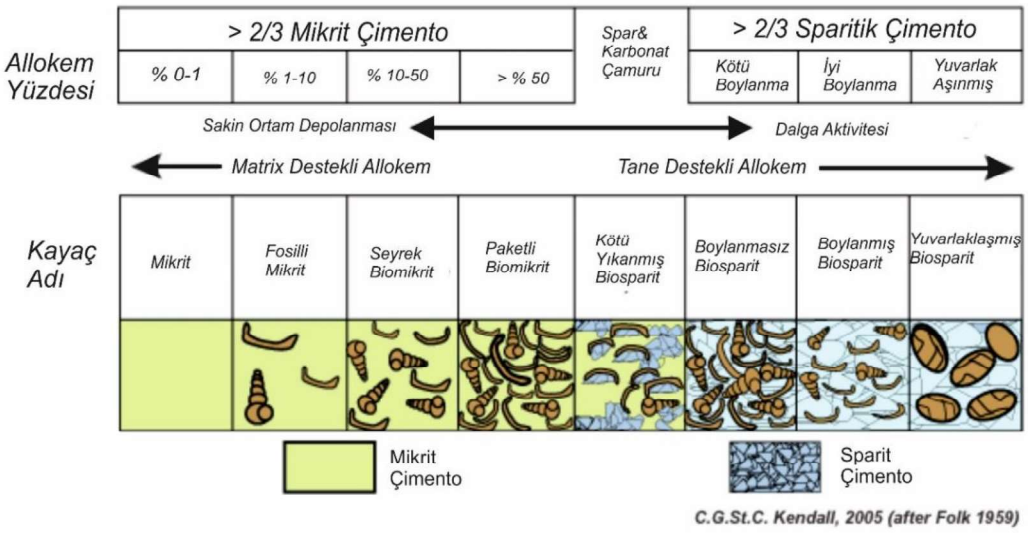
kapsayan sedimanter kayalara "karbonat kayaları" denilmektedir. Bunlar yeryüzündeki sedimanter kayaların % 25'ini, ülkemizde ise % 20 gibi bir oranı oluşturmaktadır (Atabey, 1997).

Kireçtaşları içindeki matriks kil eşiti, mikrokristalen, ince taneli mikrittir. Tane boyu 4 mikrondan küçüktür. İnce kesitte donuk kahverengi görülmektedir. Duru kalsit (spari kalsit-sparit) çimento ise kireçtaşı taneleri arasını dolduran oldukça kaba 4-10 mikron arası taneli kalsitten oluşmaktadır.

Folk (1959) sınıflamasına göre (Şekil 4.4), allokemlerin bulunduğu sparikalsit çimento ve mikrit çimento esas alınarak ve allokemlerin bulunduğu mikrite göre tanımlama yapılmıştır. Ayrıca Folk (1962) doku sınıflaması da yapmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 Basit kireçtaşı sınıflaması (Folk, 1959)



Şekil 4.5 Karbonat kayalarında doku sınıflaması (Folk, 1962)

Folk (1959), kireçtaşlarını bileşimine göre, Dunham (1962) ise dokusunua göre sınıflandırmıştır. Krumbein ve Sloss (1963) kireçtaşlarını kalsit, dolomit ve karbonat olmayan mineral miktarına (%) göre sınıflandırılmışlardır. Dearman (1981) kireçtaşlarının malzeme ve kütlesel özelliklerinin söz konusu olduğu mühendislik amaçlı çalışmalarda dokusal, bileşimsel ve diyajenetik özelliklerinin birleştirilerek, Bell (2006) ise bu özelliklere teknolojik özellikleri de dahil ederek sınıflandırılmasını önermiştir. Oysa kireçtaşlarının endüstriyel kullanımında (beton agregası, kireç endüstrisi, metalurji, tarım) alt sınıflamalar gereklidir ve bu alt sınıflamalar, kireçtaşlarının kalsit, dolomit ve karbonat olmayan minerallerin oranında (Flügel, 2004) ve uluslararası normlarda (Oates, 1998) yapılmalıdır.

Kireçtaşlarının oluşumunda; dokusal homojenlik (tanetaşı, vaketaşı), bileşimsel homojenlik (kimyasal bileşim, yabancı madde içeriği, safsızlık), vb. özellikleri büyük bölümüyle çökelme ortamı koşulları ve diyajenez kontrolündedir.

Bileşimsel homojenlik, mineral homojenliği ve kimyasal homojenlik olarak tanımlanabilir.

Mineral homojenliği: Kalsit + dolomit > % 97 = Homojen, Kalsit + dolomit < % 97 = Heterojen (1)

Kimyasal homojenlik: Saflık (%) = 100v- [% $Si0_2$ + % $(Al, Fe)_2 O_3$] (2)

Karbonat kayalarının dokusal homojenliğinde ise çökelme ortamları ve diyajenetik koşullar etkindir. Derin deniz kenarı ve derin deniz ortamlarında çökelen kireçtaşlarının dokusal homojenliği yüksektir. Ancak sığ deniz ortamında (lagün ve gelgit ortamı) çökelen kireçtaşlarının dokusal homojenliği düşüktür.

Kireçtaşlarının oluşum süreçlerinde kimyasal tepkime süreci karbonasyon, kimyasal olarak ayrışma süreçlerinde erime-çözünme ve oksidasyondur. Karbonatların oluşumuna sebep olan kimyasal olaylar karbonasyon olarak adlandırılmaktadır. Karbondioksitin su ile tepkimeye girmesiyle (suda erimesiyle) karbonik asit meydana gelmektedir.

$$H_2O+CO_2 \longrightarrow H_2CO_3$$

Karbonik asitli sular kireçtaşlarına etki ederek kalsiyumbikarbonatı oluşturur.

$$CaCO_3+H_2CO_3 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

Kireçtaşlarının karbonik asit içeren sularla çözünmesi karbonasyonun en önemli örneklerinden biridir. $Ca(HCO_3)_2$ içeren yeraltı suları yüzeye çıktıkları zaman basınç serbestleşmesi gerçekleşir. Bu durumda karbondioksit havaya karışırken su akışına devam eder ve kalsiyumkarbonat birikmeye başlar.

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CO_2+H_2O+CaCO_3$$

Kireçtaşı ve dolomitler içinde bulunan kil, demir oksit ve alüminyum oksitler karbonatların ortamdan uzaklaştırılmasıyla geride terrarosa (kırmızı toprak) ve laterit adı verilen artıklar bırakırlar.

Oksidasyon ile kayaçlar oksit oluşturmak için havadaki ya da sudaki serbest oksijenle olan reaksiyona girerler. Serbest oksijen silikat mineralleri içerisindeki metalik elementlerle reaksiyona girerek bu minerallerin bozunmasını dolayısıyla parçalanmasını sağlar. Oksitlenme sonucu kayaçtaki sarı, kahverengi ve kırmızı renkler hematit ve limonitin varlığından kaynaklanmaktadır.

Dolomitlerin genel özellikleri

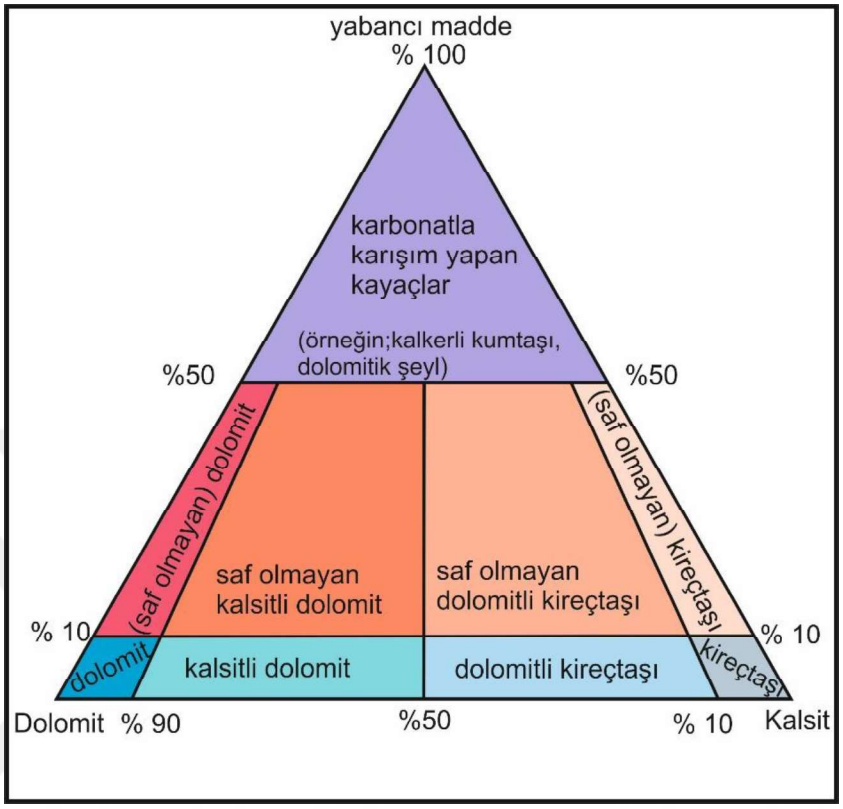
Dolomit, kireçtaşlarında CaO'in yerini kısmen veya tamamen MgO'in alması ile oluşmaktadır. Bu yüzden bileşimi açısından kireçtaşları ile ilişkili olup, yanalda ve düşeyde daima kireçtaşları

ile geçişlidir. Kireçtaşı profilinde dolomit merceklerinin kireçtaşı kütlesi içerisinde yayılım göstermesi bu durumun kanıtıdır.

Kimyasal formülü $CaMg(CO_3)_2$'dir. Trigonal kristal yapısına sahiptir. İnce kesitte renksizdir. Ender olarak gri veya kahverengimsi bir renk de gösterebilir. Kristalleri romboeder şeklindedir ve baklava dilimi şeklinde gözlemlenir. Kayaçlarda kalsitin aksine özşekilli veya yarı özşekilli kristallerine rastlanmaktadır. Kristal kenarına ve dilinim izlerine göre simetrik sönme gösterir. Mikroskop tablasının çevrilmesi ile optik engebede belirgin bir değişikliğin varlığı gözlenir. Optik engebe, romboederin uzun köşegeni parar durumunda iken yüksek, kısa köşegen paralel durumunda iken alçak durumundadır (Erkan, 2011).

Dolomit adı hem mineral hem de adlamasında kullanılmaktadır. Mineral olarak dolomit rombohedral kristal şekilli bir karbonattır. $CaMg(CO_3)_2$ kimyasal formülü ile gösterilmektedir. Şimdiye kadar tanımlanmış gerek güncel gerekse yaşlı dolomitler genelde kalsiyumca zengindir (Land, 1982). Kayaç olarak dolomit % 50'den fazla dolomit minerali içeren karbonattır (Şekil 4.6).

Çoğunlukla kalsit ile beraber bulunur ve ince kesit görüntülerinde kalsitten özşekilli veya yarı özşekilli olması, ikiz lamellerinin romboederin kısa köşegenine pararlel olması ile ayırılabilir. Ayrıca kalsitle ayırmak için boyama yöntemi olan Alizarin Red-S boyama tekniği kullanılarak boyanma olursa kalsit, boyanmaması ile dolomit birbirinden ayırt edilebilinir. Arazide ise kalsitle olan ayrımında asitlere karşı duraylılıklarından yararlanılır. Kalsit HCl ile çözünürken dolomit asitlere karşı dayanım göstererek çözünme gerçekleşmez.



Şekil 4.6 Karbonatların minerolojik içerigine göre sınıflandırılması (Leighton ve Pendexter, 1962)

4.4 AYRIŞMANIN GENEL ÖZELLİKLERİ

4.4.1 Giriş

Çalışmanın bu bölümünde araştırma konusunu oluşturan ayrışma teriminin tanımı üzerinde durulacaktır.

Geçmiş jeolojik dönemlerde, yüzey ve yeraltında farklı sıcaklık ve basınç koşullarına maruz kalan kayaçların bu yeni koşullara uyum sağlamak için göstermiş oldukları değişimler "Ayrışma" olarak tanımlanmaktadır (Fookes vd. 1971). Weinert (1965) ve Fookes (1970), yüzey kayaçlarının mühendislik özelliklerini belirleyen en önemli etkenin kayacın oluşumundan sonraki ayrışma sürecinin olduğunu belirtmişler ve ayrışmayı, kayaçların hidrosfer ve atmosferin doğrudan etkisi altındaki değişme olayı olarak tanımlamışlardır. Bu değişimler fiziksel ve kimyasal özelliklere etkimektedir. Sonuç olarak da, kayanın kütle ve malzeme özelliklerini belirleyecektir. Ana kayadan zemine olan dereceli geçiş, ayrışma

sebebiyle olmaktadır (Reiche, 1950; Ollier, 1969; Carroll, 1970; Hunt, 1972 ve Birkeland, 1974, 1984). Kimyasal ayrışma üzerine araştırmalar yapan Krauskoph (1967)'ye göre ayrışma süreçleri; çok ağır gelişen, tamamlanmamış ve çoğunlukla da tersinir olmayan tepkimelerdir. Ollier (1984); ayrışmayı yüzeye yakın derinliklerdeki kayaçlarda su, hava gibi atmosferik koşulların etkisiyle ayrışma ürünlerine dönüşerek parçalanması olarak ifade etmiştir. Beavis (1985) ayrışmanın; atmosferik koşulların etkisiyle kayaçların özelliklerini degistiren en önemli etkenlerden birisi olduğunu ifade etmiş ve bu değişimin kayaçların mineralojik özellikleri ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin degişimine neden olduğunu belirtmiştir. Bir başka tanımda ise ayrışma, yeryüzüne yakın yerlerde kimyasal yapının bozulması ve fiziksel ayrışma ile kaya ve zemin malzemelerinin değişimi ve ufalanması süreci şeklinde tanımlanmıştır (ANON, 1995). Price (1995) ise ayrışmayı; doğal ve yapay nedenlerin etkisiyle kayaçlar yüzeylendiklerinde meydana gelen ve geri dönüşümü olmayan tepkimeler şeklinde tanımlamıştır. Genel anlamıyla ayrışma, kaya bünyesinde, ortam şartlarının etkisi ile çoğunlukla yavaş gelişen, ilerleyici, mühendislik açısından önemli sonuçlar doğuran fiziksel mekanik olaylar serisidir. Ayrışmanın etkisiyle kayaçlar taze durumlarındaki bileşim ve özelliklerini yitirerek farklılaşmaya uğramaktadırlar (Tugrul, 1995). Ündül (2007) ise ayrışmayı, kayaların, jeolojik, meteorolojik vb. bir veya birden çok etken altında zemin türü malzemeye dönüşmesi olayı olarak tanımlamıştır.

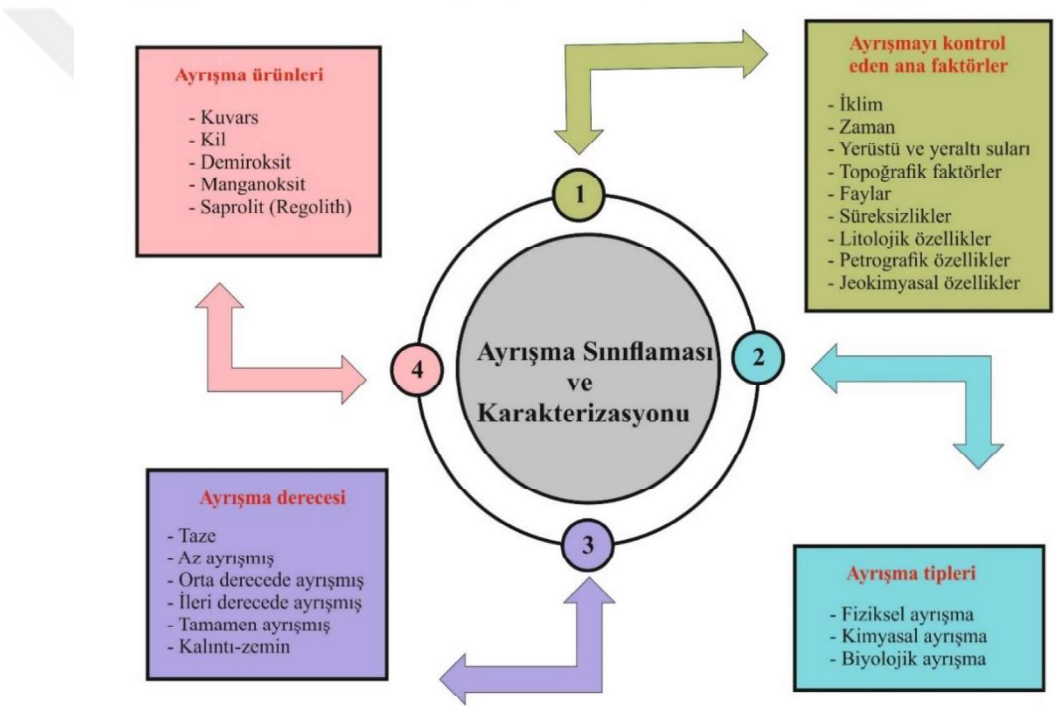
Bazı araştırmacılar ise kayaçlarda meydana gelen değişimleri ayrışma dışında bazı farklı terimlerle ifade etmişlerdir. Örneğin, Carroll (1970) ve Valeton (1970); kayaçlarda meydana gelen değişimi "alterasyon" adı altında incelemişlerdir. Ündül (2007); yüzeydeki kayaçlarda özellikle güneş etkisi, ıslanma-kuruma ve donma çözünme etkisi ile meydana gelen değişimi "günlenme" olarak tanımlamaktadır. "Parçalanma"yı ise yüzeydeki kayaçlarda gözlenmekte olup, kayaçların farklı etkenlerle parçalara ayrılması ve ufalanma sürecinin baslamaşı olarak ifade etmiştir. Haskins ve Bell (1995); parçalanmanın, özellikle bazaltlarda ayrışma sonucu gelişen kil minerallerinin şişmesi sonucu oluştuğunu ifade etmişlerdir.

4.4.2 Ayrışmanın Genel Prensipleri ve Ayrışma Tipleri

Farklı ayrışma derecelerini bünyelerinde barındıran kaya kütleleri, davranış çeşitliliği göstermesinden dolayı ayrışma süreçleri, mühendislik çalışmalarının planlama ve projelendirme aşamasında en çok dikkat edilmesi gereken konuları oluşturmaktadır.

Genel olarak iklim, zaman, yerüstü ve yeraltı suları, topoğrafik faktörler, tektonizma, süreksizlik özellikleri ve türleri, jeokimyasal özellikler, mineralojik-petrografik özellikler kayaçlarda ayrışmayı denetleyen ana faktörleri oluşturmaktadırlar. Litolojik ortama bağlı olarak tüm bu parametreler farklı etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle, ayrışmayı denetleyen etkenlerin önem sırası değişkenlik gösterebilir.

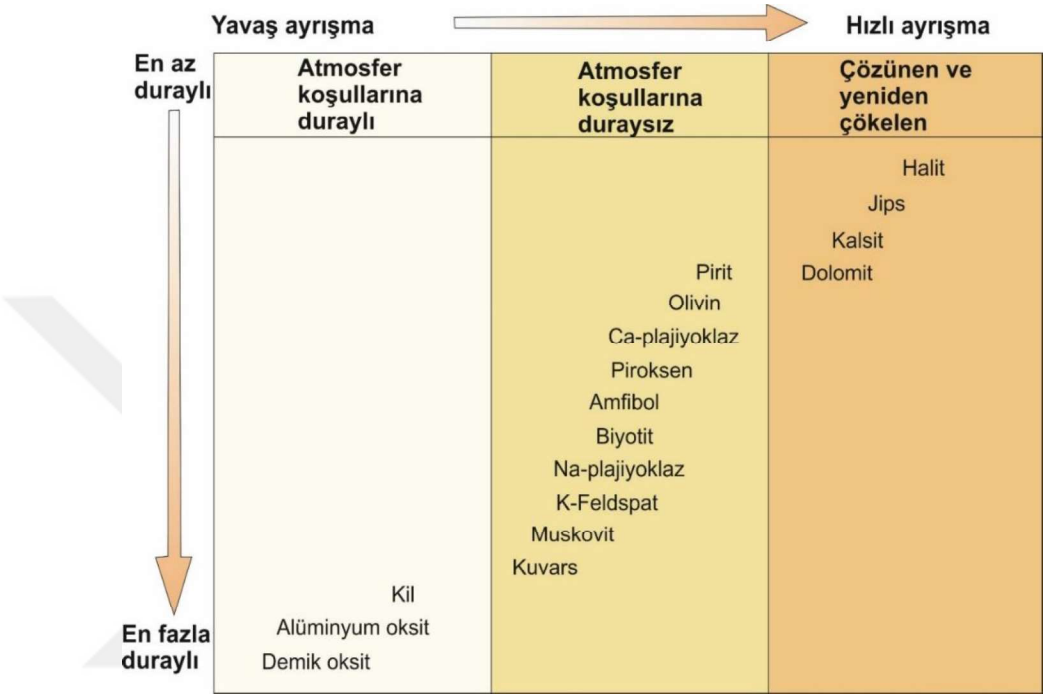
Ayrışma Sınıflaması ve Karakterizasyonu'nun tasarlanmasında etkili olan faktörler Şekil 4.7' de sunulmuştur.



Şekil 4.7 Ayrışma sınıflamasını ve karakterizasyonunu belirleyen etmenler (Ündül 2007'den değiştirilerek)

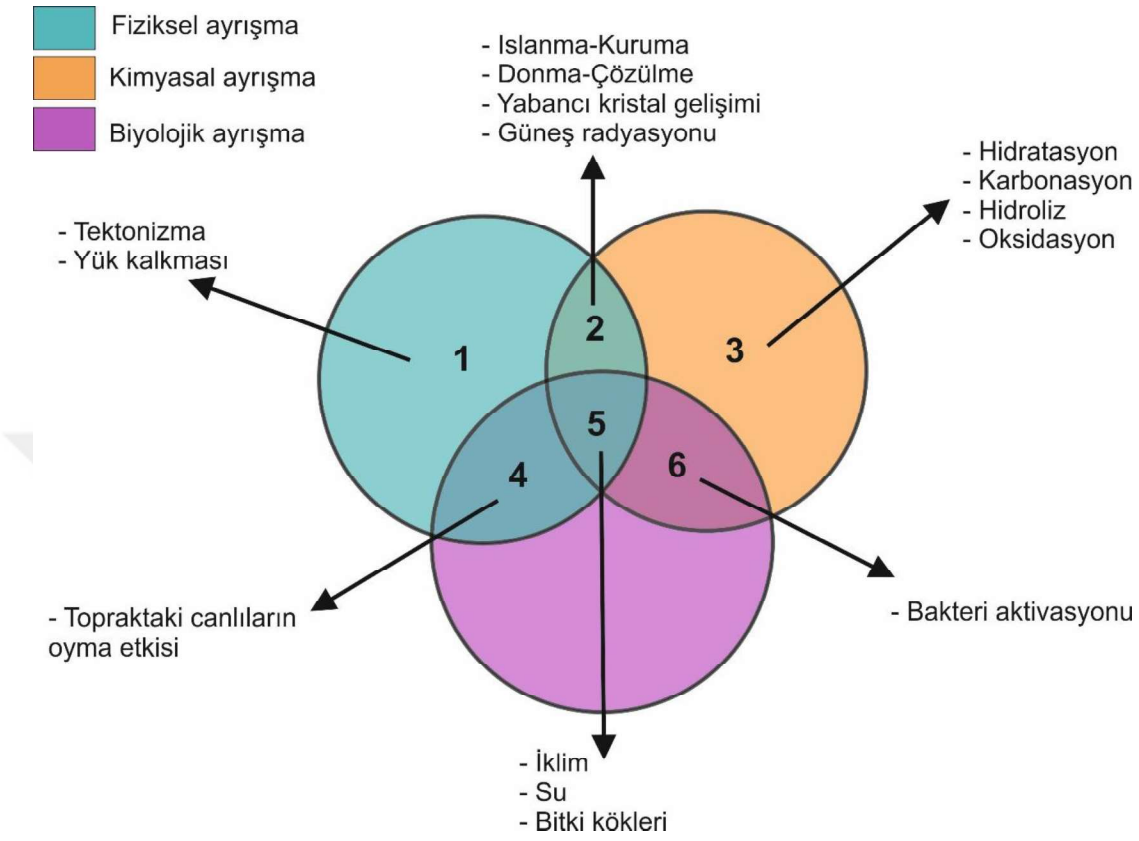
Kayaçların ayrışmaları oluşum koşullarının değişmesi ile birlikte başlamaktadır. Özellikle atmosferik koşulların farklılaşması sonucu yeni ortam koşuluna duraylılık gösteremeyen minerallerde hızlı bir değişim gözlenmektedir. Bu süreç magmanın soğuması esnasında kristelleşmenin sırasını ifade eden Bowen Reaksiyon Serisi'ne uygun olarak gelişmektedir.Bu serdie genel olarak çok yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında ilk kristalleşen olivinler günümüz atmosferik koşullarına uyum gösteremeyen ve ayrışmaya kolaylıkla maruz kalan mineraller olurken, son kristalleşen minerallerden olan ve yeterli sürenin geçmemesi sonucu

yeni ortam koşullarına uyum sağlayabilen kuvars ayrışmaya karşı oldukça duraylıdır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Minerallerin atmosferik koşullara bağlı olarak gelişen ayrışmaya karşı duraylılıkları

Kayaçlardaki ayrışma, çeşitli fiziksel etkiler altında gelişebileceği gibi mineraller arasındaki bağlayıcının kimyasal süreçlerle bozularak ortadan kalkması sonucu da oluşabilir. Ayrıca çeşitli bitki ve organizmaların etkisi ile de kayaçlarda meydana gelebilcek değişimleri de ayrışma süreçleri içinde incelenmesi gereken konulardandır. Bu nedenle ayrışma; fiziksel (mekanik ayrışma, fiziksel parçalanma, ufalanma, tuz etkisi, donma-çözünme vs.), kimyasal (oksidasyon, karbonasyon, erime-çözünme vs.) ve biyolojik süreçler (liken, bitki kökleri, Fe- Mn bakteri aktivitesi vs.) olmak üzere üç kategoride gerçekleşir. Bu ayrışma tiplerinden biri veya bir kaçı aynı anda veya farklı zamanlarda gelişerek birbirine ortam hazırlayabilir. Herhangi bir ayrışma tipini geliştiren etmen, farklı ayrışma tipinin gelişmesine de etki edebilir (Şekil 4.9). Örnegin, fiziksel ayrışma sonucu gelişen süreksizlikler, atmosferik etmenler sonucu oluşan karbonik asit ve meteorik sularının etki alanı oluşturabilecek yüzeyler bulmasında önemli rol oynayarak özellikle kireçtaşı ve dolomit gibi eriyebilen karbonatlı kayaçlarda kimyasal tepkimelerin gelişimi ve artması için yeni koşullar sağlamaktadırlar.



Şekil 4.9 Farklı ayrışma tiplerini oluşturan etkenler

4.4.2.1 Fiziksel Ayrışma

Kayaçlardaki fiziksel ayrışma suyun mekanik etkisi (don), ani sıcaklık değişimleri, basınç serbestlenmesi ve kimyasal çözünmenin mekanik etkisi gibi olaylarla oluşur. Isı farklılaşmasından kaynaklanan fiziksel ufalanma daha çok günlük ısı farklarının çok yüksek olduğu yörelerde gerçekleşir. Kayaç yüzeyinde ilksel olarak bulunan süreksizlik sistemlerine giren suların donarak hacim genişlemesi yoluyla yarattığı basınçlar kayacın parçalanmasına ve ufalanmasına neden olur. Bu süreç gerilim direnci düşük ve gözenekliliği fazla olan kayaçlar ile donma çözünmenin yaygın olduğu iklim kuşaklarında etkilidir.

Suyun kimyasal etkisi sonucu oluşan diğer bir mekanik ayrışmada ise killer suya maruz kaldıklarında şişerek kayacın fiziksel olarak parçalanmasına neden olurken, tuz kristalleri de bulundukları süreksizliklere basınç uygulayarak kayacın bu süreksizlikler boyunca kopmasına, ayrılmasına neden olmaktadırlar. Bunun sonucunda, hacim artışı, yüzey alanı artışı, dane boyu küçülmesi, danelerin serbestlenmesi-birbirleriyle bağlarının ortadan kalkması, yüzeyden

kaynaklanan kimyasal ve biyolojik aktivitenin daha derinlere kadar nüfuz etmesine olanak sağlanması gibi sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışma süreçlerini oluşturan; yük kalkması, tektonizma, ıslanma-kuruma, donma-çözülme, yabancı kristallerin oluşumu, bitki kökleri, termal genişleme ve büzülme olayları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yük kalkması: Kayaçlar oluşumlarından sonraki jeolojik evrimleri boyunca çeşitli örtü yükleri altında kalmaktadırlar. Aynı jeolojik evrim boyunca tektonik yükselim, karasal ortam süreçleri vb. etkiler ile meydana gelen aşınma ve erozyon etkisi ile kaya ortamı üzerindeki yükün kalkması ile rahatlama çatlakları gelişmektedir. Yüzeyden belli bir derinliğe kadar inen bu çatlaklar topografyaya paralel olarak gelişmektedir. Genellikle "soğan kabuğu" şeklinde soyulma da denilen bu deformasyona granitik kayaçların bulunduğu arazilerde rastlanılmaktadır.

Tektonizma: Tektonizma ile gelişen ikincil süreksizlikler ayrışmayı oluşturan ve geliştiren etkilerin kaya ortamı içerisinde derinlere nüfuz etmesine yol açmaktadır. Ayrıca makaslama ve ezilme zonları kaya ortamının ufalanmasına yol açarak fiziksel ayrışmayı geliştirmekte ve hızlandırmaktadır. Jeolojik süreçlerde Hersiniyen ve Alpin orojenezlerinin etkisinde kaldığı bilinmekte olan çalışma alanı içerisinde küçük boyutlarda ancak çok sayıda kıvrım, bindirmeler ve normal faylar bulunmaktadır. Bu yapılar, incelenen kireçtaşı ve dolomitler üzerinde, en az üç yönlü süreksizlikleri oluşturmaktadır. Ayrıca; süreksizlik, fay gibi bu yapısal unsurlar boyunca suların kireçtaşı ve dolomitlerin çatlakları içerisine girmesiyle de erime (çözünme) meydana gelerek, ayrışma ürünleri olan demiroksit ve killerin de taşın ımına yardım etmektedir.

Islanma – Kuruma: İklimsel etkiler nedeniyle kaya ortamının ıslanma – kuruma süreçlerinde özellikle yüzeye yakın kesimlerde yeni çatlakların oluşumu ile birlikte parçalanmalar gelişmektedir. Çalışma alanında, belirli ayrışma seviyelerinden sonra ıslanma kuruma etkisi ile dökülmeler ve çözülmelere rastlanmıştır.

Donma – Çözünme: İklimsel etkilere bağlı olarak gelişen diğer bir olaydır. Burada, kaya ortamındaki süreksizlikler boyunca biriken suyun donma ve çözülmesi yanında kayacın kendisinin donma-çözülmesi de incelenmelidir. Süreksizliklerin içine giren ve donan suyun etkisi ile fiziksel ve kimyasal ayrışma meydana gelebildigi gibi bazı kaya türlerinin donma ve çözülmeleri sırasındaki hacim degişimleri meydana gelmektedir. Çalışma sahasında yağışın en fazla, sıcaklığın

en düşük olduğu Aralık-Subat dönemlerinde, kayaç yüzeyinden itibaren süreksizlikler boyunca donma olayı bloklara ayrılmalar ve ufalanmalar meydana gelerek hacim artışına neden olmaktadır.

Yabancı kristallerin gelişimi: Akışa geçen yağmur suları içine çeşitli tuzlar ve maddeler karışır. Yüzeydeki ayrışmış kayaçların daha taze olanlarına oranla daha çatlaklı ve geçirimli olmaları sebebiyle çatlaklarda biriken NaCl (Sodyum klorür) ve Na_2SO_4 (Sodyum sülfat) gibi tuzlar, suyun buharlaşması sonucunda fiziksel ve kimyasal ayrışmaya neden olmaktadır.

Bitki kökleri: Kaya ortamlarındaki mevcut süreksizliklere bitki köklerinin girmesi, zayıf zonlarda yeni süreksizlikler oluşturması, salgıladıkları enzimler vs ile buralarda büyümesi ve kimyasal reaksiyon geliştirmeleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışmaya olanak sağlamaktadır. Özellikler atmosferik koşulların olanak sağlaması ile bu tür ayrışmalar tarihi eserlerde çok sık gözlenmektedir.

4.4.2.2 Kimyasal Ayrışma

Kimyasal ayrışma, yeraltının derinliklerinde ve yüzeye yakın kesimlerde olmak üzere iki açıdan değerlendirilmelidir. Meteorik suların dolaşımı kayacın oluşumu sırasında gelişen birincil süreksizlikler ve tektonik aktivite sonucu olusan ikincil süreksizlikler boyunca gerçekleşmektedir. Bunun yanında belirli bir derinliğe kadar yük kalkması sonucu gelişen süreksizlikleri de kullanmaktadır. Kayaç litolojisinin kimyasına bağlı olarak hidrotermal sular yüzeyden gelen sızıntı sular ile birlikte karmasık kimyasal tepkimelere neden olmaktadır. Bu tepkimeler sonucunda, yeni mineral gelişimleri olabildiği gibi kayacı oluşturan minerallerin sulu polimorfları da oluşabilmektedir. Kayaçta meydana gelen kimyasal tepkimeler ve suyun etkisi ile gelisen hacim artışı durumunda yeni çatlaklar oluşabilmektedir. Bunun yanında kayacın oluşumu sırasında da suya maruziyet olması durumunda kayaç, oluşumunu tamamlamasıyla birlikte kimyasal alterasyona maruz kalmaktadır (Mével, 2003).

Kimyasal ayrışma ile yüzeydeki kayalar, ortam koşullarının etkisi altında kimyasal tepkimelere uğrayarak daha büyük hacimli, buna karşılık daha az yoğun bileşikler oluştururlar. Kimyasal ayrışma süreçleri başlangıçta basit görünmekle birlikte, sayısız birçok faktörün etkisiyle karmaşık bir hal alır. Bu tür ayrışma sıcaklığın yükselmesiyle artmakla birlikte, nemli ortamda ve alçak yükseltilerde daha hızlı gelişir.

Kayaçların kimyasal yollarla ayrışması oksidasyon, karbonasyon, hidroliz, hidratasyon vb. yoluyla gerçekleşir.

Oksidasyon; kayaç bileşiminde yer alan minerallerin oksijenle birleşmesi sonucu meydana gelen kimyasal değişimdir. Çoğunlukla demir mineralleri içeren kayaç yüzeylerinde gerçekleşir ve oluşumunda suyun etkisi büyüktür. Örnkelere ait ince kesitlerde hematit oluşumuna rastlanmıştır.

Karbonasyon; karbondioksitin kayaç mineralleri üzerinde yol açtığı kimyasal değişimdir. Genellikle su içerisinde erimiş hali (karbonik asit) ile kayaç yapısını etkiler. Sudaki oranı sıcaklık ile ters orantılıdır. Karbonatlı çözeltilerin kimyasal yollarla çözünmesinde (karstlaşma) başlıca rolü oynar. Karbonasyon özellikle kireçtaşları ve dolomitler için önemlidir. Karbonatlı kayaçlarda çözünme olayı minerallerin çözünme katsayısına (Kspdolomit>Kspkalsit), çözücünün (yeraltı ve yüzey suları), doygunluk derecesine ve çözücünün hareket alanına (süreksizlikler ve birincil boşluk ortamlarına nüfus ederek daha da genişletirler) bağlıdır. Özellikle dolomit örneklerinin ince kesitlerinde mikro erimeler şeklinde ve kaya kütlesinde makro boyutta karstik boşluklar şeklinde bu ayrışma türü görülmektedir.

Hidroliz; kayaç yapısında suyun etkisiyle meydana gelen reaksiyon ve kimyasal değişmelerdir. Bu değişime suyun H+ ve OH iyonları ile kayaç bileşimindeki element ve iyonlar arasındaki reaksiyon neden olur. Yeryüzünde en yaygın kimyasal ayrışma sürecidir. Silikatlı kayaçların ayrışmasında başlıca etkendir. Örneğin ortoklazın hidrolizi sonucunda kil minerali olan kaolinit oluşur.

Hidratasyon ise minerallerin yapısına su moleküllerinin katılması ile meydana gelen kimyasal değişimdir ve genellikle mineral hacminde büyümeye yol açar. Örneğin hematit limonite, anhidrit jips'e dönüşür.

Çalışma alanında bulunan kireçtaşları ve dolomitlerde yukarıda belirtilen kimyasal ayrışma süreçlerinden "oksidasyon" ve "karbonasyon" görülmüştür.

4.4.2.3 Biyolojik Ayrışma

Yosun, liken vb. bitkiler, bitki kökleri, dökülen bitki yaprakları, canlı aktivitesi gibi etkenler özellikle yüzeyde ve yüzeye yakın kesimlerde biyolojik ayrışmaya neden olmaktadır. Bitki kökleri kayaların çatlaklarına girerek neden oldukları fiziksel ayrışma yanında, salgıladıkları organik asitler ve sıvılarla kimyasal yönden de kaya ortamını olumsuz yönde etkilemektedirler.

Bu çalışmada ayrışma sınıflaması önerilmek istenen kayaçların özelliklerine uygulanabilir olmasından dolayı ANON (1995) tarafından geliştirilen sınıflamadan yararlanılmıştır (Tablo 4.1 ve

4.2). Tablo 4.1'de verilen betimlemeler göz önünde bulundurularak her bir ayrışma derecesinin malzeme boyutundaki tanımlamaları yapılmıştır. Tablo 4.2'e göre ise kaya kütlesi özellikleri değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1 Uniform malzemeler için ayrışma sınıflaması (ANON, 1995)

Sınıf	Tanımlama	Tipik özellikler
I	Taze	Orjinal durum degişmemiş
II	Az ayrışmış	Az renk degişimi, az zayıflama
III	Orta derecede ayrışmış	Dikkate değer derecede zayıflamış, renk değişimi malzeme içlerine kadar gelişmiş. Büyük parçalar elle kırılamaz
IV	İleri derecede ayrışmış	Büyük parçalar elle kırılabilir. Kuru örneker suya batırıldığında kolayca dağılmaz
V	Tamamen ayrışmış	Oldukça zayıflamış Suda dağılabilen Orjinal doku anlaşılabilir
VI	Kalıntı – kalık zemin	Yerinde ayrışma ile zemin oluşmuş, orjinal doku ve yapı kaybolmuştur.

Tablo 4.2 Heterojen kütleler için ayrışma sınıflaması (ANON, 1995)

Bölge	Malzeme sınıflarının yaklaşık oranları	Tipik özellikler
1	%100 I-III arası ayrışmış (tümünün taze kaya olması gerekmemektedir).	Kaya gibi davranır; kütle değerlendirmelerinde ve dizaynında kaya mekaniği prensipleri uygulanır
2	>%90 I-III arası ayrışmış <%10 IV-VI arası ayrışmış	Süreksizlikler boyunca zayıf malzemeler. Makaslama dayanımı, sertlik ve geçirgenlik etkilenir.
3	%50-%90 I-III arası ayrışmış %10-%50 IV-VI arası ayrışmış	Kaya yapısı birbirine bağlı, dayanımı ve sertliği kontrol etmekte; matriks geçirgenliği kontrol etmektedir.
4	%30-%50 I-III arası ayrışmış %50-%70 IV-VI arası ayrışmış	Kaya yapısı sertliğe katkıda bulunur; süreksizliklerdeki matriks ve ayrışma ürünleri sertliği ve geçirgenliği kontrol etmektedir.
5	<%30 I-III arası ayrışmış %70-%100 IV-VI arası ayrışmış	Zayıf sınıflar davranışı kontrol etmektedir. Çekirdek tasları araştırma ve insaat için önemlidir.
6	%100 IV-VI arası ayrışmış (tümünün kalıntı toprak olması gerekmemektedir).	Kalıntı doku hala belirgin olsa da zemin gibi davranır.

4.4.3 Çalışma Alanında Ayrışmayı Denetleyen Başlıca Faktörler ve Kayaçların Ayrışma Süreçleri

Kayaçlara ait litolojik özellikleri, yapısal özellikleri ile yüzey suları, yeraltı suları ve karstlaşma ayrışma süreçlerinin gelişiminde en etkin rolü oynamaktadır. Bölgenin jeolojik, coğrafik ve iklim koşullarına bağlı olarak ayrışma süreçlerinin tüm faktörleri kısa mesafelerde değişiklik göstermektedir. Aynı kaya formasyonunda olsa bile (kireçtaşları ve dolomitler Ballıkaya formasyonu içerisinde yer almaktadır) kayacın mineralojisi ve dokusu, kütle yapısı (tabaka, süreksizlik vs.), topografya, erozyon oranı, yeraltı suyu durumu ve iklim gibi parametrelerin birer fonksiyonu olarak farklı ayrışma profilleri sunmaktadır. Çalışma alanında incelenen kireçtaşı ve dolomitlerin ayrışmasını denetleyen ana faktörler aşağıda sunulmuştur.

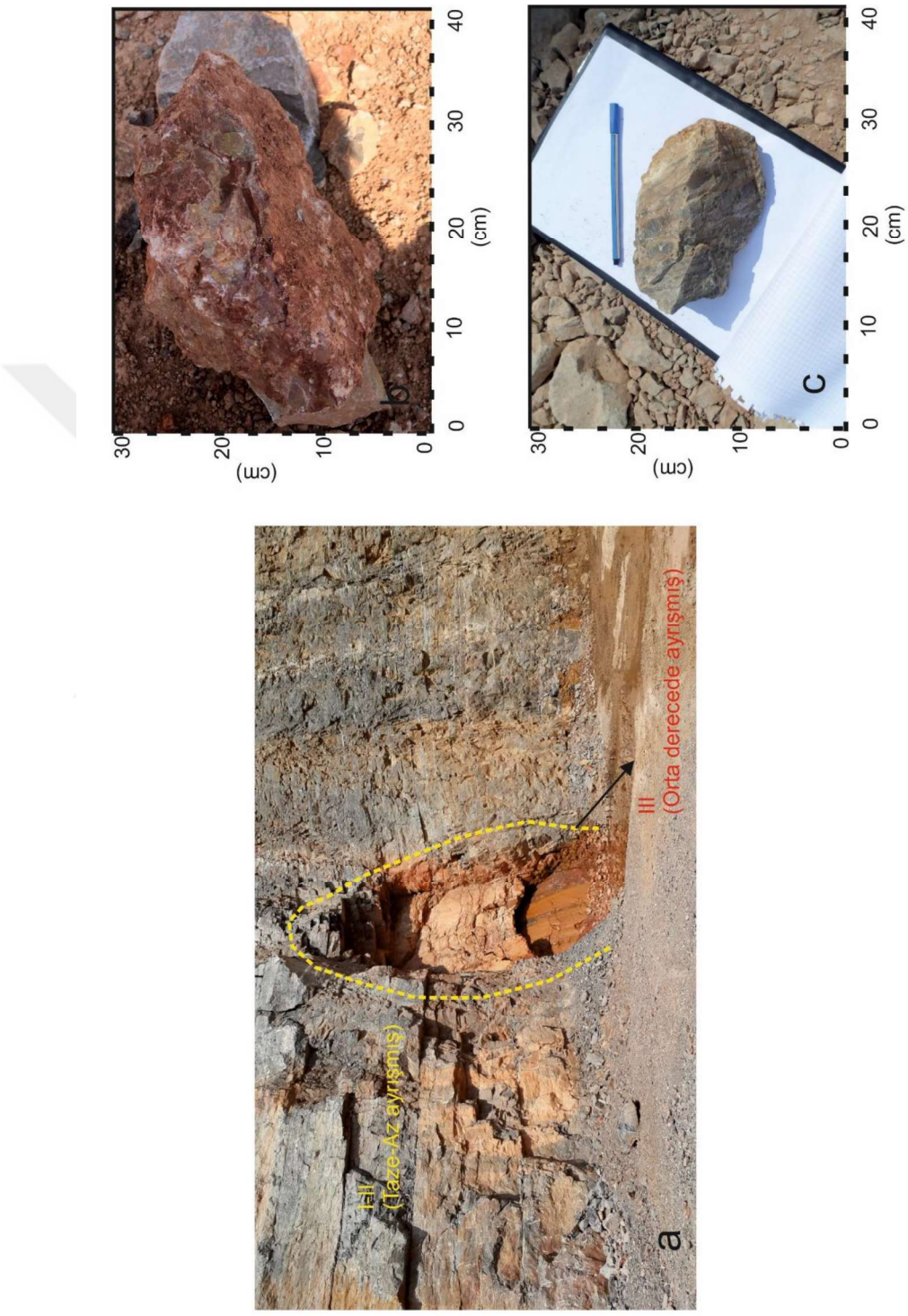
4.4.3.1 Litolojik özellikler

Bu bölümde, çalışma alanındaki kireçtaşı ve dolomitlere ait litolojik özelliklerin ayrışma ile degişimleri ayrıntılı olarak sunulmuştur.

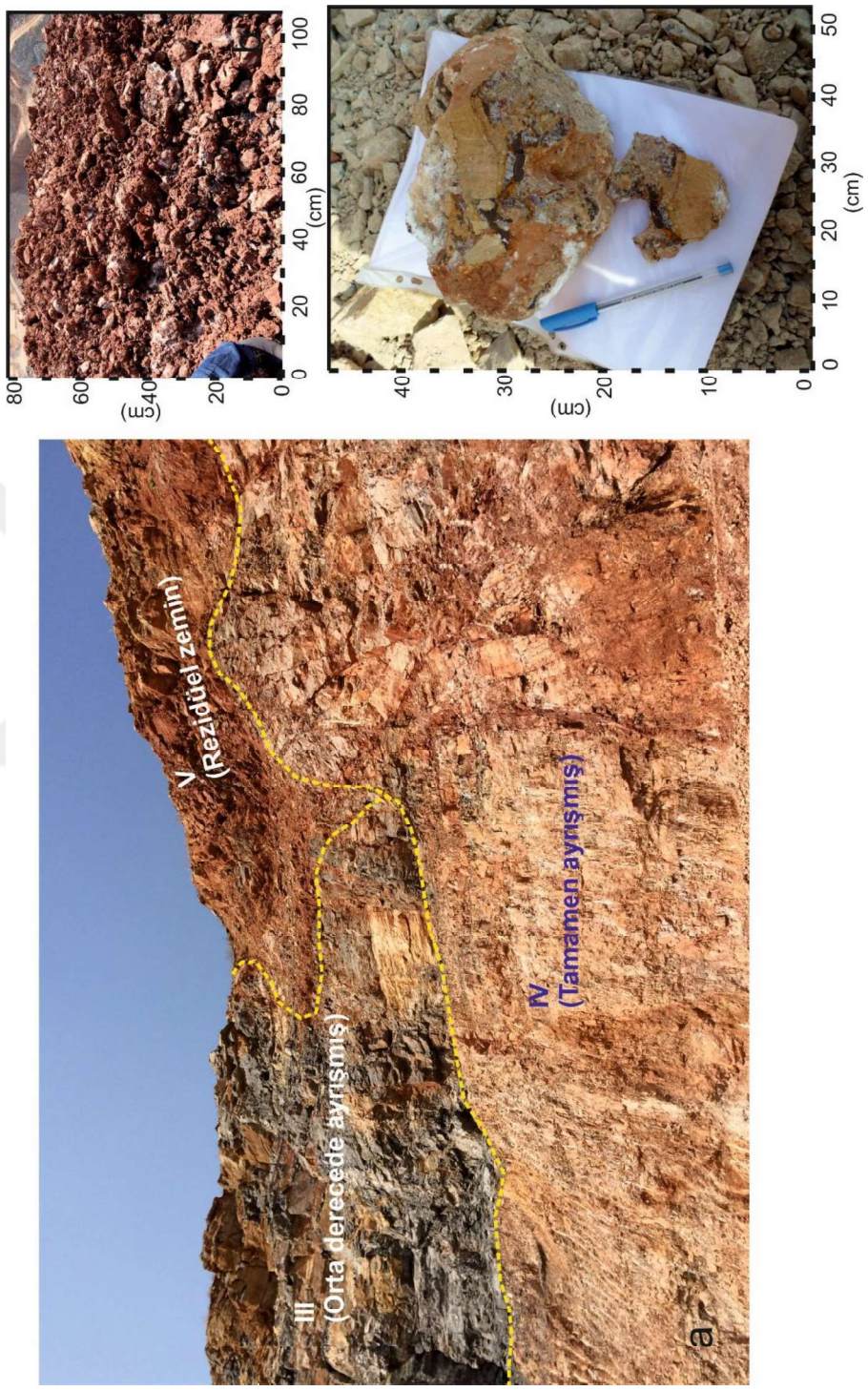
İncelenen kireçtaşları, Ballıkaya formasyonu içerisinde yer almaktadır. Arazide gri tonlarındaki renkleri ile dikkat çekmektedir (Şekil 4.10.a). Renk değişimlerinin olduğu alanların farklı ayrışma derecelerini temsil ettiği düşünülmektedir. Kireçtaşları taze yüzeyleri boyunca açık-koyu gri renklerde görünmektedir (Şekil 4.10.c). Orta derecede ayrışma sürecine gelindiğinde kayaçta ayrışma yüzeyleri farklı tonlardaki sarı ve turuncu renklerde gözlenmektedir (Şekil 4.10.b).

Taze-az ayrışmış kesimlerdeki süreksizliler kalsit damarları şeklinde iken ayrışmanın ilerleyen safhalarında özellikle süreksizlik yüzeyleri ve mikrokarstik boşluklarda birikim gösteren demir oksit ve kilce zengin ayrışma ürünlerinden ötürü kayaç kırmızı ve kahverengi tonlarında gözlenmektedir (Şekil 4.11.c). Ayrışmanın en son derecesinde kayaç tamamen parçalanarak ayrışma ürünleri olan demir oksit ve kil yönünden zengin bir zemin malzemesine dönüşmektedir (Şekil 4.11.a-Şekil 4.11.b). Kireçtaşlarında mineralojik bileşimin % 50'sinden fazlasını oluşturan kalsit mineralinin, ileri ayrışmış derecedeki kesimlere kadar gözle ayırt edilmesi mümkündür.

Kireçtaşı profilindeki kireçtaşlarının tabaka kalınlıklarının tabanda ince-orta kalınlıkta iken, üstlere doğru çıkıldıkça kalın-çok kalın olduğu görülmüştür (Şekil 4.11.a).



Şekil 4.10 a) Taze (I) - az ayrışmış (II) ve orta derecede ayrışmış (III) kireçtaşlarının kaya kütlesi görünümü b) orta derecede ayrışmış kireçtaşında demir oksit gelişimi c) taze kireçtaşı kaya malzemesi görünümü

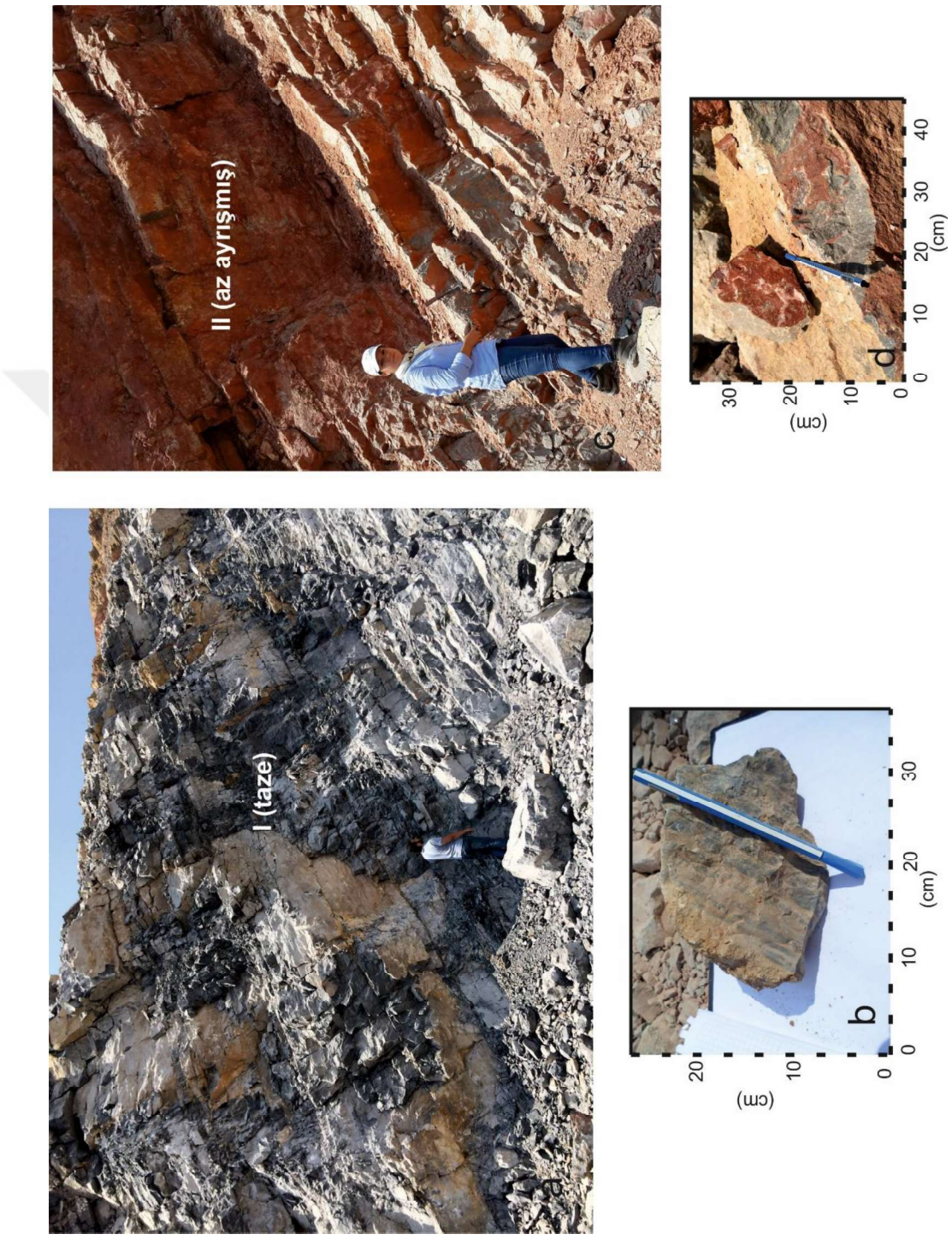


Şekil 4.11 a) Orta derecede ayrışmış (III), tamamen ayrışmış (IV) ve rezidüel zemin (V) kireçtaşlarının kaya kütlesi ve zemin malzemesi görünümü b) rezidüel zemin kireçtaşında ayrışma ürünlerinden (kil, demir oksit vd.) oluşan zemin malzemesi c) tamamen ayrışmış kireçtaşı kaya malzemesi görünümü

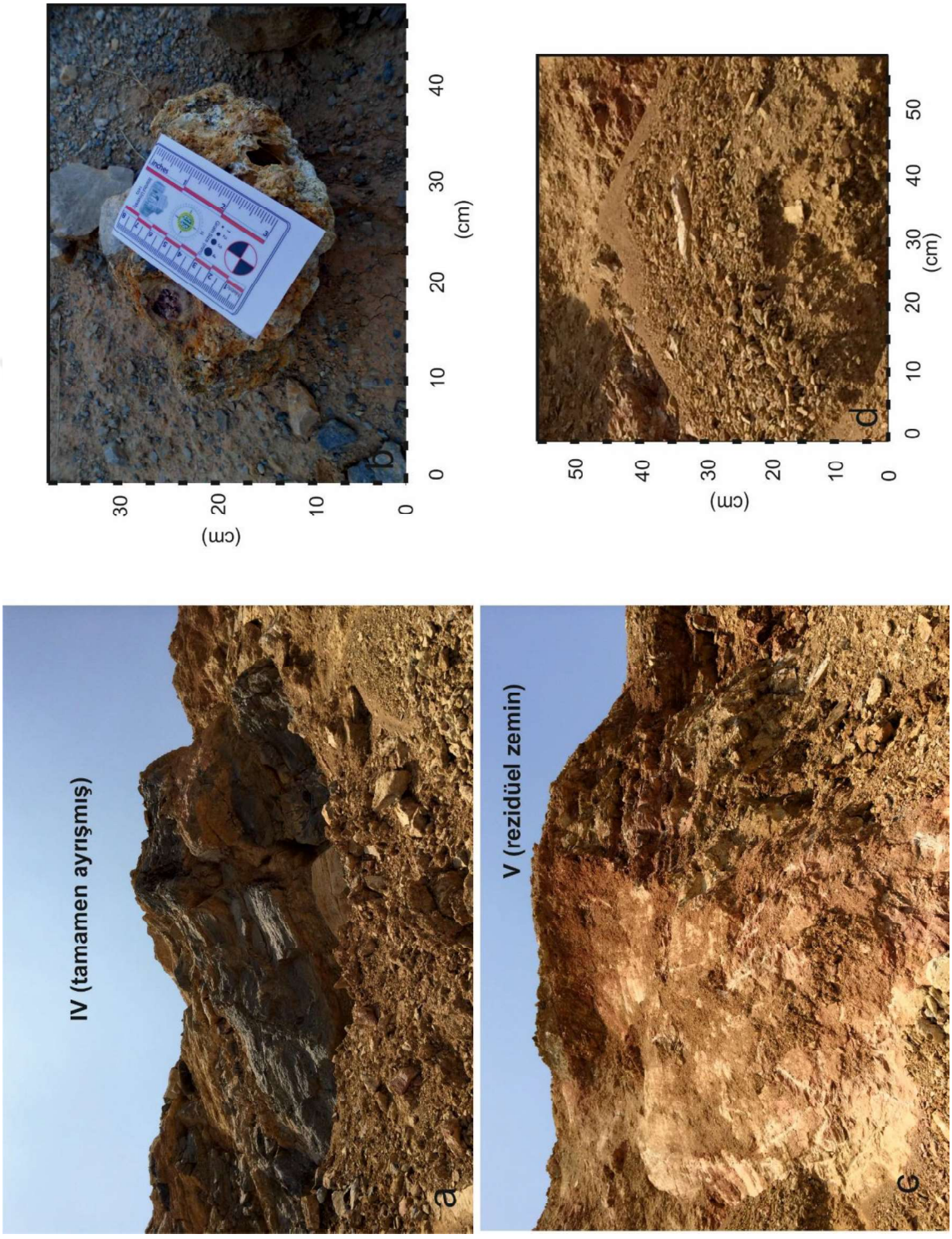
İncelenen dolomitler de Ballıkaya formasyonu içerisinde yer almaktadır. Profil genel olarak gri, koyu gri, mavimsi ve siyahımsı renkli, kireçtaşı, dolomit, yer yer dolomitik kireçtaşından meydana gelmiştir (Şekil 4.12.a). Profilin alt kotlarında oldukça belirgin tabakalı kaya kütesi yapısı mevcut iken (Şekil 4.12.a, Şekil 4.12.c) daha üst kotlara çıkıldıkça renk değişimlerinin siyahımsı-griden kahverengimsi-kırmızımsı renklere dönüştüğü ve tabaka bütünlüğünün korunmadığı görülmüştür (Şekil 4.13). Profilin üst kotlarında kaya bloklarının ayrışma ürünü olan kil çamuru ve demir oksitçe zengin zemin malzemesi (Şekil 4.13.c, Şekil 4.13.d) içerisine gömülü olduğu bloklu yapıların hakim olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.13.a). Büyük ölçüde kireçtaşındaki çözünmeyen (silikat) minerallerinden oluşan ve karstlaşma sonucu biriken kızıl-kızıl kahverenkli bu ince malzemenin yüzeye yakın kesimlerde tutturulmamış, daha derin kesimlerde ise daha sıkılaşmış olduğu gözlenmiştir.

Dolomitlerin taze-az ayrışmış kesimleri oldukça sert ve dayanıklı olup, kırılma yüzeyinde konkoidal (deniz kabuğu şekilli) kırılma dominant olup yumrulu (silis-çört) yapılar hakimdir (Şekil 4.12.b). Bu sınıfa ait kaya malzemesinde dolgulu (kil ve demiroksit) mikro ve makro süreksizlikler mevcuttur (Şekil 4.12.d).

Dolomit Profilini Kireçtaşı Profilinden ayıran en belirgin ayrışma yapısı karstlaşmadır. İnceleme alanında dolomitlerin içerisinde yukarıdan derinlere doğru gelişen ve yağış sularının etkisiyle gelişen “meteorik (normal) karstlaşma” ile oluşmuş mikro boyuttan makro boyuta kadar farklı büyüklüklerde karstik erime yapıları bulunmaktadır. Arazi gözlemlerinde sıkça rastalınan bu özellik dolomitler için oldukça karakteristik bir oluşum olup dolomitleşme olayının bu yapıların oluşumunda büyük rol oynadığı düşünülmektedir. Kaya malzemesindeki dolomitleşmeye bağlı karstlaşma, tektonizmanın ve diyajenezin belirginleştiği fayların bulunduğu alanlar ve fay zonlarından alınan el örnekleri üzerinde de görülmüştür (Şekil 4.4.b). Bu alanlarda ayrışmanın ilerlediği evreler açıkça görülmektedir. Fay zonları boyunca kireçtaşlarında dolomitleşmenin arttığı, fay zonlarından uzaklaştıkça azaldığı gözlemlenmektedir (Gözübol ve Aysal, 2008).



Şekil 4.12 a) Taze (I) - az ayrışmış (II) dolomitlerin kaya kütlesi görünümü b) taze-az ayrışmış kaya malzemesi (tabakalı çörtlü yapı) c) orta derecede aytışmış dolomit kaya kütlesi ve tabakalarda demir oksitlenmeden kaynaklı kırmızı renkli görünüm d) kaya malzemesi içerisindeki süreksizlik yüzeylerinde meydana gelen demir oksitlenmeler



Şekil 4.13 a) Tamamen ayrışmış (IV) ve rezidüel zemin (V) seviye dolomit kaya kütlesi görünümü b) ileri derecede ayrışmış kaya malzemesi c-d) rezidüel zemin seviyeye ait zemin malzemesi

4.4.3.3 Yapısal özellikler

Çalışma alanı olan Gebze taş ocaklarının içinde bulunduğu Hereke civarında geçmişten günümüze bölgenin jeolojik evrimini oluşturan çeşitli tektonik etkiler ve orojenez süreçlerinin etkisiyle kıvrımlar (kireçtaşları içinde geliştiği için litoloji etkisiyle paralel tipte gelişmiş), horst-graben oluşumları ve diskordans oluşumu gibi yapılar meydana gelmiştir.

Çalışma alanındaki yoğun süreksizlik sisteminin varlığı, orojenez süreçlerinin ve bölgesel tektonizmanın göstergesidir. Tektonik etkilerle gelişen süreksizlikler, kireçtaşı ve dolomit kütleleri üzerinde yer yer düzenli ve sistematik çatlak takımlarını meydana getirmişlerdir. Arazide bu süreksizlik takımlarını tabakalanmaya paralel ve dik yönlerde görmekteyiz (Şekil 4.14). Ayrıca hem kireçtaşı hem de dolomit profillerinin yer aldığı taş ocaklarında farklı doğrultu ve eğimlere sahip, ocak tabanına kadar devamlılıkları olan çok miktarda fay gözlenmiştir (Şekil 4.14).

Tektonizma, orojenez vb. etkisiyle gelişen makaslama zonları, ezik zonlar, farklı takım süreksizlik oluşumu, bloklu yapıların oluşumu vb. yapılar, ufalanma-parçalanma, dane boyu küçülmesi, yüzey artışına neden olarak fiziksel ayrışma süreçlerini hızlandırmaktadır (Şekil 4.15).

Fiziksel ayrışma süreçleri sonucunda gelişen zayıflık zonları kireçtaşları ve dolomitlerin su ile temasında bir araç olarak kimyasal ayrışma süreçlerini hızlanmasında etkin rol oynamaktadır. Ve bu süreçler sonunda genellikle orta derecede ayrışma seviyesinde görülen karstik boşluk yapıları oluşmaktadır.

Bloklu yapıların gözlendiği ileri derecede ayrışmış seviyelerde ise blokları sınırlayan süreksizlik açıklıklarının arttığı ve dolgu malzemesi (ayrışma ürünü) dolu olduğu gözlemlenmiştir. Fay aynalarının tamamen demir oksit sıvama ile kaplı olduğu ve ezik zonlardaki zemin malzemesinin tamamen ayrışma ürünlerinden oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.14 Çalışma alanında gözlemlenen normal fay görüntüsü



Şekil 4.15 Arazideki tektonik etkiler sonucu oluşmuş fay, kıvrım ile ezik zonlar ve ayrışmanın bu alanlardaki gelişimi

4.4.3.4 Yüzey ve Yeraltı suları

Çalışma alanına ait yağış özellikleri sıcaklık verilerini de içine alacak şekilde Bölüm 1.2'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Elde edilen verilere göre, Nisan ve Eylül ayları arasındaki az yağışlı ve kurak dönem dışındaki dönemler yağışlı geçmektedir. Bu yağışlar havadaki karbondioksit ile de birleşerek zayıf asit olan karbonik asitin meydana gelmesine olanak sağlayarak kireçtaşları ve dolomitlerin kimyasal ayrışmalarında rol oynamaktadır. Çözünme süreçlerinin hızlanmasında oldukça önemli olan yağışlar ilk olarak yüzey sularını oluşturarak sonraki aşamada yeraltına süzülerek yeraltı suyu dolaşımına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca bu kimyasal ayrışma sürecinin yanı sıra süreksizliklere suyun dolması ve buralarda donması ile basınç etkisi ile açılmalara parçalanmalara neden olarak fiziksel ayrışmaya da hızlandımaktadır. Süreksizlik açıklıklarının oluşumundan sonra buralarda ayrışma ürünlerinin de taşınımında ve birikiminde yeraltı suları etkilidir. Su karbonatlı kayaçlarda kimyasal ayrışmayı denetleyen en önemli faktördür.

İncelenen kireçtaşı ve dolomitlerin bünyelerine su almaları ile oluşan kimyasal tepkimeler ve gelişen mineraller incelenen kayaçların litolojik ve petrografik özellikleri Bölüm 4.3.3.1 ve 4.3.3.2'de sunulmuştur.

Olağan yeraltı sularının kökeni yağış sularıdır. Yağış sularının bir kısmı yeraltına süzülerek akifere ulaşır. Ancak bu süzülme sırasında ve akiferde, geçtiği kayaçları kısmen çözündürerek yeni bir kimyasal kompozisyon kazanır. Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayaların kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltısuyunun akım hızına, sıcaklığa, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine bağlı olarak değişir. Yeraltı sularının kimyasal analizleri bu suların kullanım alanlarını ve kullanılabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşır. Buharlaşma, yoğunlaşma, süzülerek toplanma ve zemine sızma gibi sonsuz bir döngü hidrolojik çevrim sırasında, su pek çok değişikliğe uğramaktadır. Kireçtaşı ve beraberindeki tuzların çözünmesi, kayanın yapısal ve tektonik durumuna bağlıdır. Genellikle kireçtaşları çok az NaCl ve $CaSO_4$ tuzları içerirler. Bu nedenle kireçtaşlarından gelen sular karbonatça zengin Cl ve SO_4 iyonlarınca zengindir (Çağatay ve diğ,1993). Yeraltı sularında mevsim, yağış ve başka etmenler sebebiyle, yıl içinde değişiklikler gözlenir. Yeraltı suları sıcaklığa, basınca, dokanak yüzeyi ile süresine, su hacmine, verdikleri gazlara, ortamın pH'ına ve diğer maddelerin çözünme oranına bağlı olarak, geçtikleri kayaların minerallerini kimyasal bozunuma uğratarak iyonlarca zenginleşirler. Sıcaklık, suda çözünürlüğü genellikle

arttırır. Ancak gazların suda çözünürlükleri sıcaklıkla ters orantılıdır. $CaCO_3$ dışındaki hemen hemen tüm tuzlar, suda sıcaklıkla çözünürlükleri artar. Yeraltı suları CaCO3'ca doygundur. Eğer herhangi bir su $CaCO_3$'ca olağan doygunlukla veya buna yakın ise (300-400 mg/1) bikarbonatlı sular sınıfına girer. Ayrıca, doğada en çok bulunan Si, Al, Fe, Mn gibi elementler suda az çözünürler (Şahinci, 1991). Bu elementlerin çözünürlüğünü kontrol eden faktörler vardır. Bunların çözünürlüğüne etki eden en önemli iki faktör; kimyasal ayrışmaya gösterdikleri direnç ve iyon yapma özelliklerinin az olmasıdır. Suyun etkisiyle oluşacak kimyasal ayrışmaya karşı kayalarda, minerallerden minerallere değişiklik görülmektedir. Kısacası yüksek sıcaklıkta oluşan mineraller bozunmaya daha yatkın iken, en son oluşanlar bozunmaya karşı dirençlidir. Bölgede karbonatlı kayalar yoğun olduğundan sertlik yüksek seviyelerdedir. Yapılan analizlerde Gebze-Çayırova Havzası'ndaki su örneği hiperkarbonatlı sular, diğer su örnekleri ise normal karbonatlı sular sınıfındadır. Gebze-Dil Deresi Havzası'ndaki su örneği hiperkarbonatlı sular, diğer su örnekleri ise normal karbonatlı sular sınıfındadır. Kaynak sularının tümü normal karbonatlı sular sınıfındadır. (Özler ve Karaman, 2011).

Fay zonlarında bulunan çözünmüş gazlar (CO_2, HS) pH'ı düşürmektedir. Düşük pH'lı sular asidik özellikten dolayı korrozif, aşındırıcı özelliktedir. Bölgedeki fay zonlarında gelişen kimyasal ayrışmanın sebeplerinden birisi de budur. İnceleme alanının yer aldığı Ballıkaya formasyonu üzerinde toplamda 13 adet kaynak bulunmaktadır. Bu kaynakların ortalama sıcaklığı 15 ^{0}C, pH'ı 7,1 civarındadır. (Özler ve Karaman, 2011). Su kimyası araştırmalarında yapılan analiz sonuçlarına göre; sahadaki kaynak ve kuyu suları tipik kireçtaşı suyu özelliği göstermektedirler ve yüzeyden beslenmektedirler. Böylece yüzeyden farklı derinliklere kadar ulaşabilen su akışı sayesinde bu alanlarda kimyasal ayrışma gelişim göstermektedir. Kireçtaşı, haznede çok uzun süre kalmadan hazneyi terk eden suları karakterize etmektedir (Özler ve Vanlıoğlu, 2011).

4.4.3.5 Karstlaşma

İnceleme alanında resifal kireçtaşları içeren Ballıkaya formasyonu (Tb) karstik birim olarak tanımlanmıştır. Bölgedeki su kaynakları bu akiferden çıkmaktadır. Tarifler göz önüne alındığında sahadaki karstlaşma tipinin geçişli karst (Transitional Karst) tipine uyum sağladığı görülmüştür. Bu tip karst daha az eriyebilir geçirimsiz sedimanlar tarafından ayrılmış kireçtaşlarında bulunur ve bu kireçtaşlarında yeraltı karst şekilleri iyi gelişmiştir. Diğer taraftan gri renkli karstik kireçtaşları (Ballıkaya formasyonu) ise genelde yumrulu kireçtaşlarıyla bazen

de diğer geçirimsiz birimlerle çevrelenmiş homojen karbonatlardır. Gerek yüzey karstı, gerekse yeraltı karst şekilleri sadece bu karstik kireçtaşlarında iyi gelişmiş ve bağlantılı karst yolları oluşmuştur. Ancak bu kireçtaşlarında da etkin karstlaşma derinliği birkaç lokal yer hariç olmak üzere bunları kesen mevcut vadi kotlarının altına erişememiştir. Boşalımların tümü karst kaynakları ve bazen de alüvyona sızma şeklinde vadilere doğru olmaktadır.

Bölgedeki karst porozitesi ayrışma derecelerinin birbirinden ayrılmasında önemli parametrelerdendir. Primer porozite karbonatlı sedimanların çökelmesi ile aynı zamanda oluşur. Sekonder poroziteye gelince bu porozite karst havzalarında diğer poroziteye nazaran çok daha belirgindir ve eklemler, mağaralar, karst kanalları, kil, kum, çakıl gibi mağara sedimanlarından ibarettir. Sahadaki karstik kireçtaşlarının bulunduğu Ballıkaya formasyonu önceki araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Karstlaşma, çözünme-erime, ayrışma ürünlerinin çökelimi gibi süreçlerde etkin rol oynamaktadır. Sekonder porozite ile oluşan eklem, çatlak vb. süreksizliklerin kayadaki zayıflık zonlarının erime ile iyi geliştiği yerel zonlar vardır. Oluşmuş olan karst boşlukları, çok sert içinde yer yer blok boyutunda çakılların da bulunduğu kırmızı kille dolguludurlar. Ancak bu kısımda tüm kaya kütlesi göz önüne alındığında kireçtaşlarının yaygın mağara sistemleri karst kanalları gibi uzun mesafede boşluk porozitesi içermediği de söylenebilir. Bir değer önemli konu da karstik kireçtaşlarında erimenin dolayısıyla karst yollarının özellikle yumrulu kireçtaşları ile olan dokanak düzleminde gelişmesidir. Porozitenin ortalama % 1 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Ballıkaya formasyonu; dolinler, dolin alanları (polye), mağaralar gibi jeomorfolojik özellikleri yaygın şekilde içermektedir.

Bir karst akiferinde yeraltı suyu yolları aracılığı ile olan su hareketi aşağıdaki akım tiplerine ayrılabilir:

- Süzülme sızması (daha çok üst akifer zonlarında görülür)
- Basınçlı akım (hidrolik sistemin basınç altında olması)
- Serbest yüzlü akım
- Karışık akım (kısmen basınç altında kısmen serbest yüzlü akımı)

Bölgedeki karbonatlı kayalardan sadece gri renkli kireçtaşlarında (Ballıkaya formasyonu) yukarıda verilen akım tiplerinden hemen hemen hepsini görmek mümkündür.

4.4.4 Ayrışmanın İncelenen Kayaçlara Etkileri

4.4.4.1 Ayrışmanın süreksizlik özelliklerine etkisi

İncelenen kireçtaşı ve dolomitlerde arazi gözlemlerine dayanarak tespit edilen ayrışmayı denetleyen en önemli faktörlerden biri de süreksizliklerin mühendislik özellikleridir. Kireçtaşı ve dolomit profillerinde taze-az ayrışmıştan, ileri derecede ayrışmış dereceye kadar belirlenmiş alanlarda ISRM (2007)'nin önerdiği yönteme göre yapılan hat etüdü ile çalışma sahasındaki kireçtaşları ve dolomitlere ait süreksizlik özelliklerinde ayrışmaya bağlı olarak meydana gelen değişimler ayrıntılı olarak ortaya konmuştur (Tablo 4.3 ve 4.4).

Tablo 4.3 Kireçtaşlarına ait süreksizliklerin özellikleri

Kireçtaşı	Çatlak ara uzaklığı (cm)	Açıklık (cm)	Dolgunun türü	Pürüzlülük
IV	< 5	> 2	Demiroksit ve kil	Pürüzlü
III	5-20	0.5-2	Kil	Az pürüzlü
I-II	> 30	0.1-0.5	Açık-Kalsit	Düz

Tablo 4.4 Dolomitlere ait süreksizliklerin özellikleri

Dolomit	Çatlak ara uzaklığı (cm)	Açıklık (cm)	Dolgunun türü	Pürüzlülük
IV	< 10	> 5	Demiroksit ve kil	Pürüzlü
III	10-50	1-5	Demiroksit ve kil	Az pürüzlü
I-II	> 50	< 0.5	Açık-kalsit-dolomit	Düz

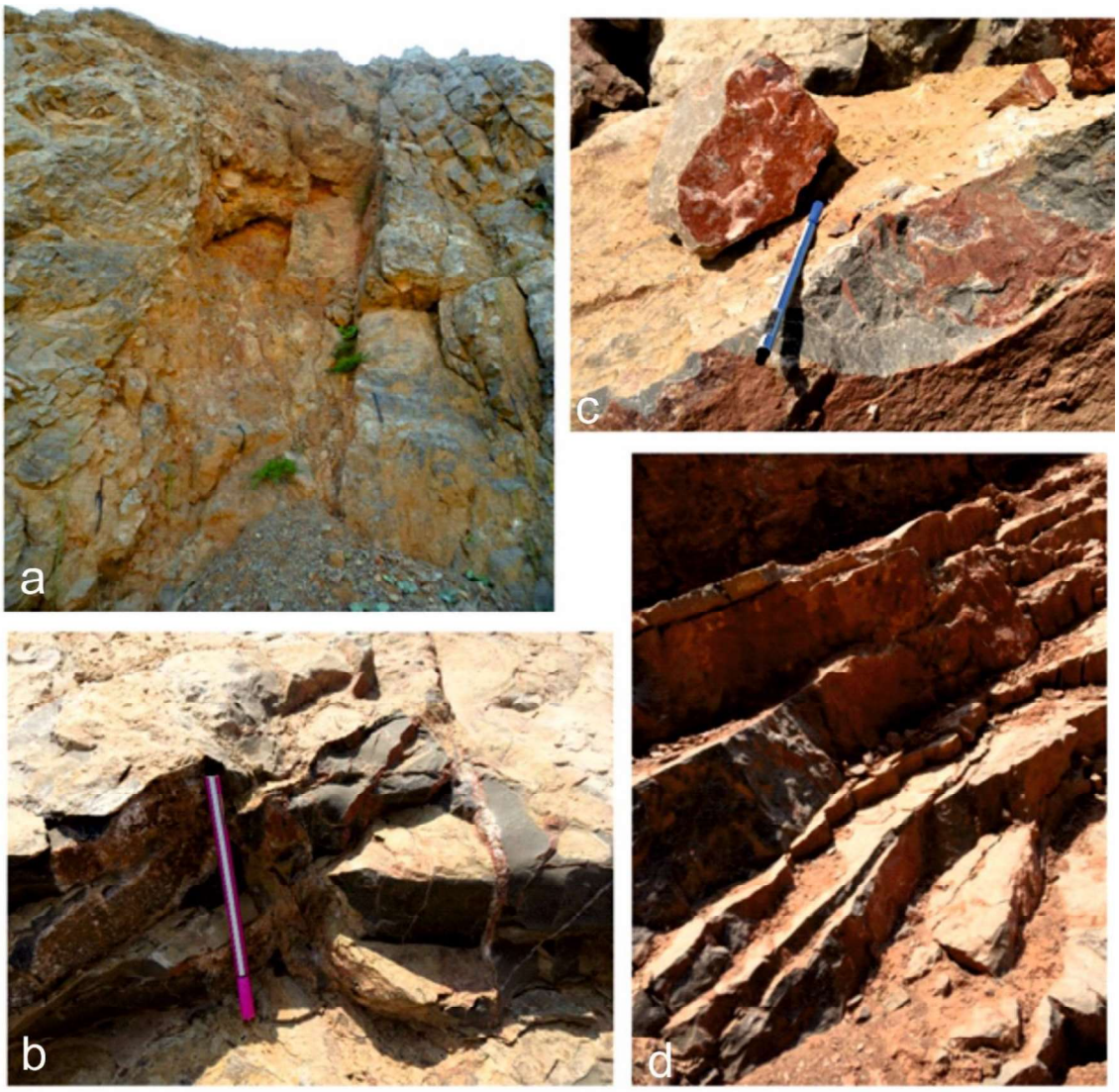
Süreksizlik ölçümleri her iki kayaç türünde de tamamen ayrışmış seviyelere kadar yapılmış olup, rezidüel zemin seviyesinde kaya kütlesi yapısı yerini kaya malzemesine bıraktığı için ölçümler yapılamamıştır.

Çatlak ara uzaklık değerleri incelendiğinde, dolomitlerin çatlak ara uzaklık değerlerinin kireçtaşlarına göre daha fazla olması kireçtaşlarının ana tektonik unsurlardan daha fazla etkilenmesinin bir göstergesidir.

Kireçtaşı ve dolomitlerin taze ve az ayrışmış seviyelerinde, çatlak açıklıkları < 0.5 cm değerlerindedir. Orta derecede ve tamamen ayrışmış seviyelere bakıldığında dolomitlerin çatlak açıklıklarının kireçtaşlarına kıyasla daha hızlı arttığı görülmüştür. Bu durum dolomitlerin atmosferik koşulların etkisi altında hızlı bir erime-çözünme türü kimyasal ayrışma sürecinin

gelişmesi ile açıklanabilir. Ayrıca kalsit ve dolomit minerallerinin çözünme katsayıları olan Ksp değerleri (Kspdolomit: 17.09 > Kspkalsit: 8.48) karşılaştırıldığında da dolomitlerin çözünmeye daha meyilli oldukları belirlenmiştir.

Kireçtaşı ve dolomit kayaçlarının farklı tür kimyasal ve mineralojik içeriğe sahip olmaları nedeniyle süreksizlik açıklıklarında oluşan dolgu türlerinde de değişimler meydana gelmektedir. Süreksizlik yüzeylerine suların etki etmesiyle ilk aşamada boşluk formunda olan bu alanlar sonraki süreçte ayrışma ürünleri ile dolmuştur (Şekil 4.16 a). Örneğin, kireçtaşlarının taze ve az ayrışmış seviyelerinde çatlak dolguları genellikle kalsit olup, dolomitlerde yer yer dolomit dolgular da görülmektedir. Kireçtaşlarında orta derecede ve ileri derecede ayrışmış seviyelerdeki dolgu türünde nakrit türü killer görülürken, dolomitlerde bu ayrışma seviyelerinde illit ve montmorillonit türü killer görülmektedir. Ayrıca demir oksitlenmeye bağlı olarak kireçtaşı ve dolomitlerin az ayrışmış, orta derecede ve tamamen ayrışmış seviyelerinde kil türü dolgulara ilaveten magnezyum ferrit ve ferroan dolomit gibi demir oksit türleri de süreksizlik dolgularında gözlenmiştir (Şekil 4.16 b - Şekil 4.16 d). Kil dolgular açık-koyu kahve tonlarında görülürken demir oksit türü dolgular ise kırmızı tonlarda görülmektedir (Şekil 4.16 b - Şekil 4.16 c).



Şekil 4.16 Çalışma alanındaki farklı süreksizlik takımları ve bu alanlarda meydana gelen ayrışmalar

4.4.4.2 Ayrışma ile petrografik özelliklerdeki değişimler

İncelenen kireçtaşı ve dolomitlere ait farklı derecede ayrışma seviyelerini temsil eden örnekler üzerinde hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskobu ile incelenerek petrografik çalışmalar yürütülmüştür. Öncelikle çalışma alanındaki kayaçları tanımlamada ve sınıflamada kullanılan özellikleri incelenmiştir. İnceleme sahasındaki kayaçların içerdikleri kalsit ve dolomit miktarları göz önünde bulundurularak yapılan tanımlamalara göre genellikle kireçtaşı ve dolomit yer yer de dolomitli kireçtaşı ve kalsitli kireçtaşı oldukları görülmüştür (Şekil 4.6).

Kireçtaşı

Ayrışma yoğunluğu açısından bakıldığında; mikritik çamurdan oluşan ve herhangi bir allokem içermeyen kireçtaşları ve oldukça iri kalsit tanelerine sahip neredeyse mermerleşmiş rekristalize kireçtaşlarında stilolit oluşumu, mikroçatlak, killeşme, demir oksitleşme, mikro boşluk (mikrokarst) oluşumu gibi ayrışma belirteçlerine rastlanmazken, sparitik çimento ve çeşitli allokemleri içeren kireçtaşlarının ayrışmaya daha yatkın olduğu gözlemlenmiştir. Burada allokemlerin ve spar kalsit çimentonun kayacı zayıflatan etken üyeler olduğu tespit edilmiş olup, ayrışma süreçlerinin genellikler bu üyeler ve sınırlarında gerçekleştirkleri gözlemlenmiştir. Özellikle ayrışmış örneklerde Jel dokusuna (akma yapısı) rastlanmıştır. Kireçtaşlarına ait ince kesitlerde ayrışmanın artışıyla birlikte görülen en tipik oluşumlardan birisi de çatlak oluşumlarıdır. Bunun nedeninin kalsit ve dolomite ait termal genleşme katsayılarındaki farktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kalsitin genleşme katsayısı 4.3 iken dolomitin 1.9'dur (Shushakova et. al., 2012). Bununla birlikte kalsitin mikroçatlak oluşum başlangıç ısısı 14 ^{0}C iken dolomitte 19 ^{0}C'ye kadar mikroçatlak oluşumu gözlenmemektedir. Dolaysıyla ısı karşısındaki davranışları karşılaştırıldığında kireçtaşlarına ait ince kesitlerde görülen mikroçatlak oluşumlarının karakteristik olmasının bu nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle mikritik kireçtaşlarında mikroçatlak oluşumuna rastlanmamasının sebebi de tane boyutu küçüldükçe mikroçatlak oluşumunda azalma görülmesidir (Shushakova et. al., 2012).

Taze kireçtaşından ileri derecede ayrışmış kireçtaşına kadar tüm ayrışma derecelerindeki (tamamen ayrışmış hariç) örneklerden ince kesitler hazırlanmış ve polarizan mikroskopta ayrıntılı olarak incelenmiştir.

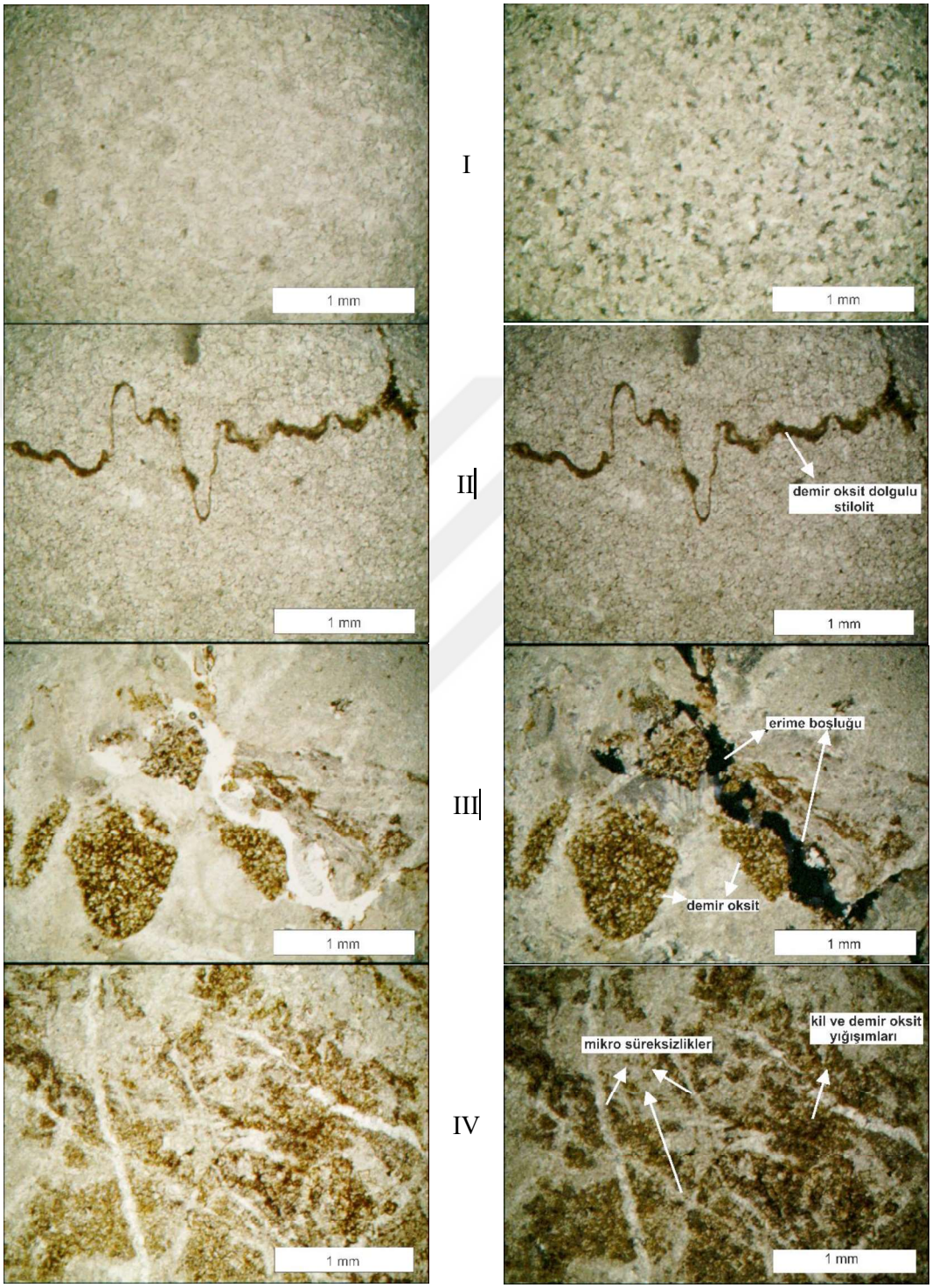
Öncelikle kireçtaşlarının hangi türde olduğunu belirlemek için Folk (1959 ve 1962) sınıflamasında belirtilen parametrelerden çimento türlerine bakıldığında örneklerin mikritik

çamur ve çoğunlukla da sparitik çimentodan meydana geldiği görülmüştür. Bunlar dışında incelenen kireçtaşlarında rekristalize ve dolomitik kireçtaşlarının da varlığı tespit edilmiştir. Folk sınıflamasında göre belirlenen kireçtaşı türünün adlandırılmasında incelenmesi gereken diğer parametre olan allokem türleri de ayrıntılı olarak incelenmiş ve çimento türü eşliğinde belirlenen allokem türleri sayesinde inceleme alanındaki örneklerin hangi tür kireçtaşı olduğu tanımlanmaya çalışılmıştır. Allokem türleri incelendiğinde, intraklast-ekstraklast parçaları, kavkı parçaları, fosiller ve oolitlerin varlığı gözlemlenmiştir. Ayrışma bulgularının incelendiği noktada, kayacın çimento türü ve allokem içerip içermediğinin önemi açıkça görülmüştür. Buna göre petrografik olarak iç yapıda meydana gelen ayrışma süreçlerinde mikroçatlak oluşumu, erime boşluklarının oluşumu, demir oksit, opak mineral varlığı ve killeşmenin belli başlı ayrışma parametreleri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sparitik çimentolanmanın olduğu ve allokemce zengin kireçtaşlarında ayrışmanın daha fazla belirginleştiği görülmüştür.

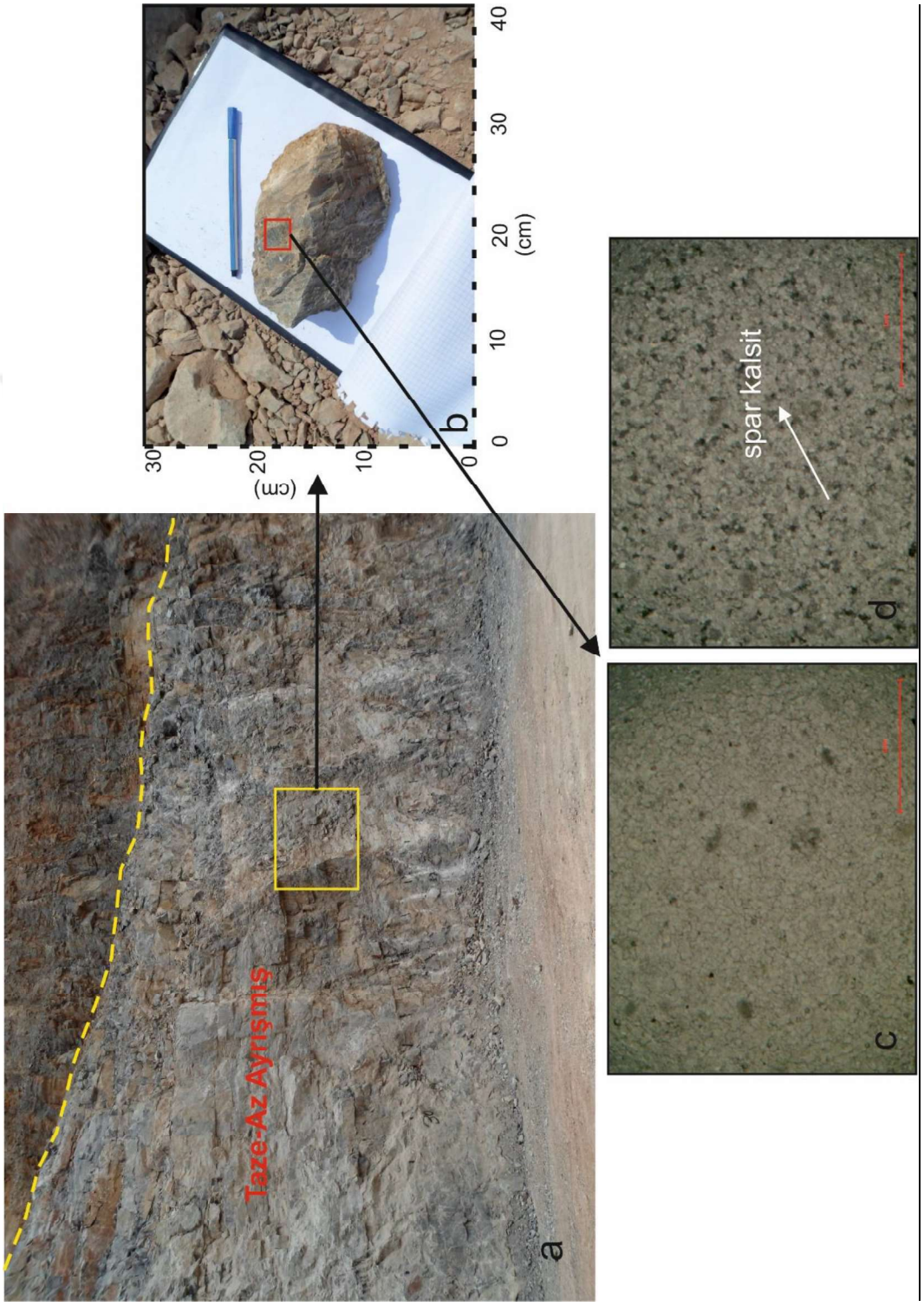
Farklı ayrışma seviyelerine ait ince kesit örneklerinin ayrıntılı petrografik incelemelerinden elde edilen veriler Tablo 4.5'de sunulmuştur. Şekil 4.17'de sırasıyla taze, az ayrışmış, orta derecede ayrışmış ve tamamen ayrışmış seviyelerden alınan örneklere ait polarizan mikroskop görüntüleri sunulmuştur. Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de ise, sırasıyla taze, az ayrışmış, orta derecede ayrışmış ve tamamen ayrışmış seviyelere ait arazi, el örneği, polarizan mikroskop tek nikol ve çift nikol görüntüleri verilmiştir.

Tablo 4.5 Farklı derecelerde ayrışmış kireçtaşlarına ait petrografik özellikler

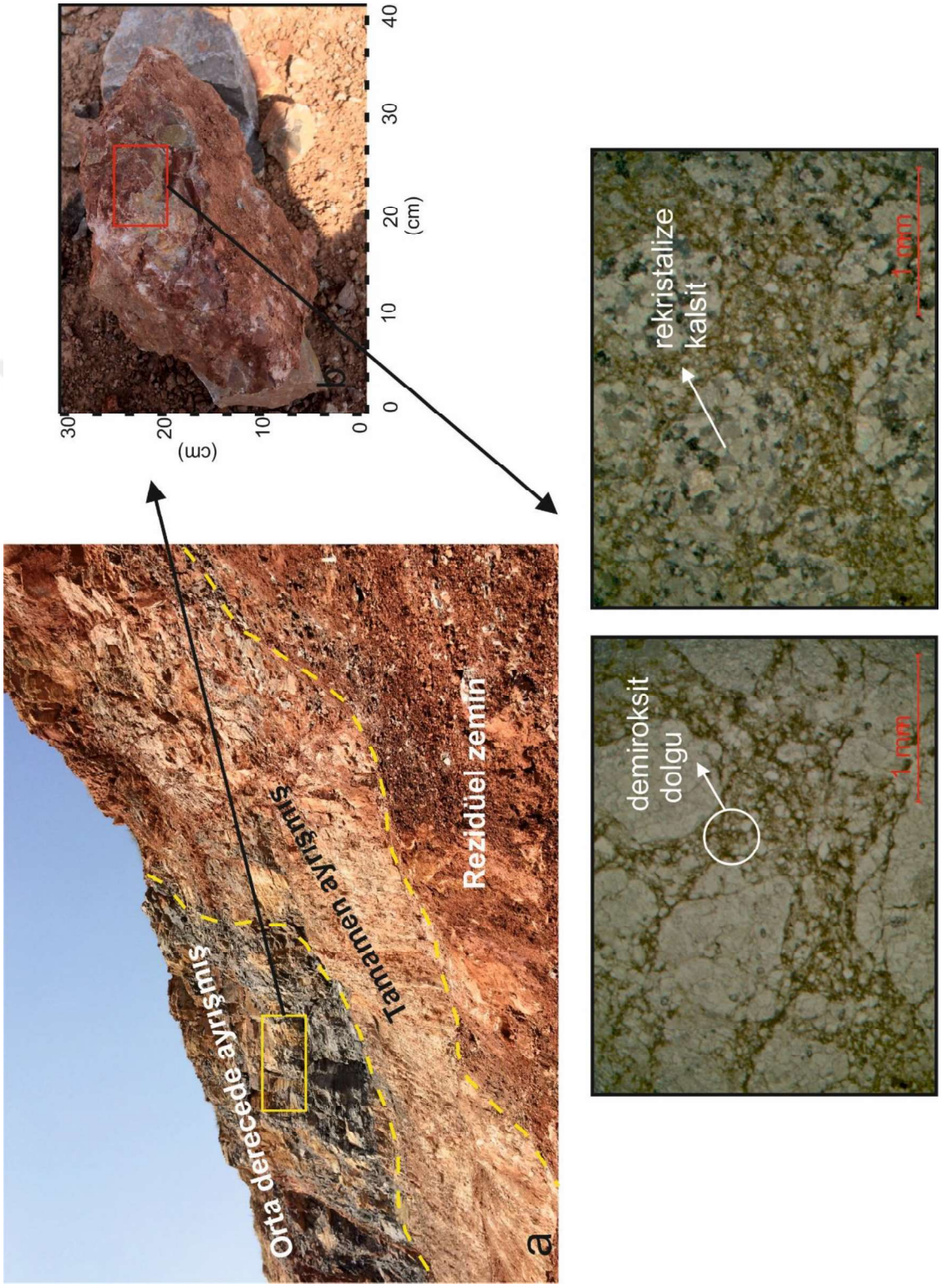
Kireçtaşı	I	II	III	IV
Petrografik tanımlama	Mikrosparitik kireçtaşı	Sparitik kireçtaşı	Ayrışmış sparitik kireçtaşı	Ayrışmış sparitik kireçtaşı
Bileşim	Kalsit	Kalsit	Kalsit, kuvars	Kalsit, kuvars, montmorillonit, magnezyum ferrit
Doku	mikrosparitik çimentolu kireçtaşı	Sparkalsit çimentolu	Sparitik çimentolu kireçtaşı, fosilli, oolitik, intra-extraklastik kireçtaşı (bünyesinde farklı türde allokem barındıran), yarı mozayik dokulu dolomitik kireçtaşı	Sparitik çimentolu kireçtaşı, fosilli, oolitik, intra-extraklastik kireçtaşı (bünyesinde farklı türde allokem barındıran), yarı mozayik dokulu dolomitik kireçtaşı
Ayrışma türleri	Yok	Kılcal stilolit oluşumu, hafif killeşme	Özellikle sparitik kireçtaşında allokemlerin sınırlarında killeşme başlangıcı, kil dolgulu çatlak oluşumu, mikrokarstik erime boşluklarının oluşumu	Demiroksit ve kil dolgulu çatlak oluşumu, yer yer kümeleşmiş demiroksit yığışımları var
Opak mineraller	Yok	Yok	Demir oksit ve hematit	Demir oksit ve magnezyum ferrit, hematit, götit
Mikroçatlak durumu	Yok	Kılcal stilolit oluşumu ve dolgusuz mikroçatlak oluşumu	Kil dolgulu mikroçatlakların oluşumu	Mikroçatlak sayısında gözle görülür bir artış, kil ve demir oksit dolgulu mikroçatlak oluşumları



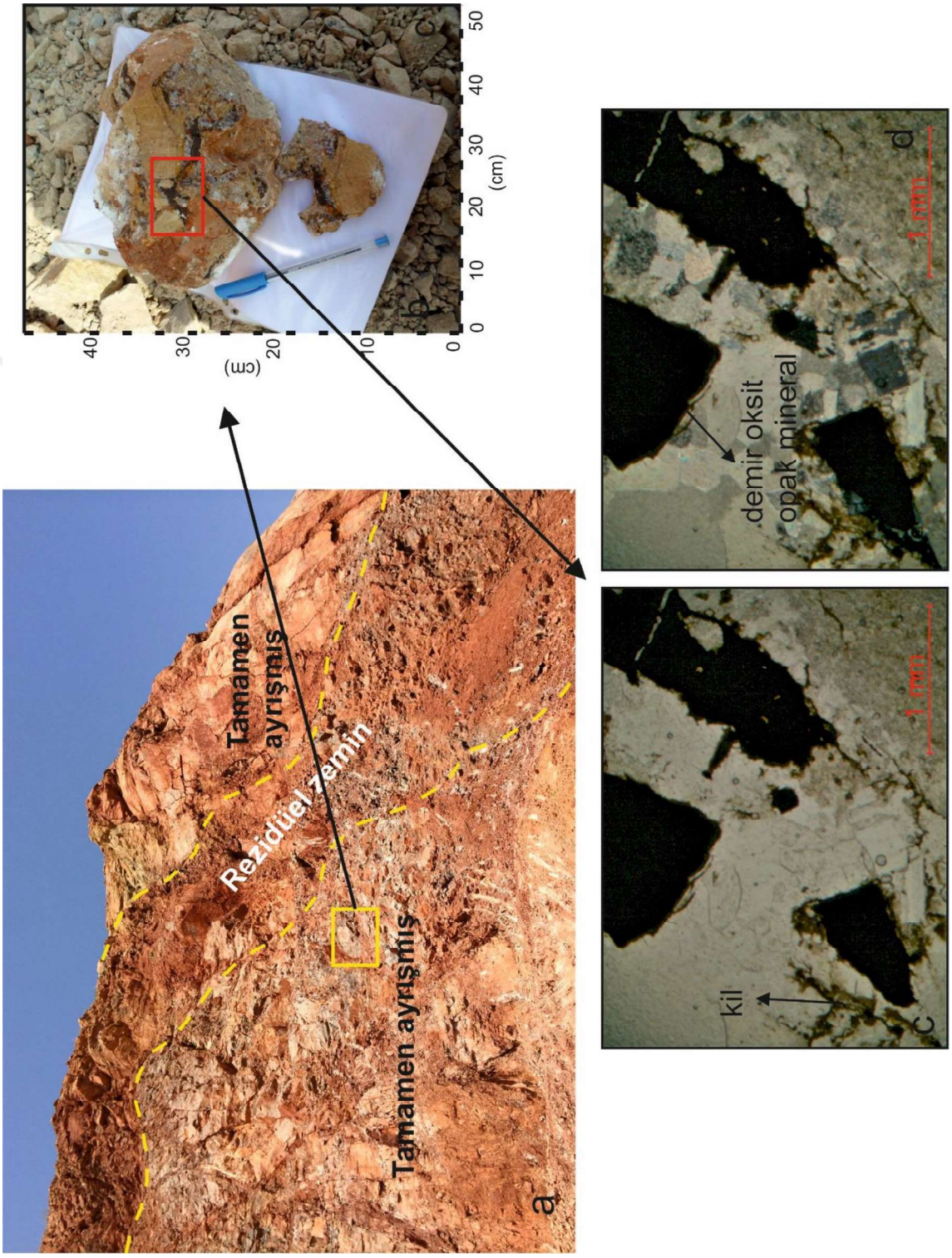
Şekil 4.17 Ayrışma derecelerine göre kireçtaşlarının ince kesit görüntüleri ((I) taze, (II) az ayrışmış, (III) orta derecede ayrışmış, (IV) tamamen ayrışmış kireçtaşı örneğine ait polarizan mikroskop görüntüleri. Sol taraftaki ince kesit görüntüleri tek nikol olup sağ taraftaki görüntüler çift nikol altında elde edilmiştir.



Şekil 4.18 Taze (I) - az ayrışmış (II) kireçtaşlarına ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri



Şekil 4.19 Orta derecede (III), tamamen (IV) ve rezidüel zemin (V) kireçtaşlarına ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri



Şekil 4.20 Tamamen ayrışmış (IV) ve rezidüel zemin (V) kireçtaşlarına ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri

Dolomit

Dolomit profilinin taze-az ayrışmış, orta derecede ve tamamen ayrışmış seviyelerinden alınan örneklerden ince kesitler hazırlanmıştır. Yapılan mikroskobik incelemelerde örneklerin farklı boyutlarda dolomit tanelerinden oluştuğu gözlemlenmiştir. Boyutları dışında dolomitlerde gözlemlenen dokular özşekilli ve yarı özşekilli mozaik doku çeşitleridir. Dolomitlerdeki ayrışma süreçlerinden demir oksit yani ferroan dolomit ve killeşmenin genellikle özşekilli ve yarı özşekilli mozaik dokulu ve iri (>200 μm) dolomit taneli yani dolospar örneklerde olduğu görülmüştür. Kayaçtaki tane boyu küçüldüğünde yani dolomikritik (>50 μm) tanelerden oluştuğunda ise bu sefer genleşme sonucu erime boşluklarının oluşumları görülmektedir (Elçi vd. 2014). Dolomitleri kireçtaşlarından ayıran en önemli ayrışma türü olarak birçok farklı formda ve ebatta karstik erime boşluğu oluşumunun varlığıdır. Bu tür ayrışmanın varlığı daha çok yarı özşekilli mozaik dokulu dolomitlerden oluşan örneklerde görülmekle birlikte bazı özşekilli mozaik dokuya sahip örneklerde de rastlanmıştır. Orta derecede ayrışma sınıfındaki örneklerde dolgulu mikroçatlaklar ve akma yapısı (jel dokusu) gözlemlenmiştir. Dolomitik kireçtaşı örneklerinde ise ayrışmanın, çimento kısmında değil, daha çok dolomit taneleri etrafında oluştuğu belirlenmiştir. Dolomitlerde ayrışmanın en büyük etkeninin diyajenez ve bunun ilk ve son evrelerinde meydana gelen "dolomitleşme" süreci olduğu düşünülmektedir.

Dolomitlere ait petrografik özellikler ayrıntılı olarak Tablo 4.6'da sunulmuştur. Şekil 4.21'de sırasıyla taze, az ayrışmış, orta derecede ayrışmış ve tamamen ayrışmış seviyelere ait ince kesit örneklerinin polarizan mikroskop görüntüleri sunulmuştur. Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'de ise sırasıyla taze-az ayrışmış, orta derecede ayrışmış ve tamamen ayrışmış seviyelere ait arazi, el örneği, polarizan mikroskop tek nikol ve çift nikol görüntüleri verilmiştir.

Çalışma alanındaki dolomitlerin ince kesitleri incelendiğinde mozayik ve yarı mozayik dokulu oldukları görülmüştür. Dolomit taneleri çok küçük boyutlardan büyük boyutlara kadar farklılık göstermektedir.

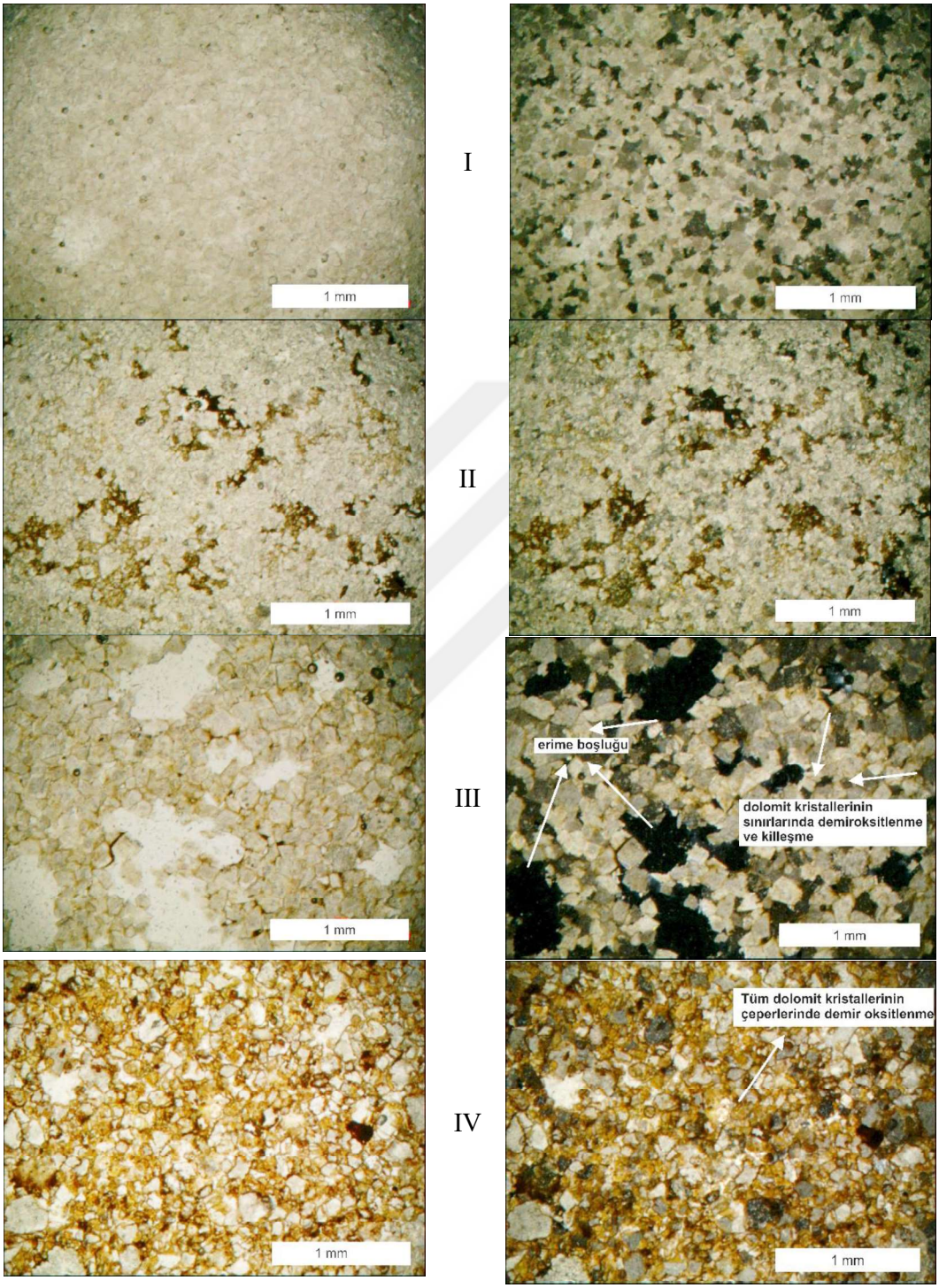
Petrografik çalışmalar kapsamında incelenen ince kesitlerde, dolomitlerde meydana gelen en tipik ayrışma süreçlerinden birincisi dolomitleşme etkisi ile meydana gelen porozite artışıdır. Dolomitleşme yoğunluğunun, kayacın gözenek ve geçirgenliğine farklı şekillerde etki etmesine karşın, kireçtaşlarının dolomitleşmesi ile oluşan dolomitlerde genelde gözeneklilik ve geçirgenliğini arttırmaktadır. Mumcuoğlu, 1986'ya göre de dolomitleşme sırasında karbonat

kayaçta erime boşlukları gelişmektedir. Çalışma sahasındaki dolomitler ve kireçtaşlarının poroziteleri kıyaslandığında hem makro ölçekte hem de mikro ölçekte dolomitlerin porozitelerinin daha fazla olmasının üç ana sebebi olduğu düşünülmektedir. Bunlardan birincisi, Mg elementinin atom yarıçapının Ca' a göre yaklaşık olarak % 12 daha az olmasından dolayı dolomitleşme olayı sırasında boşalan Ca elementlerinin atom yarıçapını yeterince dolduramayan Mg elementinden dolayı dolomitler daha poroz özelliktedir (Çerikçioğlu 2001, Şenalp 1977). İkincisi, Ca elementinin mobilitesinin Mg elementinin mobilitesine göre daha fazla olmasından dolayı kimyasal ayrışma sırasında kayacın bünyesinden ilk harekete geçerek ortamdan uzaklaşanın Ca olması ve dolomitleşme olayı ile ortama gelen Mg'un Ca'un yerini dolduramamasından kaynaklanan bir boşluk oluşmasıdır. Üçüncüsü, dolomitin çözünme katsayısının kalsite göre daha büyük olmasından dolayıdır (Kspdolomit: 17.09 > Kspkalsit: 8.48).

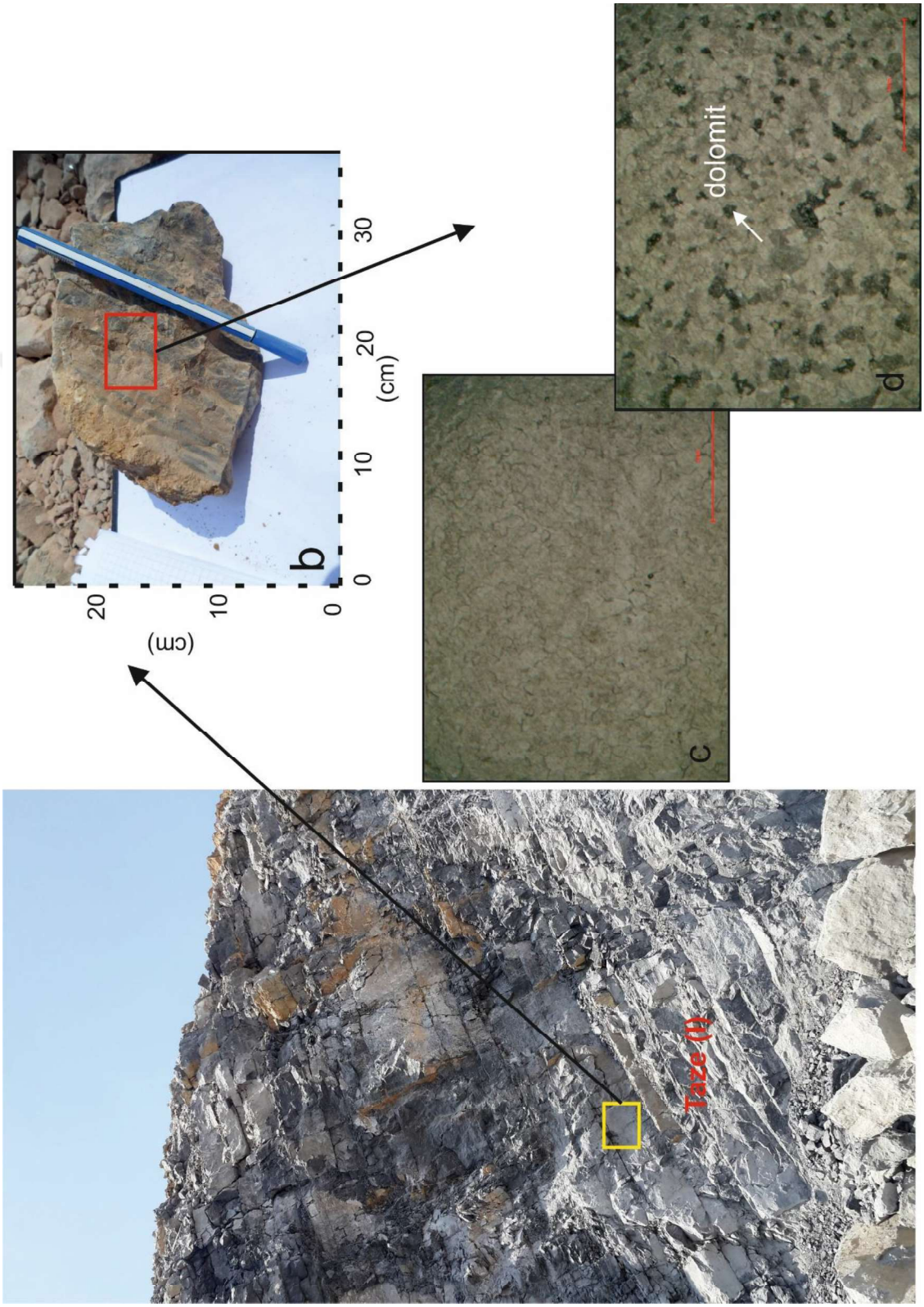
Orta derecede ayrışmış ve tamamen ayrışmış dolomit örneklerinin hemen hemen hepsinin ince kesitlerinde bu boşluklar siyah yapılar şeklinde görülmektedir. Aynı alanlara tek nikolde bakıldığı takdirde bu kısımların beyaz renkte olduğu görülmüştür (Şekil 4.21). Özellikle iri boyutlu özşekilli dolomit tanelerinden oluşmuş olan örneklerin ince kesitlerinde görülen diğer bir ayrışma süreci de nispeten az miktarda killeşme ve ağırlıklı olarak demir oksitlenme oluşumudur. Bu süreç kayacın kimyasal bileşiminde bulunan Mg yerine Fe^{+2} (ferroan dolomit) veya Mn (mangan dolomit) geçmesi şeklinde meydana gelmiştir. İnce kesitlerde killeşme olan kısımlar açık kahverengi tonlarında görülürken demir oksitlenmenin olduğu alanlar kırmızı-turuncu tonlarında görülmektedir. Tek nikolde bu renklerin değişmediği tespit edilmiştir. Kireçtaşlarında kalsit mineralleriyle içiçe gözlemlenen killeşme ve demir oksitlenmeden kaynaklı buğulu bir görüntü var iken dolomitlerde dolomit kristallerinin çeperlerinde oluşmaktadır ve oldukça net gözlemlenmektedir (Dunn and Hudec, 1966). Özellikle dolomit kristallerinin sınırlarında bol miktarda bu ayrışma süreçlerine rastlanmıştır.

Tablo 4.6 Farklı derecelerde ayrışmış dolomitlere ait petrografik özellikler

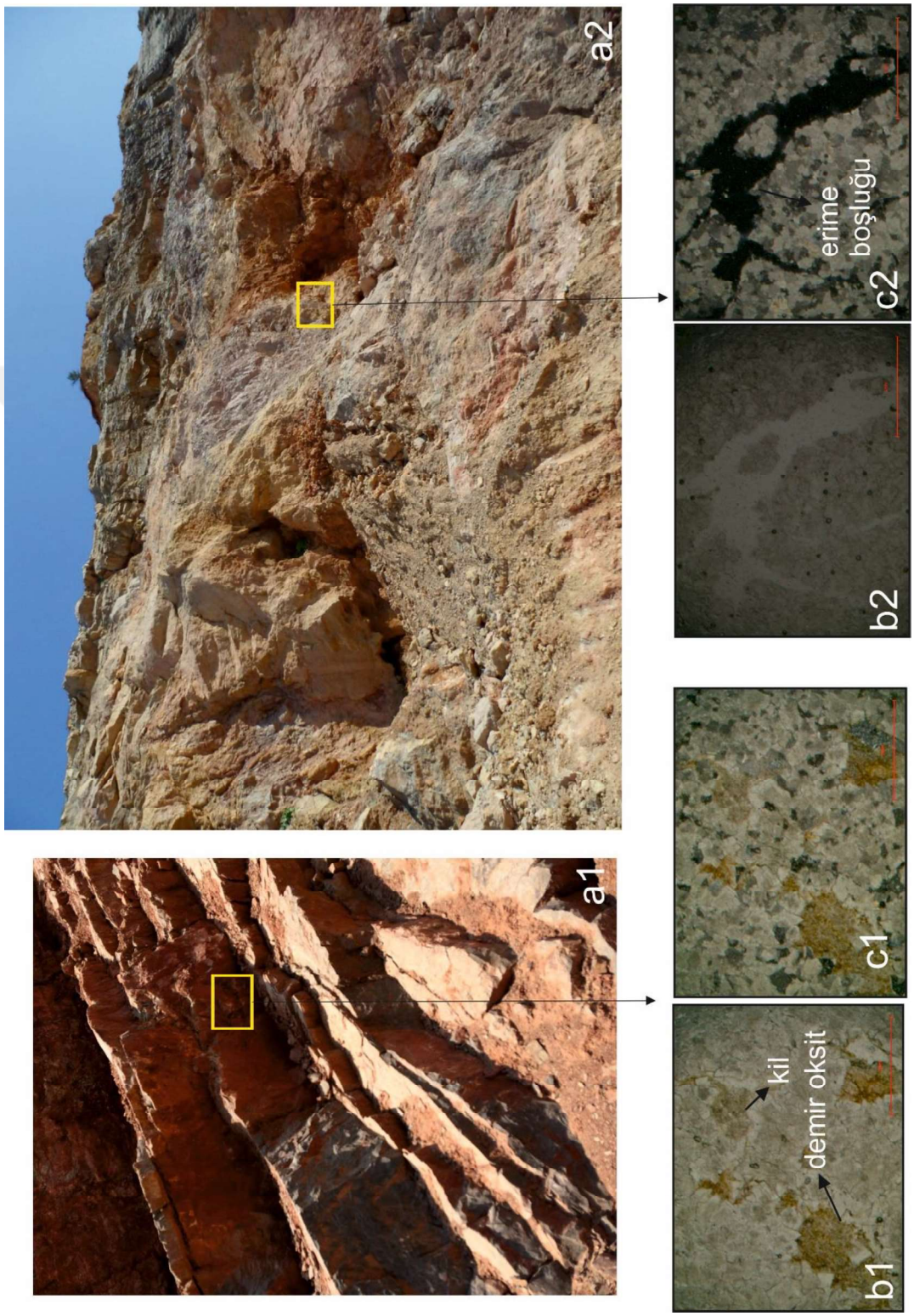
Dolomit	**I**	**II**	**III**	**IV**
Petrografik tanımlama	Dolomitik kireçtaşı	Dolomitik kireçtaşı	Dolomitik kireçtaşı, dolomit	Dolomitik kireçtaşı, dolomit
Bileşim	Dolomit	Dolomit	Dolomit, kalsit	Dolomit, kalsit, ferroan dolomit nakrit, kuvars
Doku	Yarı özşekilli mozayik doku. Küçük dolomit ve kalsit kristallerinden oluşuyor	Yarı özşekilli mozayik doku. Küçük dolomit kristallerinden oluşuyor	Yarı özşekilli mozayik doku. Orta boy dolomit kristallerinden oluşuyor	Özşekilli mozayik doku. Orta-büyük dolomit kristallerinden oluşuyor
Ayrışma türleri	Yok	Dolgusuz (boşluklu) kılcal mikroçatlaklar ve demiroksit dolgulu stilolit oluşumları mevcut.	Dolgulu (kil ve demiroksit) mikroçatlak sayısında artış, killeşme, opak mineral oluşumu ve dolomit tanelerinin çeperlerinde demiroksit ve killeşme	Çok geniş yayılım gösteren erime boşlukları ile karakterize edilebilir. İri dolomit tanelerinin sınırları demiroksit ve kil ile çevrelenmiştir. İnce kesitin neredeyse tamamı demir oksitlenmiştir
Opak mineraller	Yok	Çok az saçınımlı	Hematit saçınımlı	Oldukça geniş alanlar kaplayan hematit mevcuttur
Mikroçatlak durumu	Yok	Boşluklu ve kil dolgulu mkroçatlaklar	Demiroksit ve kil dolgulu kalın damarlar da mevcuttur	Tamamen parçalanmış



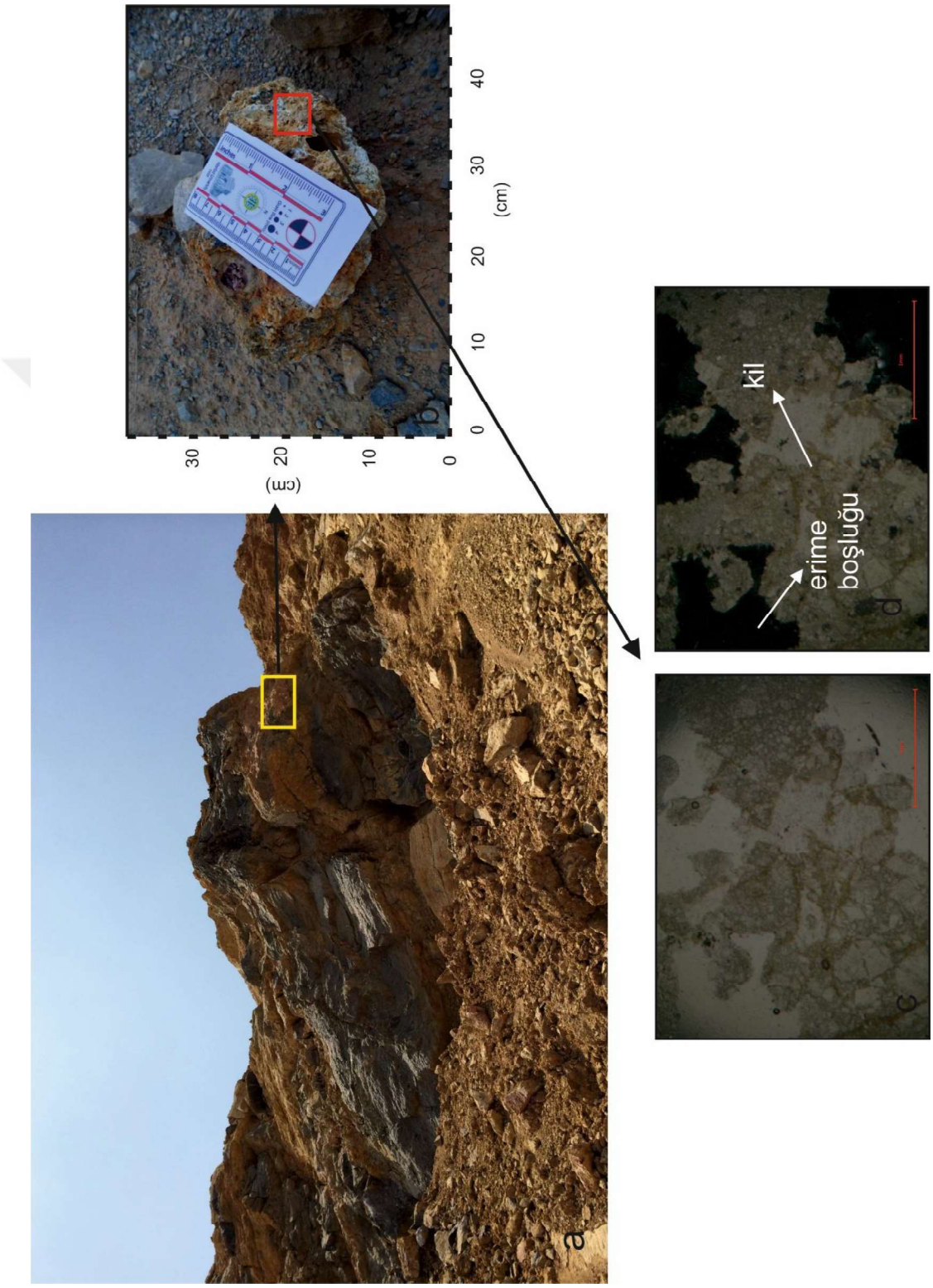
Şekil 4.21 Ayrışma derecelerine göre dolomitlerin ince kesit görüntüleri ((I) taze, (II) az ayrışmış, (III) orta derecede ayrışmış, (IV) tamamen ayrışmış dolomit örneğine ait polarizan mikroskop görüntüleri. Sol taraftaki ince kesit görüntüleri tek nikol olup sağ taraftaki görüntüler çift nikol altında elde edilmiştir.



Şekil 4.22 Taze (I) dolomite ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri



Şekil 4.23 Az ayrışmış (II) (a1) ve orta derecede ayrışmış (III) (a2) dolomite ait a) arazi b) polarizan mikroskop tek nikol c) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri



Şekil 4.24 Tamamen ayrışmış (IV) dolomite ait a) arazi b) el örnegi c) polarizan mikroskop tek nikol d) polarizan mikroskop çift nikol görüntüleri

4.4.4.3 Ayrışmanın mineralojik özelliklere etkisi

XRD çekimleri ile kayaç ve zemin örnekleri içerisindeki mineraller bolluklarına göre sıralanmışlardır. Ayrıca ince kesit yapılamayan rezidüel zemin seviyesindeki ayrışma ürünlerine ait örneklerin mineralojik bileşimleri tespit edilmiştir. Bu örnekler içinde yer alan kil grubu mineraller için zenginleştirme işlemi uygulanarak kalitatif XRD detay kil analizleri yapılmıştır.

Petrografik incelemeler kapsamında kireçtaşı ve dolomit olarak tanımlanan kayaç türlerinin mineralojik bileşimleri ve ayrışma ürünü mineralleri mineralojik çalışmalar dahilinde belirlenmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 İncelenen kayaçların mineralojik özellikleri

Kayaç ismi	Mineralojik bileşim	Ayrışma ile gelişen mineraller
Kireçtaşı	Ayrışma derecesine göre farklılık göstermek üzere % 50-80 arası kalsit, % 5-15 arası kuvars, % 20 dolayında dolomit içermektedir.	Demir oksit gelişimi, magnezyum ferrit, nakrit (kil mineralleri)
Dolomit	Ayrışma derecesine göre farklılık göstermek üzere dolomit % 85-100 arasında dolomit, % 15 civarı kalsit, % 10-13 civarı kuvars içermektedir.	Demir oksit gelişimi, ferroan dolomit, illit ve montmorillonit (kil minerali)

Çalışma alanındaki kireçtaşlarının ayrışması sonucu meydana gelen ayrışma ürünlerinin içerisinde, demir oksit, magnezyum ferrit, nakrit türü kil mineralleri olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma alanındaki dolomitlerin ayrışması sonucu meydana gelen ayrışma ürünlerinin içerisinde, demir oksit, ferroan dolomit ve illit ve montmorillonit türü kil minerali olduğu tespit edilmiştir.

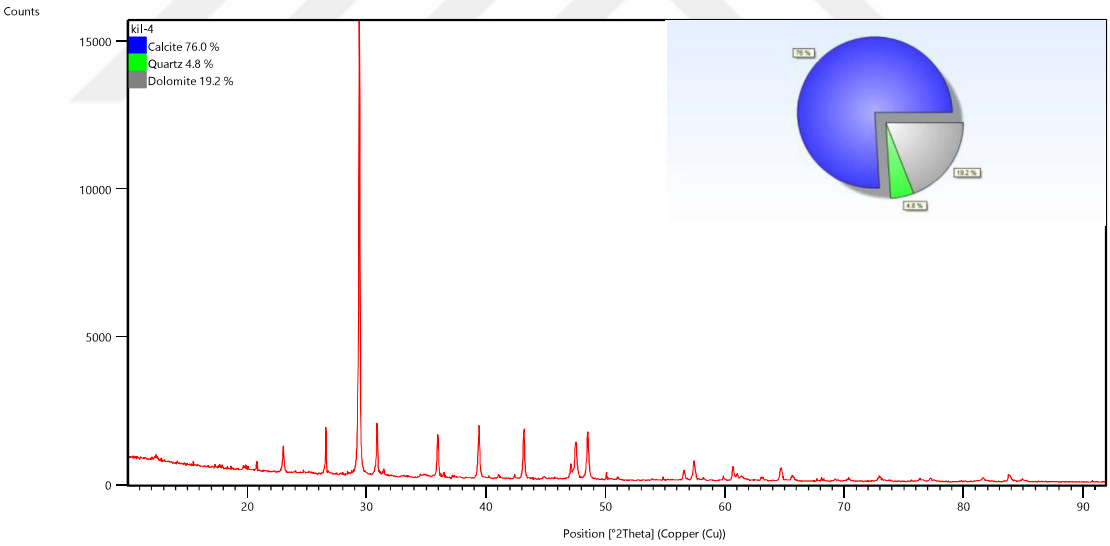
Kireçtaşı

Farklı ayrışma seviyelerine ait kireçtaşlarının içerdikleri mineraller bolluklarına göre sıralanmışlardır (Tablo 4.8). XRD analizleri ile elde edilmiş grafikler Şekil 4.25- 4.29 arasında verilmiştir.

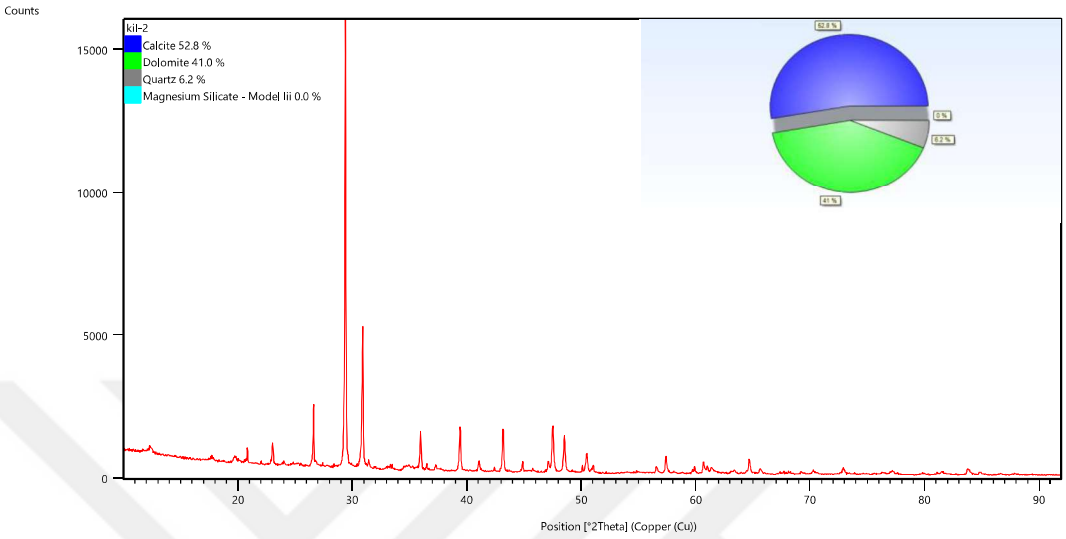
Kireçtaşlarına ait XRD çekimleri sonucunda taze, az ayrışmış ve orta derecede ayrışmış seviyelerdeki örneklerin kalsit, dolomit, dolomit ferroan ve kuvars minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Ayrışmanın artmasıyla birlikte tamamen ayrışmış ve rezidüel zemin seviyelerinde demir oksitleşmeye ve killeşmeye bağlı olarak magnezyum ferrit, feldspat minerallerinden albit, kil grubu minerallerden ise montmorillonit ve illite artan miktarlarda rastlanılmıştır.

Tablo 4.8 Farklı derecede ayrışmış kireçtaşlarının bolluk sıralarına göre içerdiği mineraller

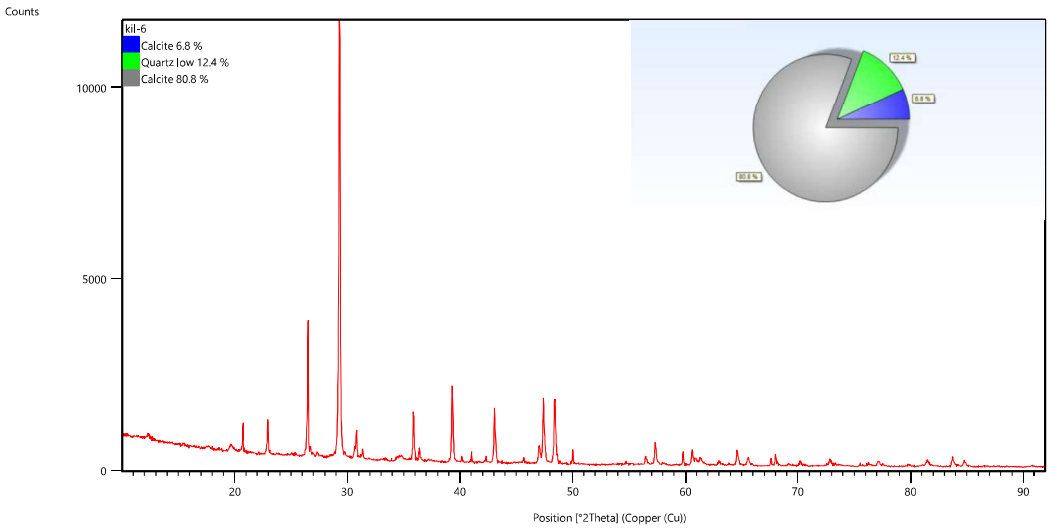
Ayrışma Derecesi	Bolluk sırasına göre mineral içeriği
V	Kalsit, Kuvars, Montmorillonit, Magnezyum ferrit
IV	İllit, Albit, Kuvars, Kalsit
III	Kalsit, Kuvars, Dolomit
II	Kalsit, Dolomit, Kuvars
I	Kalsit, Dolomit, Kuvars



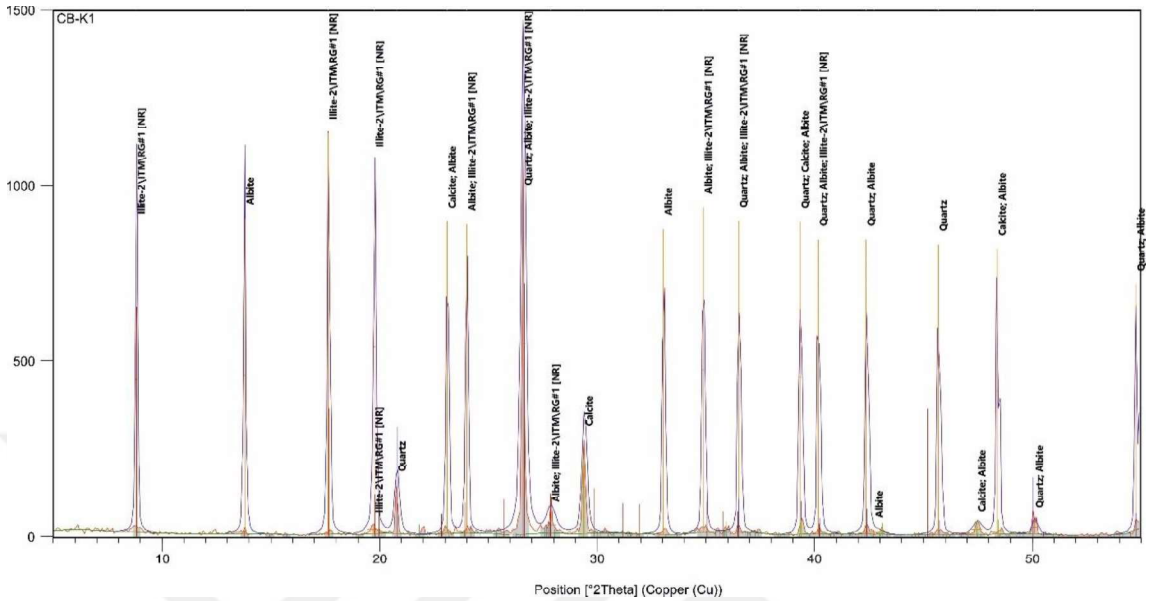
Şekil 4.25 Taze (I) kireçtaşına ait XRD grafiği



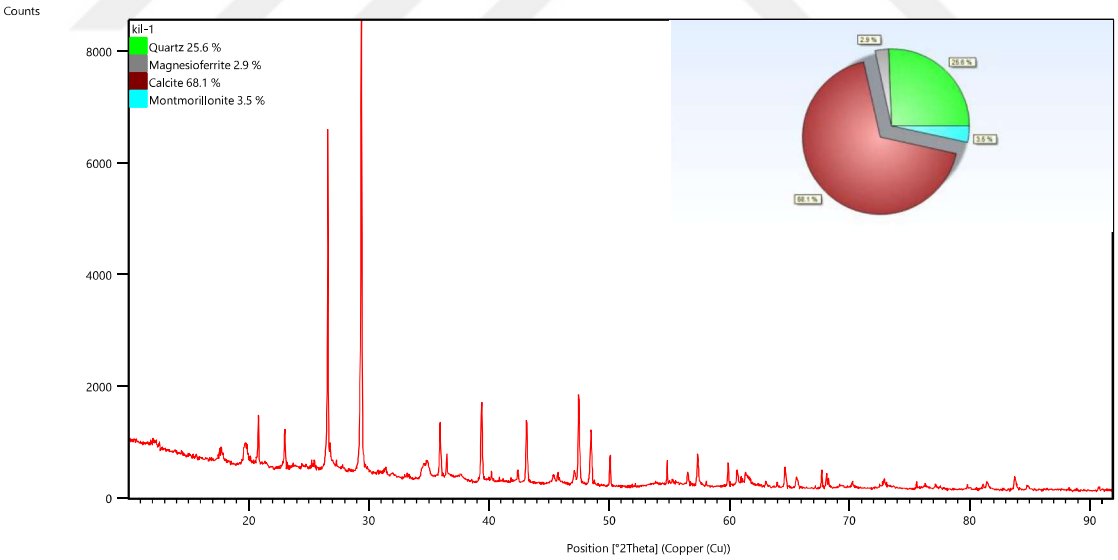
Şekil 4.26 Az ayrışmış (II) kireçtaşına ait XRD grafiği



Şekil 4.27 Orta derecede ayrışmış (III) kireçtaşına ait XRD grafiği



Şekil 4.28 İleri derecede ayrışmış (IV) kireçtaşına ait XRD grafiği



Şekil 4.29 Tamamen ayrışmış (V) kireçtaşına ait XRD grafiği

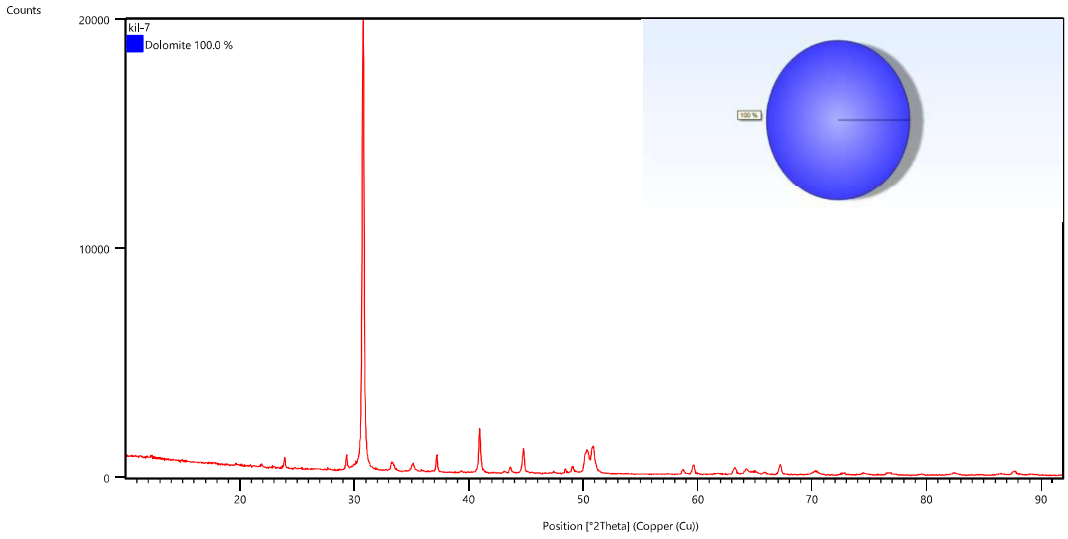
Dolomit

Farklı ayrışma seviyelerindeki dolomitler üzerinde yapılan XRD çekimleri yardımıyla dolomitler içerisindeki mineraller bolluk sırasına göre Tablo 4.9'da sunulmuştur. Dolomitlerin farklı ayrışma seviyelerine ait XRD grafikleri de Şekil 4.30-4.34 arasında verilmiştir.

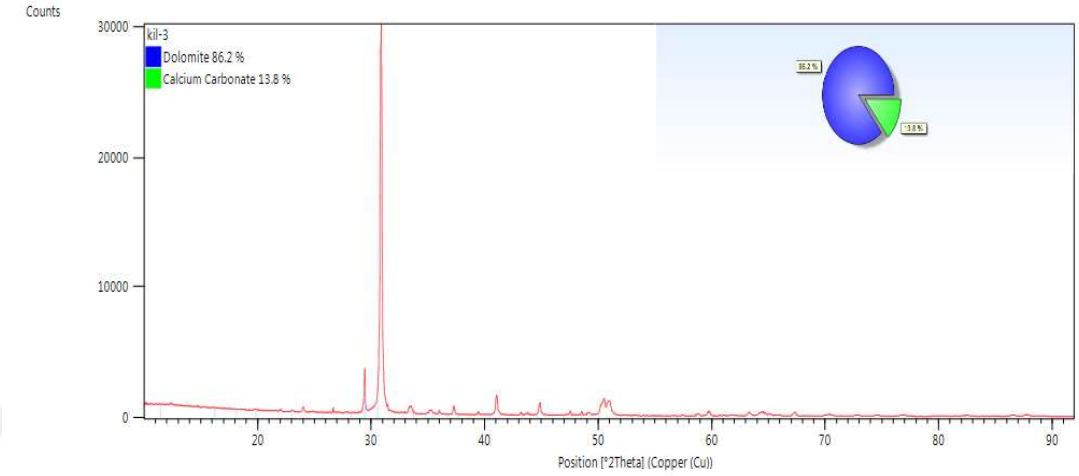
Dolomitlere ait XRD çekimleri sonucunda taze, az ayrışmış ve orta derecede ayrışmış seviyelerindeki örneklerin dolomit, kalsit ve kuvars minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Ayrışmanın artmasıyla birlikte ileri derecede ayrışmış ve tamamen ayrışmış seviyelerde demir oksitleşme ve killeşmeye bağlı olarak ferroan dolomit ve kil grubu minerallerden ise illit ve montmorillonit artan miktarlarda gözlemlenmiştir.

Tablo 4.9 Farklı derecede ayrışmış dolomitlerin bolluk sıralarına göre içerdiği mineraller

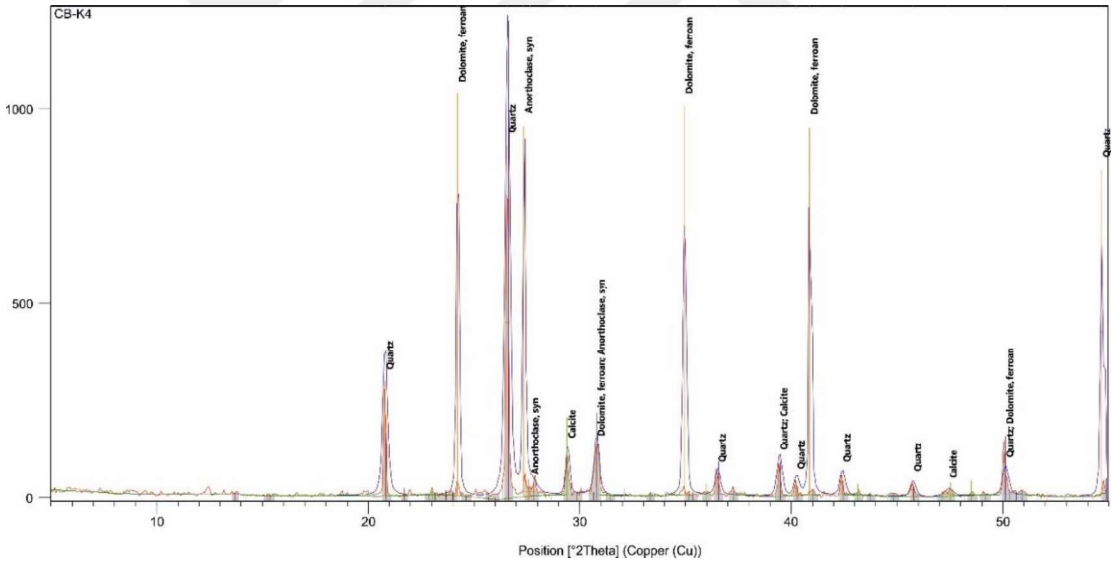
Ayrışma Derecesi	Bolluk sırasına göre mineral içeriği
V	Dolomit, Nakrit, Kalsit, Kuvars
IV	Kuvars, Dolomit
III	Dolomit ferroan, Kuvars, Kalsit
II	Dolomit, Kalsiyum Karbonat
I	Dolomit



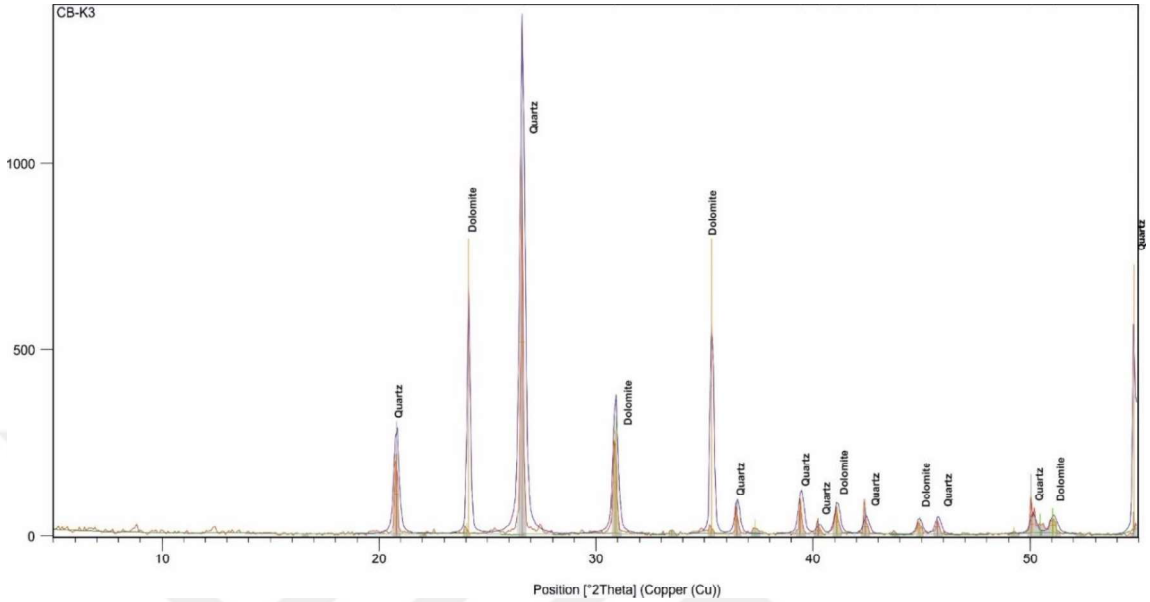
Şekil 4.30 Taze (I) dolomite ait XRD grafiği



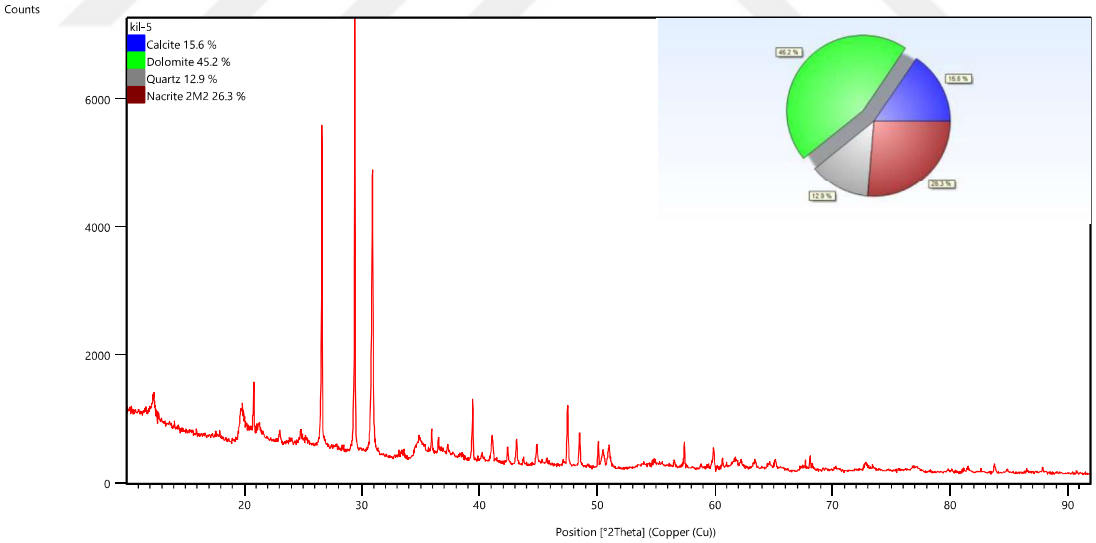
Şekil 4.31 Az ayrışmış (II) dolomite ait XRD grafiği



Şekil 4.32 Orta derecede ayrışmış (III) dolomite ait XRD grafiği



Şekil 4.33 İleri derecede ayrışmış (IV) dolomite ait XRD grafiği



Şekil 4.34 Tamamen ayrışmış (V) dolomite ait XRD grafiği

4.4.4.4 Ayrışmaya bağlı kimyasal değişimler

Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomit örnekleri üzerinde yapılan XRF analizi ile elementsel konsantrasyonları yüzde ve ppm cinsinden yarı kantitatif olarak analiz edilmelerinin sonucunda bunların içerdikleri ana element oksit yüzdeleri ve kızdırma kayıpları belirlenmiştir.

Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomit örneklerinin içerdiği ana element oksit yüzdeleri ve kızdırma kaybı değerleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kimyasal analiz sonuçları

Kireçtaşı	LOI (%)	Ana Element Oksitler (%)											
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	MnO	Na_2O	Cl	P_2O_5	TiO_2	Toplam
V	20.09	42.26	15.46	11.28	2.20	7.50	-	1.72	4.21	-	-	-	-	96.26
IV	36.20	9.66	4.12	7.21	36.87	6.89	-	0.84	3.14	-	-	-	-	99.80
III	38.59	7.33	2.48	4.83	41.70	2.82	-	0.40	1.09	-	-	-	-	99.23
II	39.63	3.75	1.32	2.37	45.47	1.76	-	0.19	0.06	-	-	-	-	99.68
I	41.85	1.22	0.02	0.37	48.00	1.01	-	0.08	0.02	-	-	-	-	99.06
Dolomit														
V	10.68	47.30	21.10	14.40	1.26	0.20	-	4.04	-	0.09	0.00	0.10	0.83	98.97
IV	28.60	34.18	17.57	2.32	1.99	9.94	0.50	3.22	-	0.48	0.15	0.10	0.96	99.03
III	34.67	15.48	9.68	1.35	3.40	33.33	0.28	1.22	-	0.05	0.03	0.03	0.46	99.18
II	39.63	6.86	2.80	0.73	11.91	37.40	0.14	0.37	-	0.04	0.01	0.02	0.10	98.98
I	40.41	0.50	1.02	0.26	17.48	40.19	0.04	0.05	-	0.02	0.01	0.00	0.01	99.92

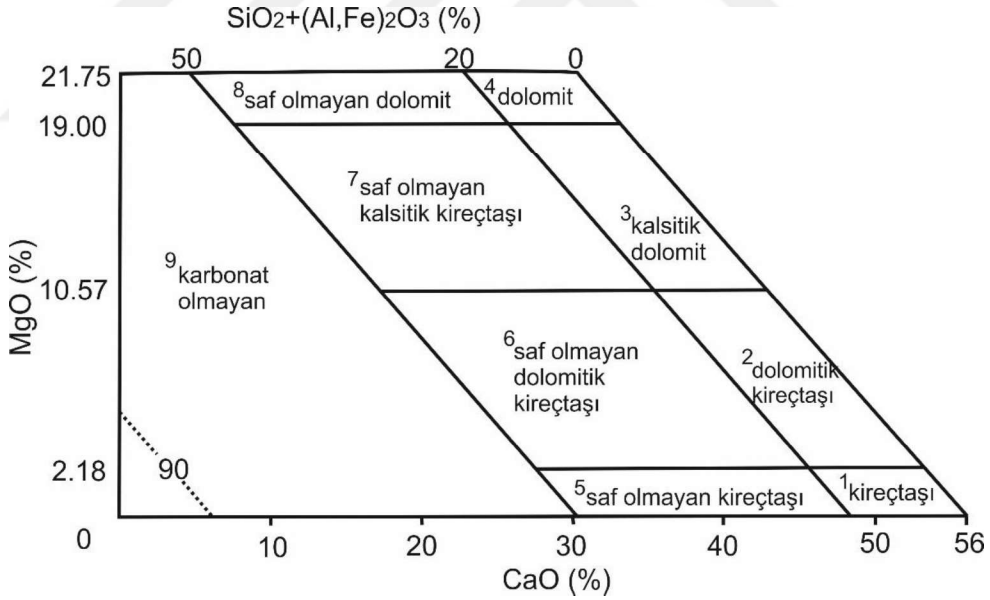
Kireçtaşlarında ayrışma derecesinin artmasıyla birlikte karbonat bileşiklerinden CaO değeri azalırken ve dolomitlerde CaO ve MgO bileşiklerinde azalma görülmektedir (Tablo 4.10). CaO ve MgO bileşiklerinin ayrışmaya bağlı olarak ortamdan uzaklaşması ile birlikte göreceli olarak bu bileşiklerin dışında kalan karbonat olmayan ve çözünmeyen bileşiklerden (insoluble residue) SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ve K_2O değerlerinde genel olarak bir artış söz konusudur. Kireçtaşlarında SiO2 ve MnO değerlerinde dolomitlerde ise özellikle Fe_2O_3, başta olmak üzere Na_2O, Cl, P_2O_5 ve TiO_2 değerlerinde ayrışmayla doğru orantılı olarak bir artış belirlenmiştir. Kireçtaşları ve dolomitlerin ayrışma süreçleri boyunca içerdikleri elementlerin mobilite sıralaması Ca > Mg > Na > K > Si > Al > Fe şeklindedir (Panigrahy and Raymahashay, 2016). Buna göre, ayrışma ürünlerinde en fazla birikimi Fe, Al ve Si elementleri göstermektedir.

Kireçtaşlarında kalsit ve aragonit dışında rastlanan ve karbonat olmayan bileşenlerinden muhtemel silis kaynakları şu şekilde açıklanabilir. Özellikle oolitik kireçtaşlarında radyal ooid tanelerinin merkezinde silis taneleri bulunur ve bunu etrafında sarınırarak oolitler oluşmaktadır. Silis içeriği yüksek örneklerimizin petrografik incelemesinde çoğunlukla oolitik oldukları görülmüştür. Bunun dışında birçok kireçtaşı yuvarlak bir şekle sahip detritik kuvars taneciklerini de içerirler. Bazılarında ise karbonat minerallerinin yerine geçmiş durumda otijenik kuvars kristallerine rastlanır. Çört ve kalsedon bu tip kayaçlarda olağandır (özellikle SiO_2 değerleri yüksek olan bu durumu görmekteyiz) ve kayaç içinde tabakalar, konkresyonlar ve düzensiz şekillerde bulunurlar. Bazı kireçtaşlarında klastik felspat tanelerine de rastlanır. Bunlar ender olarak otijenik oluşurlar (özellikle killer) ve bu şekilde oluşan, çoğunlukla albit şeklindeki feldspatlar da bazen organik madde veya glokonit kapanımları içerirler. Kireçtaşlarında bulunan en olağan bir bileşen de kil mineralleridir. Pekçok kireçtaşında kil minerali olarak illite rastlanır ve (örneklerimizde illit, montmorillonit, nakrit mevcut) kireçtaşları ile killi kayalar arasında her çeşit tedrici geçiş görülür. Oolitik kireçtaşları radyal ve konsantrik yapı sunarlar. Normal olarak daima kuvars kumu veya bir silt tanesi, bir fosil parçası veya intraklasttan ibaret bir çekirdek içerirler (kireçtaşlarında silis kaynaklarından biri). Ritmik halkasal yapı ortamın sakinlik ve hareketlilik devrelerine karşılık gelmektedir. Fosilli kireçtaşlarındaki kavkılarda mevcut silis içeriğinin muhtemel kaynağını oluştururlar.

Ayrışmanın artışıyla birlikte yükselen silis içeriği malzemeye de farklı zararlar verebilir. Örneğin bunlardan biri de karbonatlı kayaçlardaki silis içeriğinin yüksek olmasıyla beraber gelişen alkali silika reaksiyonudur. Betonda çatlaklara yol açarak dayanım, elastisite ve

durabilite kaybına yol açmaktadır. Betonda böyle reaksiyonlara yol açan reaktif karbonat kayaçlarının en yaygını dolomit kayaçlardır (Alptuna, 2009). West (1996), kireçtaşlarının silis içeriğinin % 2'yi geçtiği durumlarda ASR (alkali silika reaksiyonu) riski bulunduğunu belirtmiştir. Araştırmacıya göre % 2-5 SiO_2 içeriğine sahip kireçtaşları, ASR yönünden potansiyel tehlike oluşturabilecek agregalardır. SiO_2 içeriği % 5'i aşan kireçtaşları ise ASR yönünden zararlı agregalardır.

Kireçtaşlarının kimyasal bileşimi, mineral bileşimi ile benzerdir (Pettijohn, 1975). Şekil 4.35'de kireçtaşlarının CaO, MgO (karbonat bileşenler) ve SiO_2 + $(Al, Fe)_2 O_3$ (karbonat olmayan bileşenler) ana oksit element yüzdeleri kullanılarak sınıflaması verilmiştir. Sınıflamada, Krumbein ve Sloss (1963)'te tanımlanan kireçtaşlarının adlamaları kullanılmıştır. Bu sınıflama ile kireçtaşları ana oksit element yüzdeleri ile kullanılarak adlaması yapılabilir (Elçi vd. 2014).

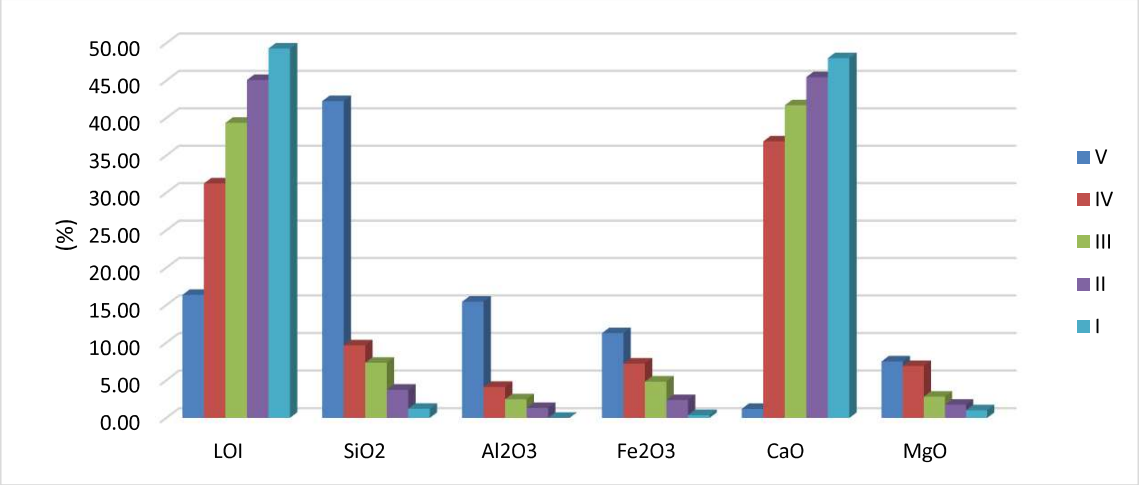


Şekil 4.35 Kireçtaşlarının saflıklarına göre sınıflandırılması (Krumbein ve Sloss, 1963'ten değiştirilerek)

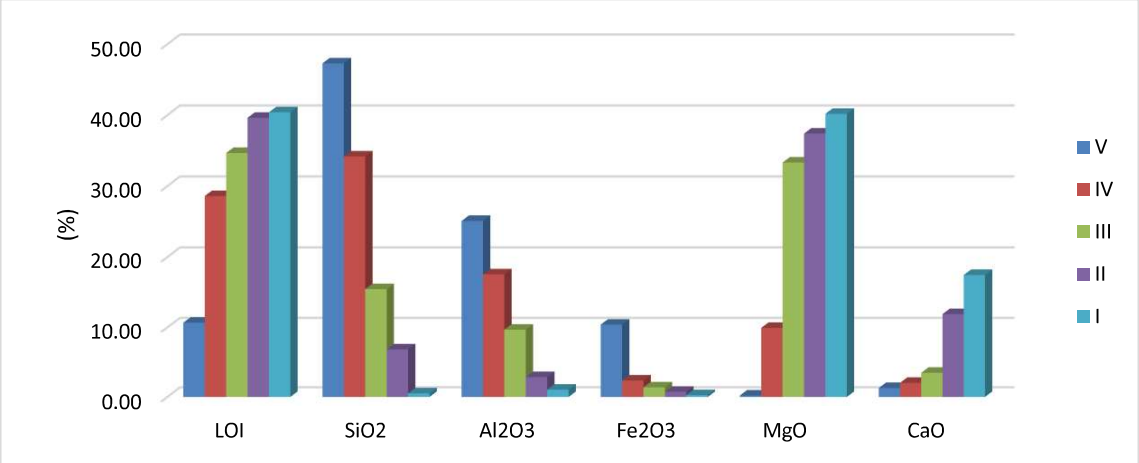
Kireçtaşlarının ve dolomitlerin ana element oksit yüzdeleri ve kızdırma kaybı değerlerindeki değişimler Şekil 4.36 ve 4.37'de sunulmuştur.

Kireçtaşlarının kimyasal içeriğinde eğer MgO artışı gözleniyor ise bu durum, kayacın dolomitleşmeye ve ayrışmaya bağlı olarak saflığının azaldığının bir göstergesidir. Özellikle

dolomitleşme olayı sonucunda da kayaçta etkin (görünür) gözenekliliğin ve buna bağlı olarak da ağırlıkça su emme değerlerinin artış göstermesi beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.36 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarının içerdiği ana element oksit ve kızdırma kaybı yüzdeleri



Şekil 4.37 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlerin içerdiği ana element oksit ve kızdırma kaybı yüzdeleri

Tablo 4.11'de görüldüğü üzere, ayrışma derecesinin artmasıyla birlikte kızdırma kaybı değerleri kireçtaşları ve dolomitlerde azalmaktadır. Kireçtaşlarında, en yüksek kızdırma kaybı değeri % 49.28 olarak taze kireçtaşlarında, en düşük kızdırma kaybı değeri ise rezidüel zeminde % 16.36 olarak belirlenmiştir.

Dolomitlerde ise, en yüksek kızdırma kaybı değeri taze seviyede % 40.41, en düşük kızdırma kaybı değeri ise, % 10.68 olarak rezidüel zeminde ölçülmüştür.

Ayrışmanın artışına bağlı olarak kızdırma kaybı değerlerindeki değişimlere bakıldığında taze-kireçtaşı örneği ile rezidüel zemin örneği arasında % 68.81'lik bir azalma, taze dolomit ile rezidüel zemin arasında % 73.57'lik bir azalma söz konusudur.

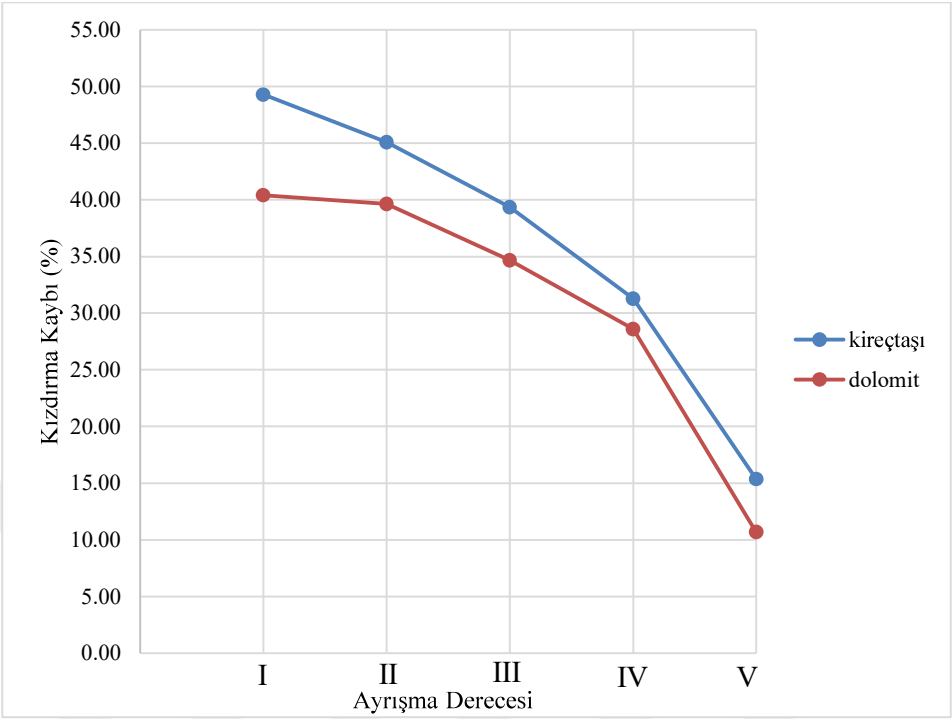
Kızdırma kaybı değerlerinde bir önceki ayrışma derecesine göre meydana gelen azalmaya bakıldığında kireçtaşlarında ve dolomitlerde en fazla azalma tamamen ayrışmış örnekler ile ileri derecede ayrışmış örnekler arasında olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin kayaçların bünyesindeki karbonat (saflık) ve CO_2 içeriğinin rezidüel zemine doğru oldukça azalmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.11 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kızdırma kaybı değerleri ve değişimler

Kireçtaşı	**LOI (%)**	**LOI Değişim* (%)**	**LOI Değişim ** (%)**
V	16.36	68.81	50.83
IV	31.25	36.57	20.58
III	39.35	20.14	12.70
II	45.08	8.51	8.51
I	49.28	-	-
Dolomit			
V	10.68	73.57	62.66
IV	28.60	29.22	17.51
III	34.67	14.19	12.51
II	39.63	1.92	1.92
I	40.41	-	-

* Taze kayaca göre değişim
** Bir önceki ayrışma derecesine göre değişim

Kimyasal analiz sonuçlarına göre, hem kireçtaşları hem de dolomitlere ait kızdırma kaybı yüzdeleri ayrışma ile azalmaktadır. Dolomitler kireçtaşlarına göre, her ayrışma derecesinde daha düşük kızdırma kaybı değerlerine sahiptir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kızdırma kaybı değerlerinin değişimi

4.4.4.5 Ayrışmaya bağlı kimyasal indekslerdeki değişim

Ayrışmanın etkisi ile bazı ana element oksitlerin ortamdan ayrılırken bazılarının ortamda göreceli olarak artış göstermesi sonucu kaya kütlelerinin kimyasal bileşimlerinde farklılaşmalar olmaktadır. Bu değişimlerin miktarı göz önünde tutularak birçok araştırmacı tarafından farklı kimyasal indeksler önerilmiştir (Tablo 4.12). İnceleme alanındaki kireçtaşı ve dolomitler üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları kullanılarak farklı kimyasal ayrışma indeksleri hesaplanmıştır (Tablo 4.13).

Tablo 4.12 Farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş olan kimyasal ayrışma indeksleri ve tez kapsamında karbonatlı kayaçlar için üretilen yeni kimyasal ayrışma indeksi

Indeks Adı ve Sembolü	**Referans**	**Eşitlik**
Ayrısma Potansiyeli Indeksi (WPI)	Reiche (1943)	$\frac{(K_2O + Na_2O + CaO + MgO - H_2O)x100}{(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe2O_3 + FeO + TiO_2 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}$
Ürün İndeksi (PI)	Reiche (1943)	$\frac{SiO_2x100}{(SiO_2 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + Al_2O_3)}$
Geliştirilmiş Ayrışma Potansiyeli Indeksi (MWPI)*	Vogel (1973)	$\frac{(Na_2O + K_2O + CaO + MgO)x100}{(Na_2O + K_2O + CaO + MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)}$
Ruxton Oranı (RR)*	Ruxton (1968)	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$
Vogt Oranı (VR)*	Vogt (1927) Roaldset (1972)	$\frac{Al_2O_3 + K_2O}{MgO + CaO + Na_2O}$
Kimyasal Ayrışma İndeksi (CIW)*	Harnois (1988)	$\frac{Al_2O_3x100}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O}$
Kimyasal Alterasyon İndeksi (CIA)*	itt ve Young (1982)	$\frac{Al_2O_3x100}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O}$
Parker İndeksi (WIP)*	Parker (1970)	$[\frac{2Na_2O}{0.35} + \frac{MgO}{0.9} + \frac{2K_2O}{0.5} + \frac{CaO}{0.7}]x100$
Karbonatlı Kayaç Kimyasal Ayrışma İndeksi (CWICR)**	Bilen (2020)	$\frac{MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO}$

* Hesaplanan kimyasal indeksler
** Karbonatlı kayaçlar için üretilen yeni kimyasal ayrışma indeksi

Bu çalışmada kullanılan kayaç türlerinden kireçtaşları ve dolomitler için literatürde bugüne kadar yapılmış olan herhangi bir kimyasal ayrışma indeksi olmadığı belirlenmiş buna bağlı olarak da karbonatlı kayaçlar için yeni bir kimyasal ayrışma indeksi geliştirilmiştir. Karbonatlı Kayaç Kimyasal Ayrışma İndeksi (Chemical Weathering Index for Carbonate Rocks -CWICR) adı verilen bu yeni indekste, kireçtaşları ve dolomit örneklerine ait ana element oksitlerden CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 değerleri kullanılmıştır. Kireçtaşları için oluşturulan formülün pay kısmında ayrışma ile doğru orantılı olarak artış gösteren ana element oksitlerden MgO, SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 kullanılırken, payda kısmında ise kireçtaşlarının ana element oksitlerinden olan CaO değerleri kullanılmıştır.

$$CWICRl = \frac{(MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)}{(CaO)}$$

Dolomitler için oluşturulan formülün pay kısmında ayrışma ile doğru orantılı olarak artış gösteren karbonat bileşikleri dışındaki ana element oksitlerden SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 kullanılırken, payda kısmında ise dolomitlerin temel ana element oksitlerinden olan CaO ve MgO değerleri kullanılmıştır.

$$CWICRd = \frac{(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)}{(CaO + MgO)}$$

Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kimyasal analiz sonuçları ve karbonatlı kayaç kimyasal ayrışma indeksi (CWICR) değerleri sonuçları Şekil 4.39-4.40 ve Tablo 4.14-4.15'de sunulmuştur.

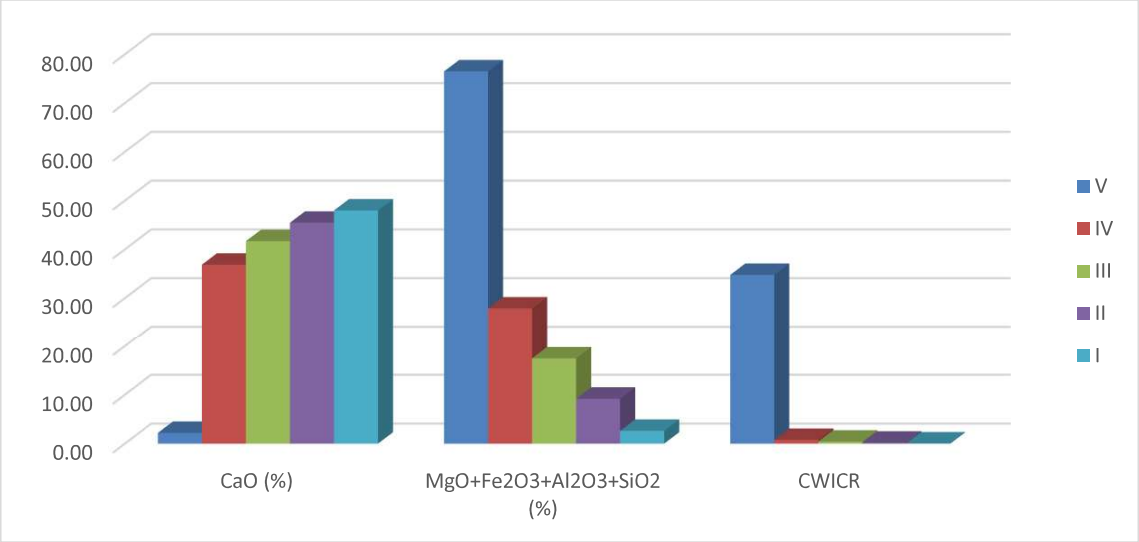
Önerilen kimyasal indekslerden, ayrışma potansiyeli Indeksi (WPI), geliştirilmiş ayrışma potansiyeli indeksi (MWPI), ürün indeksi (PI), Ruxton oranı (RR), Vogt oranı (VR), kimyasal ayrışma indeksi (CIW), kimyasal alterasyon indeksi (CIA), Parker indeksi (WIP) ve yeni önerilen karbonatlı kayaç kimyasal ayrışma indeksi (CWICR) mevcut kimyasal analiz sonuçlarına göre hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.16'da sunulmuştur. Analiz sonuçlarında V. Sınıfta meydana gelen hızlı yükselişin nedeni diğer ayrışma sınıflarında (I, II, III ve IV) kaya malzemesinin kullanılması, V. Sınıfta ise zemin malzemesinin kullanılmış olmasından kaynaklanmıştır.

Tablo 4.13 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kimyasal indeks değerleri

	Ayrışma derecesi	WPI	MWPI	PI	RR	VR	CIW	CIA	WIP	CWICR
Kireçtaşı	V	3.86	3.86	57.05	2.61	8.68	93.90	90.58	571.65	63.75
	IV	63.62	63.62	31.65	2.34	0.13	10.06	9.86	5687.51	0.76
	III	75.43	75.43	38.92	2.96	0.06	5.60	5.55	6429.59	0.42
	II	87.59	87.59	50.85	2.83	0.03	2.83	2.82	7338.72	0.20
	I	97.19	97.19	48.53	71.22	0.00	0.04	0.04	7721.86	0.05
Dolomit	V	6.26	6.32	56.56	1.88	18.82	98.87	85.29	1836.57	56.71
	IV	22.12	22.42	62.12	1.95	1.67	62.76	56.30	3203.62	4.53
	III	58.49	58.91	57.37	1.60	0.30	22.49	21.86	5660.17	0.72
	II	82.58	82.71	65.46	2.45	0.06	6.95	6.89	6834.55	0.21
	I	96.99	97.01	28.02	0.49	0.02	2.48	2.48	7716.66	0.03

Tablo 4.14 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait kimyasal analiz sonuçları ve yeni kimyasal ayrışma index değerleri

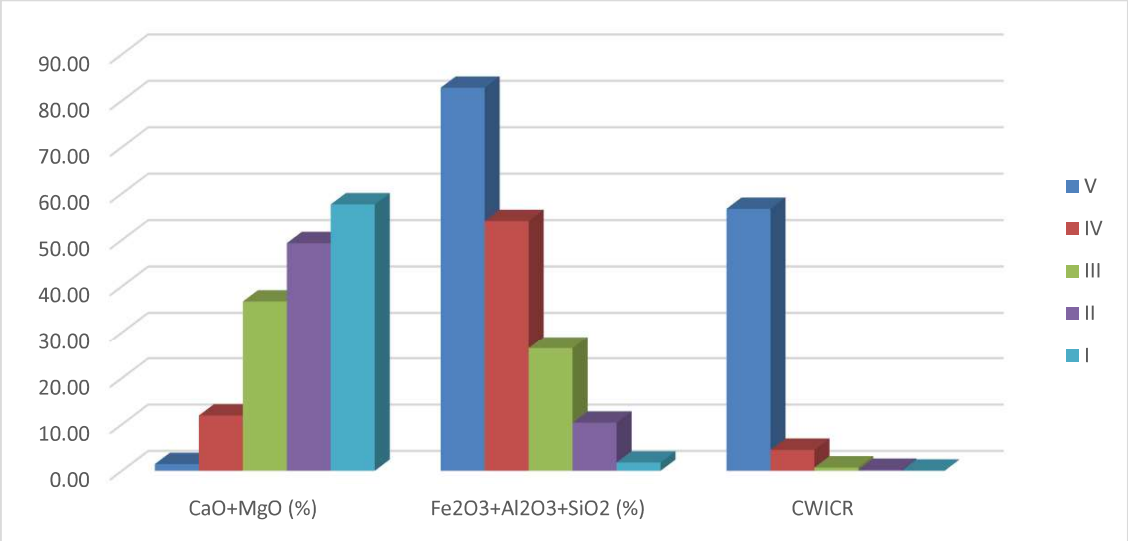
Ayrışma Sınıfı	CaO (%)	$MgO+SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ (%)	$CWICR_l$
V	1.20	76.50	63.75
IV	36.87	27.89	0.76
III	41.70	17.45	0.42
II	45.47	9.20	0.20
I	48.00	2.62	0.05



Şekil 4.39 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait kimyasal analiz sonuçları ve kimyasal ayrışma index değerleri

Tablo 4.15 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait kimyasal analiz sonuçları ve yeni kimyasal ayrışma index değerleri

Ayrışma Sınıfı	CaO+MgO (%)	$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ (%)	$CWICR_d$
V	1.46	82.80	56.71
IV	11.93	54.07	4.53
III	36.73	26.52	0.72
II	49.31	10.39	0.21
I	57.67	1.78	0.03



Şekil 4.40 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait kimyasal analiz sonuçları ve kimyasal ayrışma index değerleri

4.4.4.6 Ayrışma ile Fiziksel-Mekanik Özelliklerdeki Değişimler

Fiziksel ve mekanik özelliklerin ayrışma ile değişimi, kayaç kimyası, kayacın dokusu, kayaçları oluşturan mineraller ile kayaçların mikro ve makro ölçekteki yapısal unsurlarındaki farklılaşmalar bağlıdır. Fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimler ve değişim miktarları farklı ayrışma derecelerinin belirlenmesindeki önemli unsurlardır. Ayrışma ile fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimlerin ortaya konması amacıyla birçok parametrenin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

Çalışma sahasında, tamamen ayrışmış seviyelerden standartlara uygun blok örnek almak ve deneylere örnek hazırlamak oldukça zordur. Çünkü bu seviyelerde kaya kütlesi özelliği kaybedilmiş, ayrışmış ürünlerinden oluşan zemin malzemsi formuna dönüşüm olmuştur. Tamamen ayrışmış seviye hariç tüm ayrışma derecelerini temsil edecek şekilde uygun boyutlu (30x30x30 cm) blok örnekler alınmıştır.

Rezidüel zemin seviyelerini temsilen profilin en üst kesimleri ve fay zonlarından (ezik zon) terra rosa denilen genellikle kırmızı renklerde ayrışmış malzeme olarak tanımlanan killi ve demir oksitli kalıntı toprak (zemin) örnekleri alınmıştır. Her ayrışma derecesi için kireçtaşlarında 20'şer, dolomitlerde 45'er deney yapılmıştır. Ayrışma derecesi ilerledikçe blok

içindeki süreksizlik, erime boşluğu, killeşme vb. problemler nedeniyle karot örnek alım verimi oldukça düşmüştür (Şekil 4.61).

Özgül ağırlık

Kayaçların özgül ağırlık değerleri ile oluşumlarından günümüze kadar geçirmiş oldukları jeolojik süreçlerdeki ayrışma miktarları arasında bir ilişki bulunmaktadır (Fookes, 1980). Çalışma alanında bulunan kireçtaşı ve dolomitlerin ayrışmaya bağlı olarak ortaya çıkan karbonat olmayan mineraller içermeleri nedeniyle özgül ağırlık değerlerinin farklı ayrışma derecelerinde değişebileceği tahmin edilerek örnekleme işleminde buna dikkat edilmeye çalışılmıştır. İnceleme sahasında bulunan kireçtaşı ve dolomitler için tazeden tamamen ayrışmış seviyeye kadar her ayrışma derecesini temsil edecek özgül ağırlık deneyleri ISRM (2007)'in önerdiği yönteme göre yapılmış olup sonuçlar Tablo 4.16'da sunulmuştur. Özgül ağırlık değerlerinin ayrışmaya bağlı olarak değişimleri ise Şekil 4.41 ve 4.42'de verilmiştir.

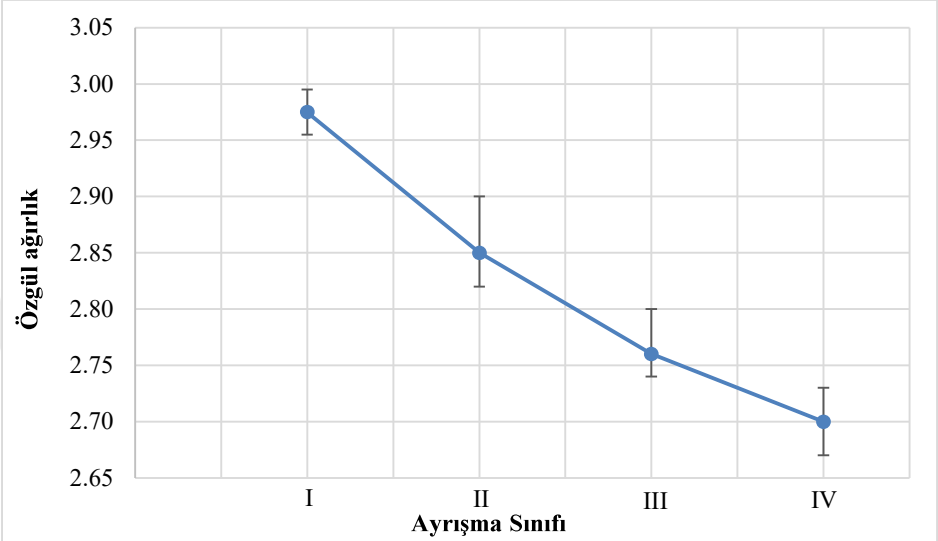
Tablo 4.16 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait özgül ağırlık değerleri

	Özgül ağırlık						
Kireçtaşı	Deney Sayısı	Ort.	En Düşük	En Yüksek	SS	Değişim (%) *	Değişim (%) **
IV	5	2.70	2.67	2.73	0.02	9.24	2.17
III	5	2.76	2.74	2.80	0.02	7.23	3.16
II	5	2.85	2.82	2.90	0.02	4.20	4.20
I	5	2.98	2.96	2.99	0.02	-	-
Dolomit							
IV	5	2.50	2.48	2.52	0.02	17.76	8.76
III	5	2.74	2.56	2.89	0.07	9.87	6.80
II	5	2.94	2.91	2.97	0.03	3.29	3.29
I	5	3.04	3.00	3.14	0.05	-	-

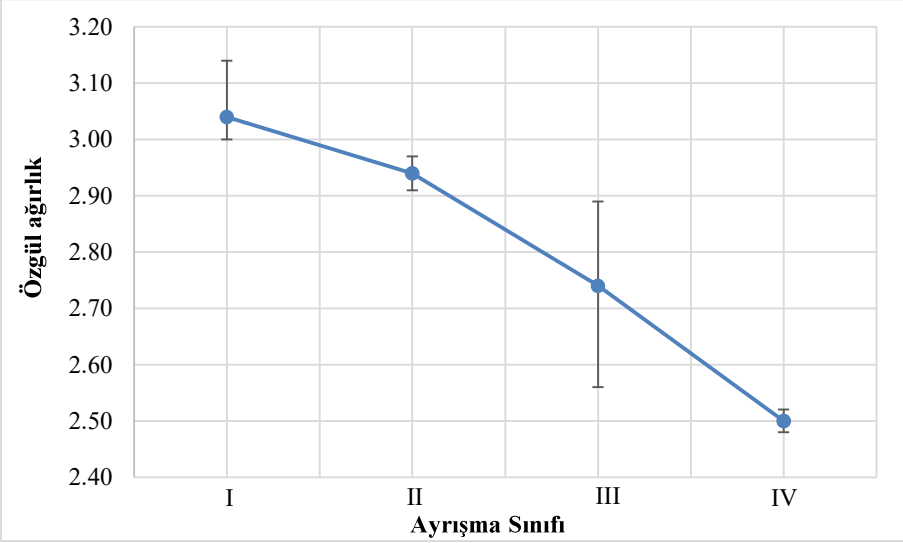
* Taze kayaya göre
** Bir önceki ayrışma derecesine göre
SS: Standart Sapma

Deney sonuçlarına göre kireçtaşlarının özgül ağırlıkları ayrışma derecelerine göre en fazla 2.99, en az 2.67 değerlerini almaktadır. Bu durum, ortalama % 9.24'lük bir değişimi göstermektedir. Dolomitlerde ise özgül ağırlık en fazla 3.14, en az 2.48 değerlerini almakta olup ortalama % 17.76'lık bir değişime karşılık gelmektedir. Özgül ağırlık değişimlerindeki azalmalar kireçtaşı ve dolomitlerin ana mineralleri olan kalsit ve dolomitin erime-çözünme türü kimyasal ayrışma ile ortamdan uzaklaşması ve ortamda demir oksit ve kil grubu minerallerin birikim göstermesi

ve artan gözneklilik artışı ile açıklanabilir. Özellikle dolomitlerde dolomitleşme etkisi sonucunda meydana gelen porozite artışı da özgül ağırlık değerlerinde azalmaya neden olmuştur.



Şekil 4.41 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait özgül ağırlık değerlerinin değişimi



Şekil 4.42 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait özgül ağırlık değerlerinin değişimi

Kuru Birim Hacim Ağırlık

Kayaçların mineralojik bileşimleri ve dokuları kuru birim hacim ağırlık değerlerinin farklılık göstermesinde etken rol oynamaktadır. Ayrıca incelenen kayaçların kimyasal ve petrografik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Mikro yapıdaki değişiklikler ve yeni mineral gelişimleri kayacın kuru birim hacim ağırlık, gözeneklilik ve ağırlıkça su emme özelliklerini etkilemektedir (Tuğrul, 2004).

İnceleme alanında bulunan kireçtaşı ve dolomitler için her bir ayrışma derecesini temsil edecek kuru birim hacim ağırlık deneyleri ISRM (2007)'in önermiş olduğu yönteme göre yapılmıştır. Deneyler farklı boyutlardaki karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kireçtaşı ve dolomitlere ait kuru birim hacim ağırlık değerleri Tablo 4.17'de sunulmuştur. Kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ayrışmaya bağlı olarak değişimleri ise Şekil 4.43 ve 4.44'de verilmiştir.

Tablo 4.17 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait kuru birim hacim ağırlık değerleri

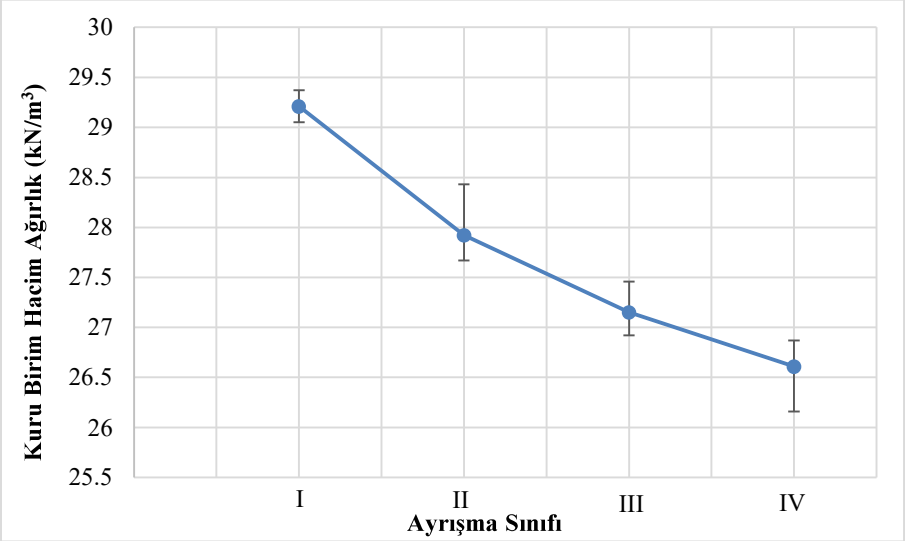
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)							
Kireçtaşı	Deney Sayısı	Ort.	En Düşük	En Yüksek	SS	Değişim (%) *	Değişim (%) **
IV	5	26.61	26.16	26.87	0.19	9.23	2.48
III	5	27.15	26.92	27.46	0.19	6.92	3.07
II	5	27.92	27.67	28.43	0.21	3.97	3.97
I	5	29.21	29.05	29.37	0.23	-	-
Dolomit							
IV	5	24.55	24.33	24.77	0.19	17.70	8.53
III	5	26.84	25.1	28.35	0.72	10.02	6.84
II	5	28.81	28.55	29.18	0.25	3.42	3.42
I	5	29.83	29.42	30.81	0.49	-	-

* Taze kayaya göre
** Bir önceki ayrışma derecesine göre
SS: Standart Sapma

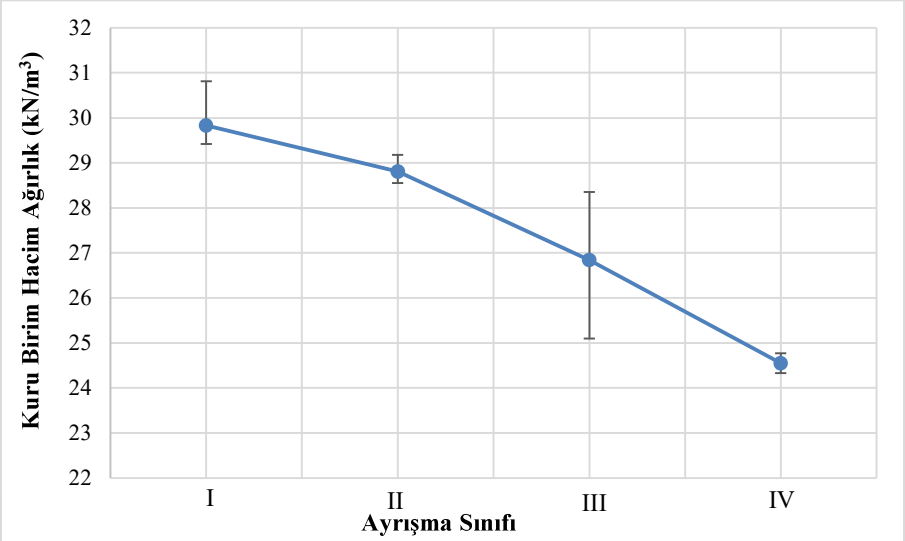
Deney sonuçlarına göre kireçtaşlarının kuru birim hacim ağırlık değerleri ayrışma derecelerine göre en fazla 29.37 kN/m^3, en az 26.16 kN/m^3 değerlerini almıştır. Bu durum ortalama % 9.23'lik bir azalmayı işaret etmektedir. Dolomitlerin kuru birim hacim ağırlık değerleri ise, ayrışma derecelerine gör en fazla 30.81 kN/m^3, en az 24.33 kN/m^3 değerlerini almıştır. Bu

durum taze seviye ile tamamen ayrışmış seviye arasında % 17.70'lık bir azalmayı göstermektedir.

Hem kireçtaşları hem de dolomitlere bakıldığında ayrışma ile birlikte kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. İnceleme alanındaki kireçtaşı ve dolomitlerde ayrışmaya bağlı olarak boşluklu süreksizlik oluşumları (ikincil porozite) ve farklı türdeki gözneklilik (mikro-makro karts) oluşumlarındaki artış kayaçların kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azalmasında etkin rol oynamıştır. Ayrıca kalsit ve dolomit minerallerinden daha düşük özgül ağırlıklara sahip kil grubu minerallerin miktarının ayrışmayla birlikte artış göstermesi de kayaçların kuru birim hacim ağırlık değerlerinin düşmesine neden olmuştur.



Şekil 4.43 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin değişimi



Şekil 4.44 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin değişimi

Etkin (Görünür) Gözeneklilik

Kayaç içerisinde birbiriyle bağlantılı olan boşlukları ifade etmek için kullanılan etkin gözenekliliği belirleyebilmek için kireçtaşı ve dolomitlerin her ayrışma derecesi için deneyler ISRM (2007)'in önerdiği yönteme göre yapılmıştır. Etkin gözeneklilikteki değişimler kayacın diğer fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Kireçtaşı ve dolomitlere ait etkin gözeneklilik değerleri Tablo 4.18'de sunulmuştur. Ayrışmaya bağlı olarak değişimleri ise Şekil 4.45 ve 4.46'da verilmiştir.

Tablo 4.18 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait etkin gözeneklilik değerleri

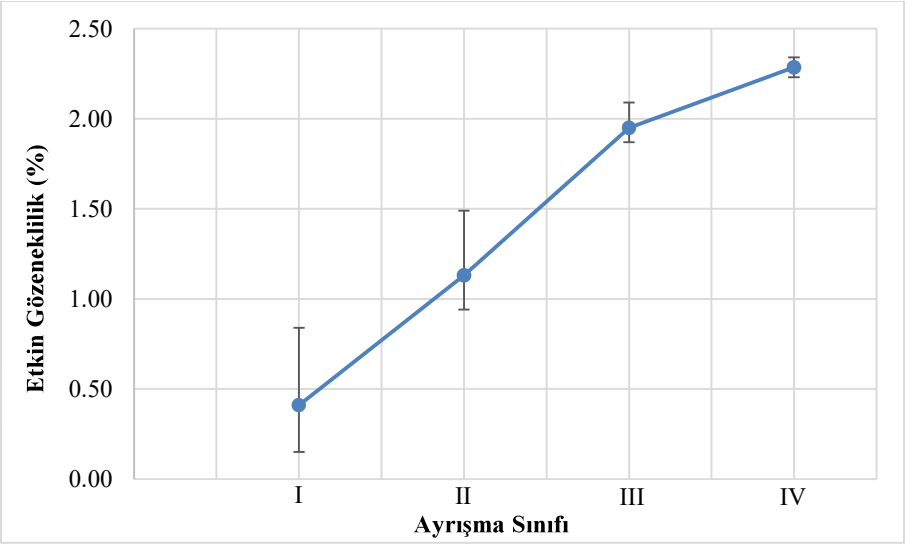
Etkin gözeneklilik, ne (%)							
Kireçtaşı	Deney Sayısı	Ort.	En Düşük	En Yüksek	SS	Değişim (%) *	Değişim (%) **
IV	5	2.29	2.23	2.34	0.08	358.00	15.66
III	5	1.95	1.87	2.09	0.09	375.61	62.30
II	5	1.13	0.94	1.49	0.20	144.00	144.00
I	5	0.41	0.15	0.84	0.19	-	-
Dolomit							
IV	5	9.10	7.63	10.22	0.95	1321.88	167.65
III	5	3.40	3.08	3.98	0.34	431.25	86.81
II	5	1.82	1.12	2.92	0.55	184.38	184.38
I	5	0.64	0.06	1.08	0.23	-	-

* Taze kayaya göre
** Bir önceki ayrışma derecesine göre
SS: Standart Sapma

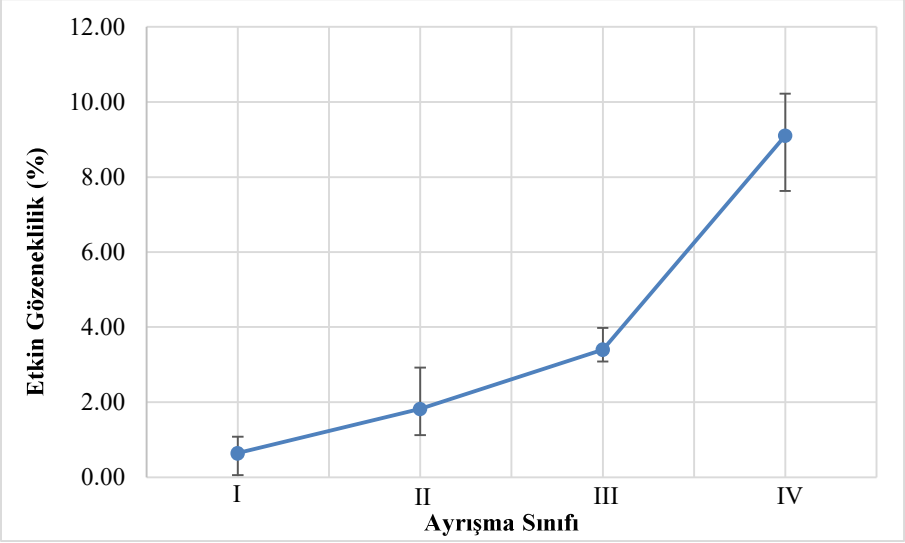
Kireçtaşlarına ait etkin gözeneklilik değerleri en fazla % 2.34, en az % 0.15 olarak ölçülmüştür. Ortalama değişim % 358.00 olarak gerçekleşmiştir. Dolomitlerin etkin gözeneklilik değerleri ise, ayrışma derecelerine göre en fazla % 10.22, en az % 0.06 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, ortalama % 1321.88'lik bir değişimi göstermektedir. Her iki kayaç türünde de orta derecede ayrışma seviyesinden sonra keskin bir artış gözlenmektedir. Bu durum birbiriyle bağlantılı erime boşluklarının (süreksizlik ve karstik boşluk) miktarlarında ve boyutlarındaki artışın bir göstergesidir. Ayrışma ile birlikte çözünme hızındaki artış kayaçlardaki gözenekliliğinde artışına neden olmaktadır. Minerallerin çözünme katsayılarını ifade eden Ksp değerinin dolomitlerde (17.09) kalsite (8.48) göre daha yüksek olması ve dolomitleşme olayının etkisi, dolomitlerdeki etkin gözenekliliğin daha fazla artmasını sağlamaktadır.

Çalışma sahasındaki dolomitler ve kireçtaşlarının poroziteleri kıyaslandığında hem makro ölçekte hem de mikro ölçekte dolomitlerin porozitelerinin daha fazla olmsının üç ana sebebi olduğu düşünülmektedir. Bunlardan birincisi, Mg elementinin atom yarıçapının (12) Ca (20)' a göre daha az olmasından dolayı dolomitleşme olayı sırasında boşalan Ca elementlerinin atom yarıçapını yeterince dolduramayan Mg elementinden dolayı dolomitler daha porozdur. İkincisi, Mg elementinin iyon potansiyelinin Ca' a göre daha düşük olmasından dolayı daha mobil olması ve kimyasal ayrışma sırasında kayacın bünyesinden ilk harekete geçerek ayrılan onun

olması. Üçüncüsü, dolomitin çözünme katsayısının kalsite göre daha büyük olmasından dolayı (Kspdolomit: 17.09 > Kspkalsit: 8.48).



Şekil 4.45 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait etkin gözeneklilik değerlerinin değişimi



Şekil 4.46 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait etkin gözeneklilik değerlerinin değişimi

Ağırlıkça Su Emme

Karbonatlı kayaçlardan kireçtaşı ve dolomitlerin erime potansiyellerinin yüksek olması ve ayrışma ürünlerinden kil grubu minerallerin su emme kapasitelerinin fazla olmasından ötürü, ağırlıkça su emme değerlerinin belirlenmesi ayrışma derecelerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Ayrıca kayaç içerisindeki boşluklarda (süreksizlik, mikrokarstik boşluk, erime boşlukları vb.) bulunan suyun ısıl değişimlerle kayacın ayrışma sürecine etkisi de oldukça önemlidir. Isıl değişkenler olarak yüzeyde ve yeraltında ıslanma-kuruma, donma-çözülme vb. özellikler sıralanabilir. Boşluklardaki suyun donarak boşluk çeperlerine baskı kurması sonucu hacim artışı meydana getirmesi (fiziksel ayrışma) ile kaya kütlesinde çatlaklı ve bloklu yapıların ortaya çıkışı, ayrıca bu boşluklardaki suyun hareketi ile kayacın erime-çözünme türü kimyasal ayrışma evrelerini başlatıcı ve geliştirici olması ve bunların yanı sıra ayrışma ürünlerinden kil grubu minerallerin su emme kapasitelerinin yüksek olması göz önünde bulundurulması gereken ölçütlerdir. Ağırlıkça su emme değerlerini belirleyebilmek için her ayrışma derecesi için (tamamen ayrışmış seviye hariç) kireçtaşı ve dolomitlere ait deneyler ISRM (2007)'in önermiş olduğu yönteme göre yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.19'da sunulmuş olup ayrışma ile meydana gelen değişimler Şekil 4.47 ve 4.48'de verilmiştir.

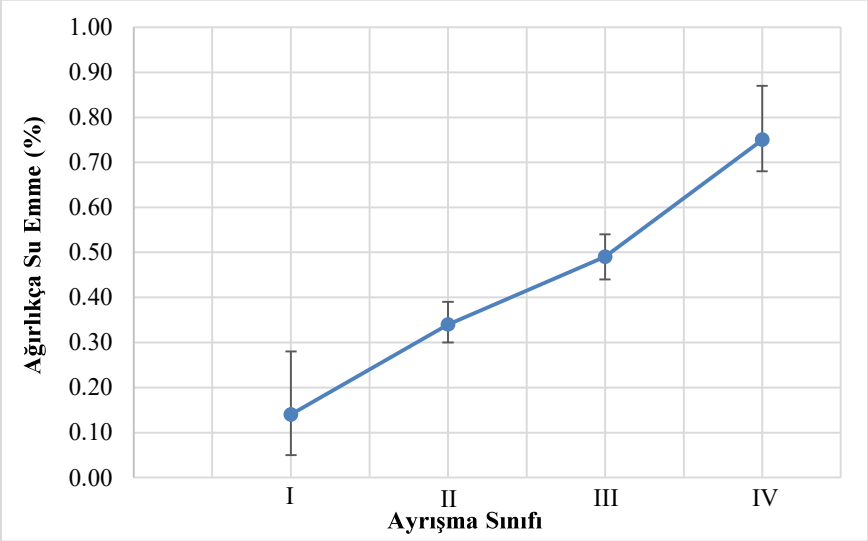
Tablo 4.19 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait ağırlıkça su emme değerleri

Ağırlıkça Su Emme, Wa (%)							
Kireçtaşı	Deney Sayısı	Ort.	En Düşük	En Yüksek	SS	Değişim (%) *	Değişim (%) **
IV	5	0.75	0.68	0.87	0.07	358.82	59.18
III	5	0.49	0.44	0.54	0.07	250.00	40.00
II	5	0.34	0.30	0.39	0.04	105.88	105.88
I	5	0.14	0.05	0.28	0.06	-	-
Dolomit							
IV	5	3.82	3.08	4.33	0.46	1023.53	247.27
III	5	1.10	0.91	1.36	0.13	223.53	34.15
II	5	0.82	0.74	0.88	0.05	141.18	141.18
I	5	0.34	0.02	0.69	0.16	-	-

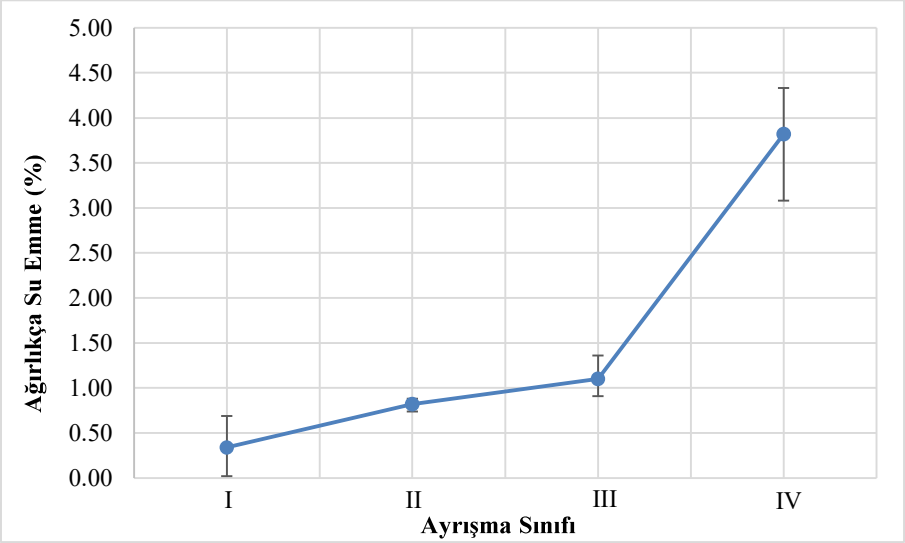
* Taze kayaya göre
** Bir önceki ayrışma derecesine göre
SS: Standart Sapma

Deney sonuçlarına göre kireçtaşlarının ağırlıkça su emme değerleri ayrışma derecelerine göre en fazla % 0.87, en az % 0.05 olarak ölçülmüştür. Bu durum ağırlıkça su emme değerlerinde

ortalama % 358.82'lik bir artışa işaret etmektedir. Dolomitlerin ağırlıkça su emme değerleri ayrışma derecelerine göre en fazla % 4.33, en az % 0.02 olarak ölçülmüş olup ortalama % 1023.53'lük bir artış meydana gelmiştir. Hem kireçtaşlarında hem de dolomitlerde orta derecede ayrışma seviyesinden sonra su emme değerlerinde meydana gelen hızlı artışlar, erime-çözünmenin süreksizlikleri genişleterek farklı ebatlarda karstik boşlukları (özellikle dolomitlerde) oluşturması ve ortamda killeşmenin gelişmesinden kaynaklanmaktadır. Kayaçlardaki gözneklilik artışı doğru orantılı olarak ağırlıkça su emme potansiyelini de arttırmıştır.



Şekil 4.47 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait ağırlıkça su emme değerlerinin değişimi



Şekil 4.48 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait ağırlıkça su emme değerlerinin değişimi

P dalga hızlarındaki değişimler

Laboratuvar ortamında kolaylıkla ölçülebilmeleri nedeniyle sismik hızları (özellikle P dalga hızı) kullanılarak kayaçların dayanım ve deformabilite özelliklerinin kestirimi kaya mekaniği alanında ilgi çekici konular arasında yer almıştır. Günümüze değin birçok araştırmacı tarafından dayanım özelliklerinin P dalga hızı kullanılarak tahmini amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında kolaylıkla ölçülebilmesi nedeniyle P dalga hızı (Vp) kullanılarak kaya malzemelerinin dayanım, deformabilite ve fiziksel özelliklerinin tahmini kaya mekaniği alanında ilgi çekici araştırma konularından biri olmuştur (Karakul ve Ulusay, 2012). Fourmaintraux (1975); kireçtaşı, kumtaşı ve granit örnekleri üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada Vp'nin gözeneklilikle ters orantılı olarak değiştiğini belirlemiştir. Gardner vd. (1974); kumtaşı, şeyl, kireçtaşı ve dolomitlerde Vp ile özgül ağırlık arasındaki ilişkiyi araştırmış ve Vp'nin özgül ağırlıkla doğru orantılı olarak değiştiğini belirlemiştir. Han (2004), Vp'nin gözeneklilik ve kil içeriğine karşı duyarlılığını çok değişkenli regresyon analizleriyle incelemiş ve her iki parametredeki artışın Vp'de azalmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. Ergüler 2007, Ergüler ve Ulusay 2009 ve Török ve Vasarhelyi 2010 kuru ve tam doygun koşullar için tek eksenli sıkışma dayanımının Vp'den kestirimine yönelik ampirik eşitlikler önermişlerdir.

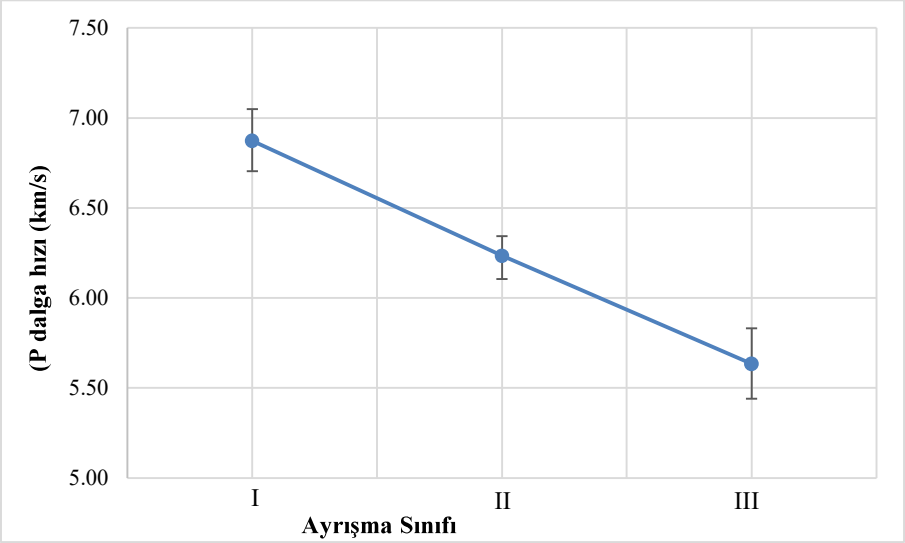
Kısacası P dalga hızı, kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmakta ve mekanik deneylerle uyumlu sonuçlar vermektedir. Bunun yanı sıra, ayrışmanın tanımlanmasında kullanışlı veriler sağlamaktadır. Deneyler ISRM (2007) tarafından önerilen deney yöntemine göre yapılmıştır. Araştırılan kayaçların farklı ayrışma derecelerindeki P dalga hızları Tablo 4.20'te sunulmuştur. Ayrışma ile P dalga hızlarında meydana gelen değişimler ise Şekil 4.49 ve 4.50'da verilmiştir.

Tablo 4.20 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait P dalga hızı değerleri

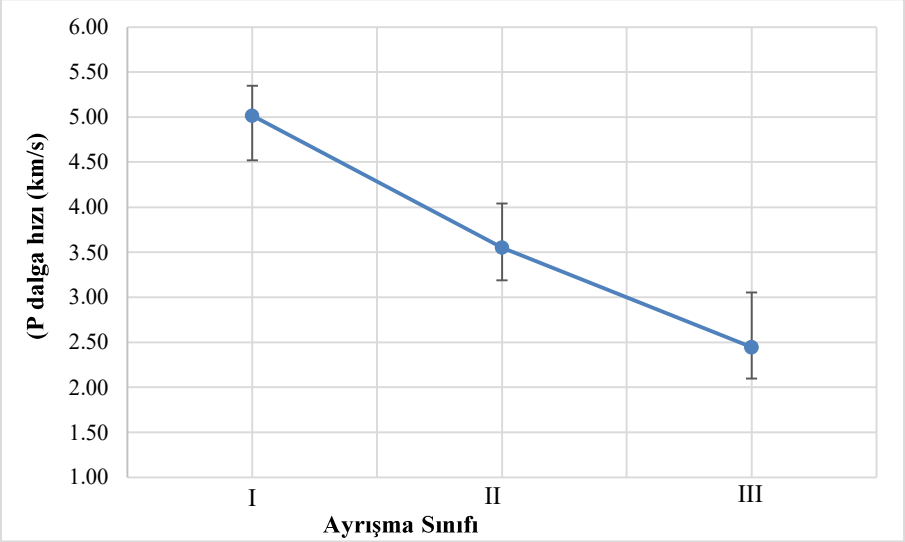
P Dalga Hızı (km/s)							
Kireçtaşı	Deney Sayısı	Ort.	En Düşük	En Yüksek	SS	Değişim (%) *	Değişim (%) **
III	5	5.63	5.44	5.83	0.31	18.02	9.61
II	5	6.23	6.11	6.34	0.23	9.30	9.30
I	5	6.87	6.70	7.05	0.32	-	-
Dolomit							
III	5	2.44	2.10	3.05	0.35	51.27	31.13
II	5	3.55	3.19	4.04	0.74	29.24	29.24
I	5	5.02	4.52	5.35	0.88	-	-

* Taze kayaya göre
** Bir önceki ayrışma derecesine göre
SS: Standart Sapma

Deney sonuçlarına göre kireçtaşlarının P dalga hızı değerleri ayrışma derecelerine göre en fazla 7.05 km/s, en az 5.44 km/s olarak ölçülmüştür. Ayrışmanın artmasıyla birlikte % 18.02'lik bir azalma saptanmıştır. Dolomitlerin P dalga hızları ise, en fazla 5.35 km/s, en az 2.10 km/s olarak ölçülmüştür. Bu durum ayrışma ile ortalama % 51.27'lik bir azalmayı işaret etmektedir. Hem kireçtaşları hem dolomitler için de ayrışmaya ilişkin olarak önceki fiziksel özelliklerde bahsedildiği gibi kayaçtaki gözenekliliğin artması P dalga hızı değerlerinin düşük çıkmasına neden olmaktadır. Ayrıca P-dalga hızının değişiminde, doygunluk ve doygunluktaki etkin kil içeriği gibi bağımsız değişkenlerin kullanıldığı ampirik eşitliklerin yüksek bir kestirim performansına sahip olduğunu göstermiştir (Karakul ve Ulusay, 2012). Han (1986), kuru ve tam doygun koşullarda Vp'nin gözeneklilik ve kil içeriğine karşı duyarlılığını çok değişkenli regresyon analizleriyle incelemiş ve her iki parametredeki artışın Vp'de bir azalmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda ayrışmadan ötürü özellikle dolomitlerdeki az ayrışmış seviyeden itibaren gözenekliliğin ve kil içeriğinin kireçtaşlarına kıyasla çok daha hızlı artışından ötürü P dalga hızı değerleri de oldukça düşük ölçülmüştür.



Şekil 4.49 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait P dalga hızı değerlerinin değişimi



Şekil 4.50 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait P dalga hızı değerlerinin değişimi

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ve Schmidt Sertlik Çekici Deneyi

Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri kireçtaşları ve dolomitler için standartlara uygun örnekeleme yapılabilen taze seviyeden orta derecede ayrışmış seviyeye kadar uygulanabilmiştir. Deneylerde 3.6 cm ve 4.2 cm çaplı ve boyu çapının en az iki katı olan karot örnekler üzerinde yapılmıştır. Blok örnekler ayrışmadan dolayı oldukça fazla kil ve demir oksit dolgulu süreksizlik içermektedir ve bünyesine aldığı su etkisiyle şişerek parçalandığı için karot

örnek hazırlama işlemlerinde problemler yaşanmıştır (Şekil 4.51). Şekil 4. 51 a ve c'de kayaçların ilk halleri görülmekte olup belirli bir süre sonunda Şekil 4.51 b ve d'de görüldüğü şekilde süreksizlikler boyunca parçalanmıştır. Ayrışma ile mekanik özelliklerdeki farklılaşmaların ortaya konması amacıyla yapılan bu deney ile kireçtaşı ve dolomitlerin farklı ayrışma derecelerinde meydana gelen değişimler aşağıda sunulmuştur. Ayrıca ISRM (2007)'nin önermiş olduğu yönteme göre arazide her iki profilde 1 m aralıklarla toplamda 720 (ortalama ölçüm değeri) adet Schmidt çekici geri sıçrama değeri (SHV) ölçülmüştür. Kireçtaşı ve dolomitlerin kırıklı çatlaklı olduğu alanlarda ve ayrışmış yüzeylerinde demir oksit ve killeşmeler mevcut olmasından dolayı SHV bu yüzeylerde yanıltıcı olabilmektedir. Her iki kayaç türü için elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı ve SHV değerleri Tablo 4.21'de sunulmuştur.

Çalışma alanındaki kireçtaşlarında orta derecede ayrışmış seviyeye kadar karot örnekleri elde edilebilmiştir. Yapılan deneylerde çalışma alanındaki kireçtaşı örneklerinin farklı ayrışma derecelerindeki tek eksenli sıkışma dayanımları en az 60.31 MPa ve en fazla 191.45 MPa olarak ölçülmüştür. Dolomitlerde de yine benzer şekilde ileri derecede ayrışmış seviyeye kadar karot örnekleri hazırlanabilmiştir. Dolomitlere ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin 28.48 MPa ile 94.40 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kayaçlara ait teksenli sıkışma dayanımı değerlerinin ayrışma ile değişimleri Şekil 4.52 ve 4.53'de verilmiştir.



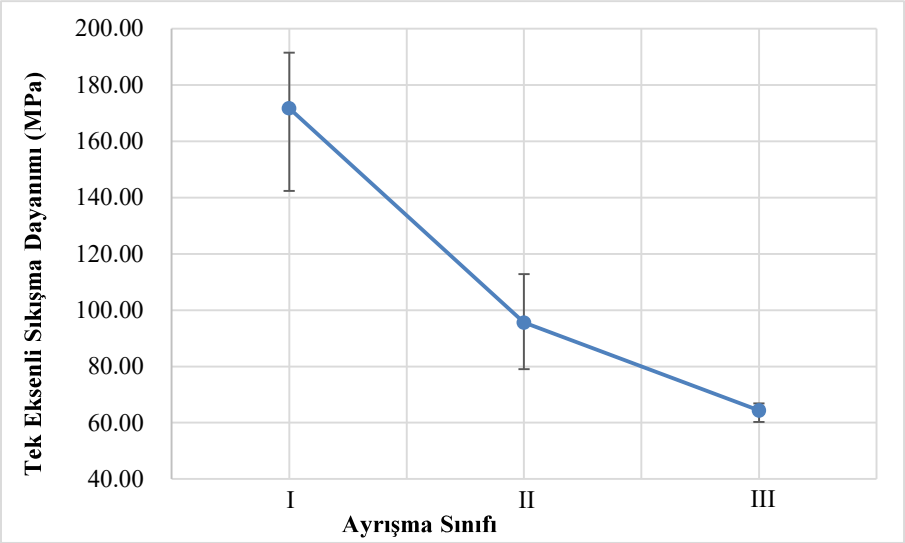
a b c d

Şekil 4.51 Karot örnek alımı sırasında ayrışmadan kaynaklı yaşanan sorunlar

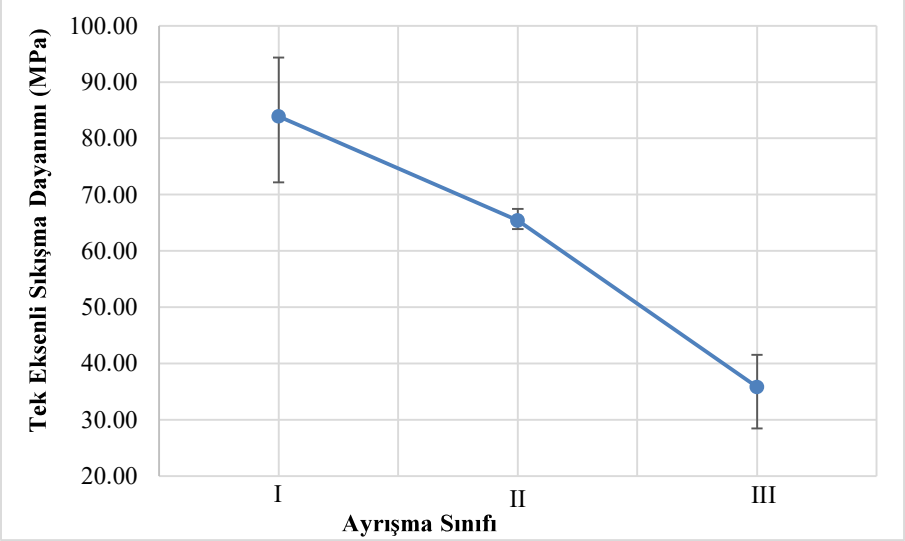
Tablo 4.21 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşı ve dolomitlere ait tek eksenli sıkışma deneyi sonuçları ve SHV değerleri

	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)							
Kireçtaşı	Deney Sayısı	Ort.	En Düşük	En Yüksek	SS	Değişim (%) *	Değişim (%) **	**SHV**
III	5	64.41	60.31	66.91	14.94	62.50	32.67	13-25
II	5	95.66	79.07	112.75	23.01	44.31	44.31	23-40
I	5	171.76	142.39	191.45	18.85	-	-	45-54
Dolomit								
III	5	35.86	28.48	41.57	8.34	57.25	45.17	13-21
II	5	65.41	53.88	71.48	11.74	22.05	22.05	19-30
I	5	83.90	72.18	94.40	17.71	-	-	36-44

* Az ayrışmış kayaya göre
** Bir önceki ayrışma derecesine göre
SS: Standart sapma
SHV: Schmidt çekici geri sıçrama değerleri



Şekil 4.52 Farklı ayrışma derecelerindeki kireçtaşlarına ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin değişimi



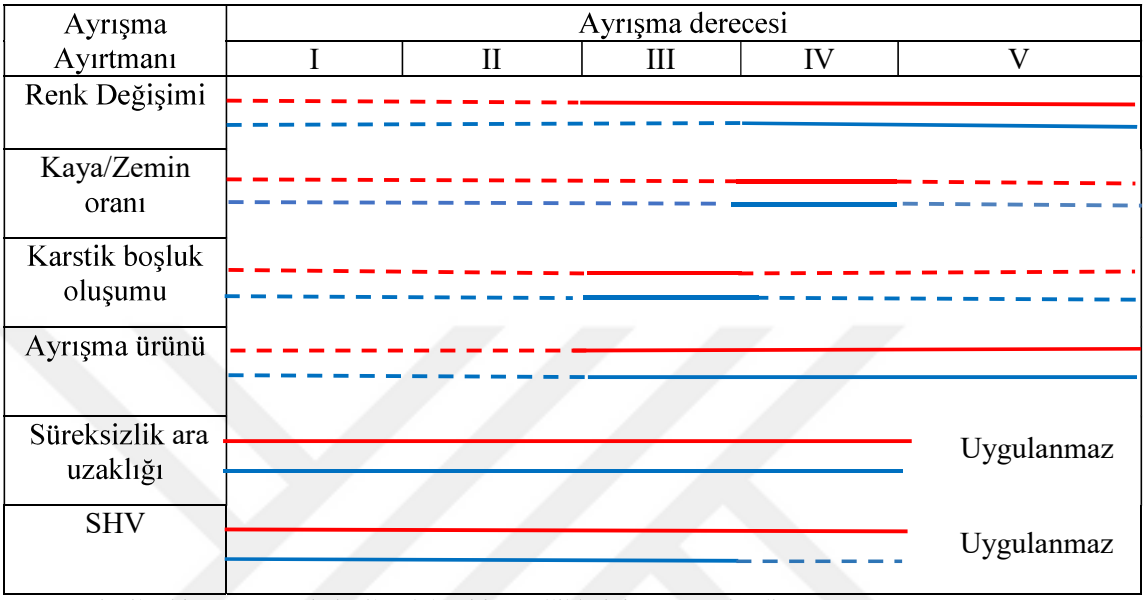
Şekil 4.53 Farklı ayrışma derecelerindeki dolomitlere ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin değişimi

4.4.5 İncelenen Kayaçlardaki Ayrışma Profilleri

Ayrışma profilleri tanımlanırken, farklı araştırmacıların geliştirmiş oldukları sınıflamalar incelenmiş ve kılavuz olarak kullanılmıştır. Literatürdeki ilk yapılan ayrışma sınıflamalarının genellikle gözlemsel verilere dayandığı görülmüştür (Branner 1896, Derby 1896, Blackwelder 1925, Brock 1943). Bu ayrışma sınıflamalarının çoğunda, kayaçta ve süreksizlik yüzeylerindeki renk değişimi, minerallerin alterasyonu, kaya/zemin oranı, ayrışmanın süreksiliklere etkisi, renk değişimi, orijinal dokunun korunması vb. şekilde genellikle gözlemsel veriler esas alınmaktadır. Son yıllarda yapılan bu araştırmalarda, daha önceki gözlemsel verilere dayanılarak yapılan ayrışma sınıflamaları (ANON 1977, ISRM 2007) yerine kayaçların mühendislik özelliklerine göre yapılan ayrışma sınıflamaları geliştirilmiştir. Bu sınıflamaların uygulandığı kayaç gruplarının genellikle magmatik ve az da olsa metamorfik kayaçlar üzerinde yapıldığı görülmüştür. Yapılmış olan sınıflamaların başlıcaları, Moye 1955, Ruxton ve Berry 1957, Dearman vd. 1978'in granitler üzerinde geliştirdiği sınıflamalar, Irfan ve Dearman 1978'in petrografik özellikleri esas alan genel sınıflaması, Deere ve Patton 1971'in önerdiği genel sınıflamalardır. Kireçtaşları ve dolomitler için yapılmış olan ayrışma sınıflamalarındaki eksiklikler göz önünde bulundurularak bu tez kapsamında yapılan ayrışma sınıflamalarının literatüre önemli katkısı olacağı düşünülmektedir.

Genel olarak karbonatlı kayaçlar için önerilen dominant ayrışma profili Şekil 4.54'de verilmiştir. Kireçtaşı ve dolomit profillerinin her bir ayrışma derecesine ait olan ve arazi çalışmaları neticesinde derlenen ayırtman özelliklerin karşılaştırılması Tablo 4.23'de sunulmuştur. İncelenen kayaçlardaki ayırtman özellikleri ve bu verilerden yararlanılarak kireçtaşları ve dolomitler için iki farklı tipik ayrışma profili ortaya konmuştur (Şekil 4.58 ve 4.59).

Tablo 4.23 İncelenen kireçtaşı ve dolomit kayaçlarının ayrışma derecelerini arazide belirlemede kullanılan özelliklerinin karşılaştırılması

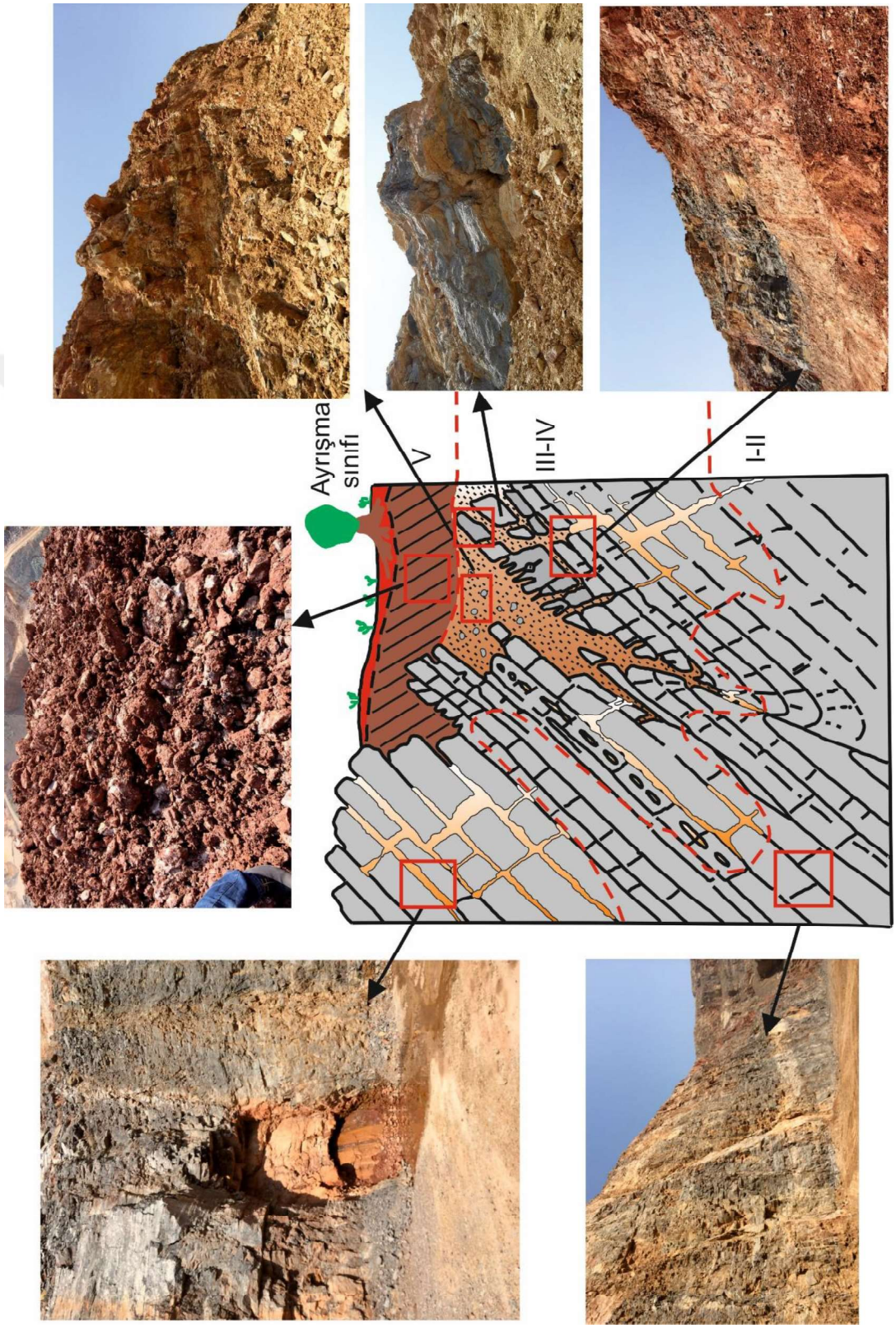


Kırmızı çizgiler kireçtaşı, mavi çizgiler dolomitin özelliklerini göstermektedir.
SHV: Schmidt çekici geri sıçrama değerleri
———— Açıkça belirgin
- - - - - - - - - - - - - - - - Ayırt etmek güç olabilir

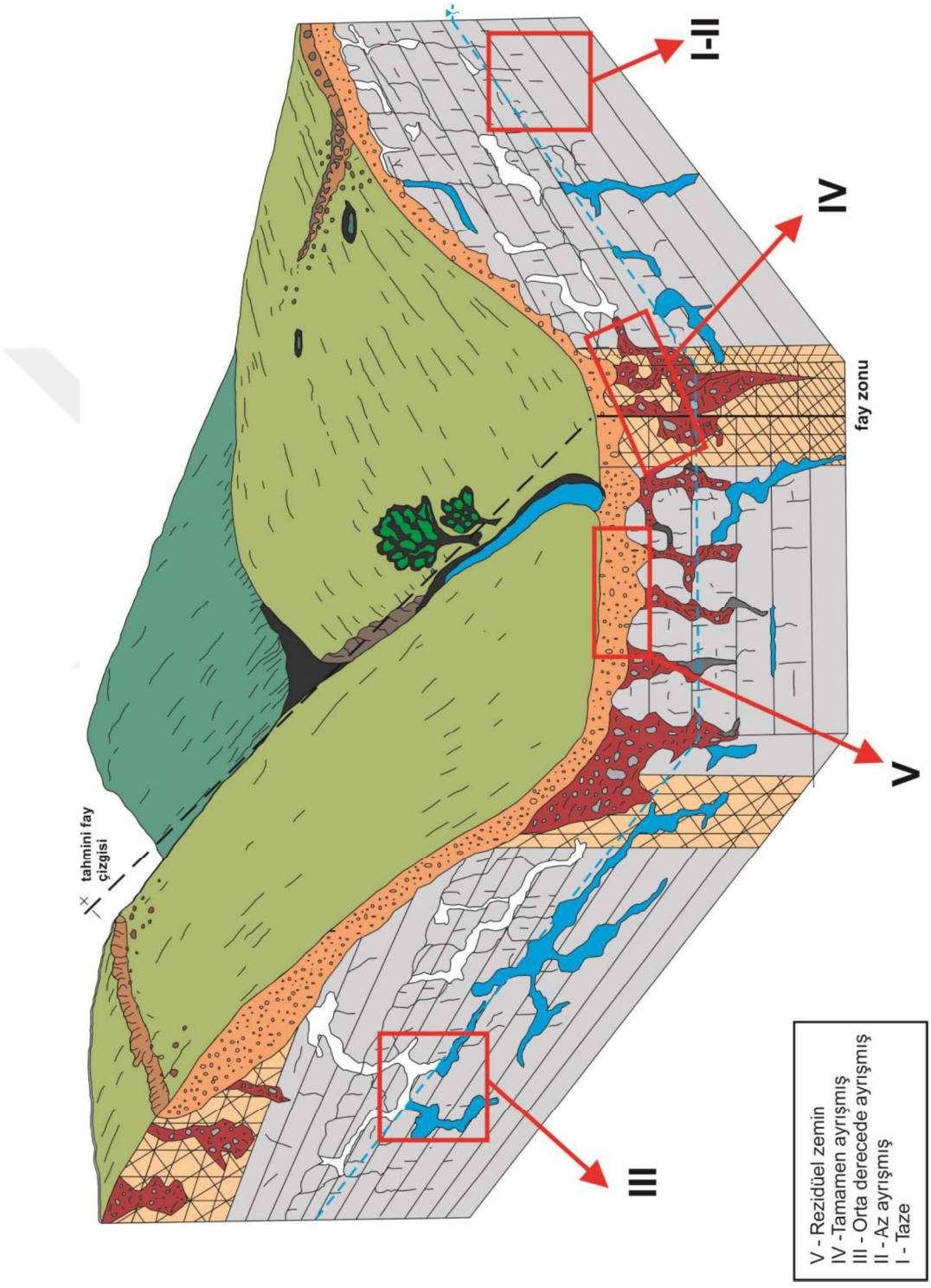
Kaya kütlesi tanımlamaları kapsamında, fiziko mekanik deneyler ve petrografik tanımlamalarda kullanılmak üzere taze seviyeden tamamen ayrışmış seviyeye kadar kaya bloğu ve kaya malzemesi örnekleri derlenmiş olup, ayrışma ürünlerinin tayini amaçlı yapılan kimyasal analizler için zemin örnekleri rezidüel zemin seviyesinden alınmıştır (Şekil 4.56-4.57).

Çalışma alanında bulunan kireçtaşı ve dolomit profillerinin taş ocağı içerisinde yer alması nedeniyle taze seviyelerden rezidüel zemin seviyelerine kadar oldukça net bir şekilde ayrışma dereceleri ve süreçleri görülmektedir. Burada ağırlıklı olarak fiziksel ve kimyasal ayrışmanın birbirini tetikler nitelikte olduğu belirlenmiştir. İnceleme sahasını etkileyen özellikle iklimsel faktörler, atmosferik koşullar, yeraltı sularının etkileri, tektonik faaliyetler ve oluşum koşulları etkisiyle hız kazanan ayrışma süreçlerinin neticesinde kireçtaşı ve dolomitlerde farklı ayrışma profillerinin gelişmesine neden olmuştur.

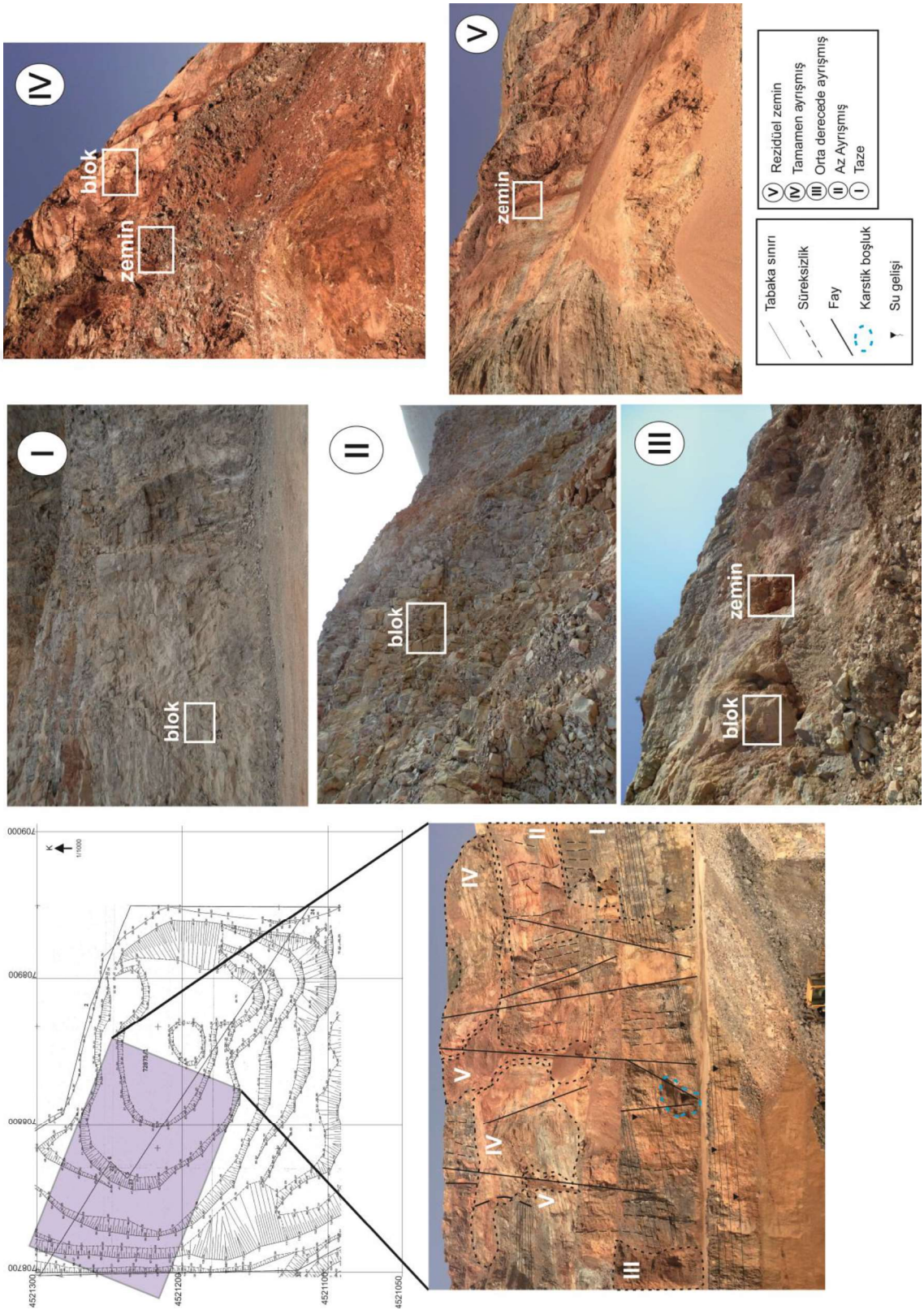
Arazi gözlemlerine göre, çalışma alanında ocak tabanından üst kotlara doğru çıkıldıkça ayrışmanın genel olarak artış gösterdiği görülmüştür.



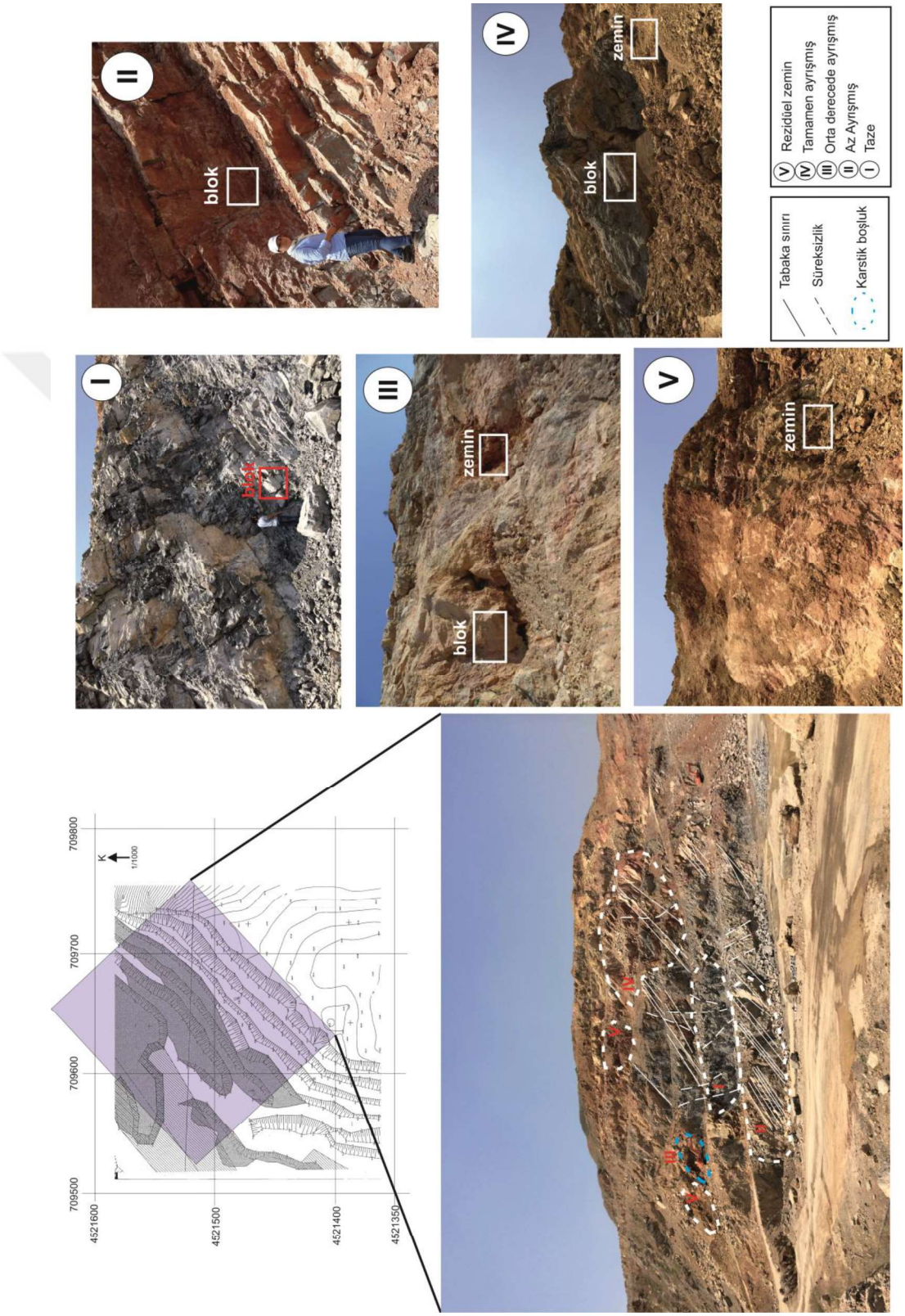
Şekil 4.54 Karbonatlı kayaçlara ait tipik ayrışma profili.



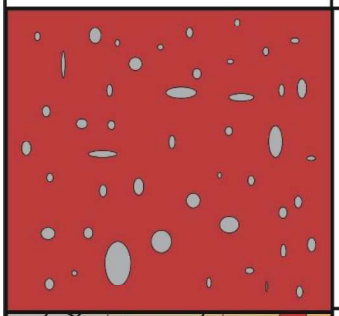
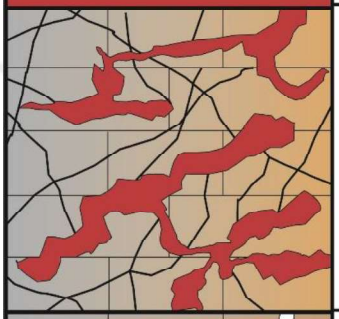
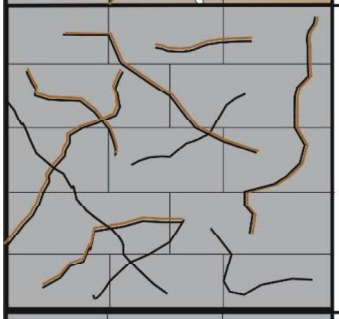
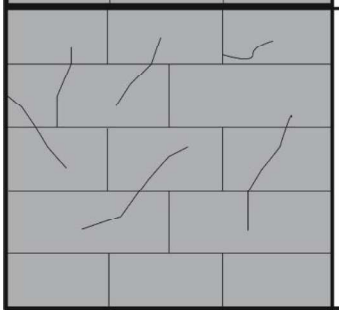
Şekil 4.55 Kireçtaşı kütlesindeki farklı ayrışma dereceleri (Fookes ve diğ., 2015'den sahaya uyarlanarak hazırlanmıştır)



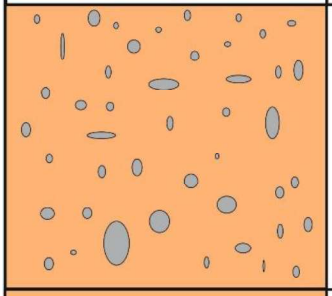
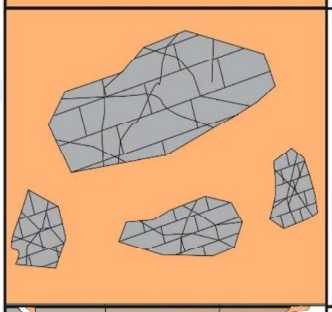
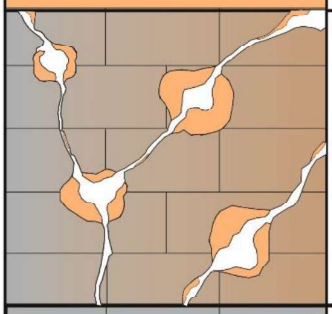
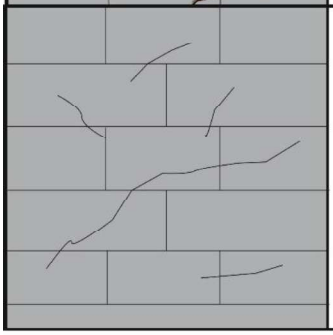
Şekil 4.56 Kireçtaşı ayrışma profili üzerindeki temsili örnekleme noktaları



Şekil 4.57 Dolomit ayrışma profili üzerindeki temsili örnekleme noktaları

Ayrışma Profili	Ayrışma derecesi	Tanımlama	Değerlendirilen parametreler	Kaya/ Zemin oranı (%)
	**Rezidüel zemin**	Taneler arası bağlar tamamen kaybolmuş durumdadır. Herhangi bir tabaka yapısı gözlenmemektedir. Çekirdek taşlar (çörtlü kalsit) ve ayrışma ürünleri (kil ve demir oksit) ana malzemeyi oluşturmaktadır. Parçalar elle kırılabilir. Kütle renk olarak tamamen kırmızı renkte görülmektedir.	CWICR: **63.75 (>60)** Kızdırma kaybı: **16.36 (15-20)**	**10-90**
	**Tamamen ayrışmış**	Kaya kütlesi oldukça kırıklı ve parçalanmış ve zayıflamış olsa da yapısını korumaktadır. Tabakalar izlenebilmektedir ve sürekliliği vardır. Çoklu süreksizlik setleri içermektedir. Önceden oluşan karstik boşluklar birbirleriyle bağlantılıdır ve kil ve demir oksitten oluşan ayrışma ürünleri ile dolguludur. Kaya kütlesi, yer yer orjinal siyahımsı gri renklerde gözlense de kil ve demir oksit miktarının artışından dolayı çoğunlukla turuncu ve kırmızı renkler hakimdir. Tek çekiç darbesi ile	CWICR: **0.76 (0.50-1.0)** Kızdırma kaybı: **31.25 (20-35)** Kuru birim hacim ağırlık: **26.61 (26.16-26.87)** Ağırlıkça su emme: **0.75 (0.68-0.87)** Etkin porozite:**2.29 (2.23-2.34)**	**70-30**
	**Orta derecede ayrışmış**	Kaya kütlesinin yapısı nispeten korunmuş biçimdedir. Kaya kırıklı çatlaklı ve az dayanımlıdır. Sistematik süreksizlik takımları gözlenmektedir. Süreksizlikler boyunca erime boşluk oluşumu gözlenmektedir ve bunlar yer yer birbirleri ile bağlantılı durumdadır. Tabaka sınırları halen belirgindir. Süreksizlik ve tabaka ara yüzeylerinde sıvama şeklinde ağırlıklı olarak kil ve göreceli olarak daha az miktarda da demir oksit boyamaları gözlenmektedir. Birkaç çekiç darbesi ile kırılmaktadır.	CWICR: **0.42 (0.30-0.50)** Kızdırma kaybı: **39.35 (35-45)** Kuru birim hacim ağırlık: **27.15 (26.92-27.46)** Ağırlıkça su emme: **0.49 (0.44-0.54)** Etkin porozite:**1.95 (1.87-2.09)** P dalga hızı: **5.63 (5.44-5.83)** Tek eksenli sıkışma dayanımı: **64.41 (60.31-66.91)**	**90-10**
	**Az ayrışmış**	Tabakalanma dışında çatlak sayısı artmaktadır. Süreksizlikler daha kalın, yüzeyleri genellikle kapalı ve renk değişimi nadiren gözlenmektedir. Dolomite göre çatlak oluşum alanı daha fazladır. Birkaç çekiç darbesi ile zor kırılmaktadır.	CWICR: **0.20 (0.10-0.30)** Kızdırma kaybı: **45.08 (40-50)** Kuru birim hacim ağırlık: **27.92 (27.67-28.43)** Ağırlıkça su emme: **0.34 (0.30-0.39)** Etkin porozite:**1.13 (0.94-1.49)** P dalga hızı: **6.23 (6.11-6.34)** Tek eksenli sıkışma dayanımı: **95.66 (79.07-112.75)**	**100-0**
	**Taze**	Kaya kütlesinin yapısı masif biçimdedir. Tabaka yapısı tamamen belirgindir. Süreksizlikler ince ve kapalı durumda olup yüzeylerinde herhangi bir renklenme mevcut değildir. Genellikle gri, koyu gri ve siyahımsı renklerdedir. Ayrışma sonucu gelişen renk değişimleri henüz gözlenmemiştir. Karstik boşluk içermemektedir. Kırmak için çok sayıda sert çekiç darbesi gerekmektedir.	CWICR: **0.05 (< 0.05)** Kızdırma kaybı: **49.28 (45-55)** Kuru birim hacim ağırlık: **29.21 (29.05-29.37)** Ağırlıkça su emme: **0.14 (0.05-0.28)** Etkin porozite:**0.41(0.15-0.84)** P dalga hızı: **6.87 (6.70-7.05)** Tek eksenli sıkışma dayanımı: **171.76 (142.39-191.45)**	**100-0**

Şekil 4.58 İnceleme alanındaki kireçtaşlarına ait tipik ayrışma profili

Ayrışma Profili	Ayrışma derecesi	Tanımlama	Değerlendirilen parametreler	Kaya/ Zemin oranı (%)
	**Rezidüel zemin**	Taneler arası bağlar tamamen kaybolmuş durumdadır. Herhangi bir tabaka yapısı gözlenmemektedir. Çekirdek taşlar (çörtlü dolomit) ve ayrışma ürünleri (kil ve demir oksit) ana malzemeyi oluşturmaktadır. Parçalar elle kırılabilir. Renk olarak turuncu ve sarımsı renklerde görülmektedir.	CWICR: **56.71 (40-68)** Kızdırma kaybı: **10.68 (5-18)**	**10-90**
	**Tamamen ayrışmış**	Kaya kütlesinin yapısı nispeten korunmamış haldedir. Tabakaların sürekliliği yoktur ve genellikle ayrışma ürünleri içine gömülmüş bloklar şeklinde görülmektedir. Süreksizlik dolgularını oluşturan mazlemenin genellikle kil ve demir oksit olduğu görülmüştür. Bu ayrışma derecesinin olduğu alanlar ayrışma ürünlerinden (kil ve demir oksit) dolayı genellikle turuncu ve kırmızı renklerde görülmektedir. Tek çekiç darbesiyle kolayca kırılmaktadır.	CWICR: **4.53 (1-10)** Kızdırma kaybı: **28.60 (20-35)** Kuru birim hacim ağırlık: **24.55 (24.33-24.77)** Ağırlıkça su emme: **3.82 (3.08-4.33)** Etkin porozite: **9.10 (7.63-10.22)**	**60-40**
	**Orta derecede ayrışmış**	Kaya kütlesinin yapısı nispeten korunmuş biçimdedir. Süreksizlik ara yüzeylerinde sıvama şeklinde ağırlıklı olarak demir oksit ve göreceli olarak daha az miktarda da kil boyamaları gözlenmektedir. Bu ayrışma sınıfının en karakteristik belirteci olan birbirleriyle bağlantılı karstik boşluklardır, farklı büyüklüklerde (60-100 cm çap) ve dairesel formdadır. Karst boşluklarının genellikle Fe-oksit içeriği yüksek, terra rosa olarak nitelendirilen ince taneli malzeme ile kısmen veya tamamen doldurulmuş olduğu gözlenmiştir. Malzeme tek çekiç darbesi ile zor kırılmaktadır.	CWICR: **0.72 (0.35-1.0)** Kızdırma kaybı: **33.85 (28-40)** Kuru birim hacim ağırlık: **34.67 (25.10-28.35)** Ağırlıkça su emme: **1.10 (0.91-1.36)** Etkin porozite: **3.40 (3.08-3.98)** P dalga hızı: **2.44 (2.10-3.05)**	**80-20**
	**Az ayrışmış**	Tabakalanma dışında çatlak sayısı artmaktadır. Süreksizlikler daha kalın ve yüzeyleri genellikle kapalı ve renk değişimi gözlenmektedir. Birkaç çekiç darbesi ile zor kırılmaktadır.	CWICR: **0.21 (0.10-0.35)** Kızdırma kaybı: **39.63 (32-42)** Kuru birim hacim ağırlık: **28.81 (28.55-29.18)** Ağırlıkça su emme: **0.82 (0.74-0.88)** Etkin porozite: **1.82 (1.12-2.92)** P dalga hızı: **3.55 (3.19-4.04)**	**100-0**
	**Taze**	Kaya kütlesinin yapısı masif biçimdedir. Tabaka yapısı tamamen belirgindir. Genellikle gri, koyu gri ve siyahımsı renklerdedir. Ayrışma sonucu gelişen renk değişimleri henüz gözlenmemiştir. Kırmak için çok sayıda çekiç darbesi gerekmektedir.	CWICR: **0.03 (0-07)** Kızdırma kaybı: **40.41 (35-45)** Kuru birim hacim ağırlık: **29.83 (29.42-30.81)** Ağırlıkça su emme: **0.34 (0.02-0.69)** Etkin porozite: **0.64 (0.06-1.08)** P dalga hızı: **5.02 (4.52-5.35)** Tek eksenli sıkışma dayanımı: **83.90 (72.18-94.40)**	**100-0**

Şekil 4.59 İnceleme alanındaki dolomitlere ait tipik ayrışma profili

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Deneysel verilerin değerlendireleceği tartışma bölümünde önceki bölümlerde sunulan kireçtaşı ve dolomitlere ait kimyasal analizler ile fiziksel ve mekanik deneylere ait veriler basit regresyon analizleriyle istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde; CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, kızdırma kaybı (LOI), Ruxton oranı (RR), karbonatlı kayaç kimyasal ayrışma indeksi (CWICR), özgül ağırlık (p), etkin (görünür) gözeneklilik (ne), ağırlıkça su emme (Wa), P dalga hızı (Vp) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 gibi kimyasal bileşenler çalışılan kayaçların hem taze hem de ayrışma ürünlerinin önemli bir kısmını oluşturduklarından dolayı istatistiksel analizlerde kullanılmıştır. Analizler sırasında en yüksek korelasyon katsayısını veren doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler Tablo 5.1 ve 5.2'de sunulmuştur.

Johnson (1984) tarafından, kayaçlara ait farklı özelliklerin birbirleri ile karşılaştırılmaları sonucunda elde edilen korelasyon katsayılarının 0.8'in üzerinde olması durumunda ilişkilerin uyumlu ve güvenilir olduğu belirtilmiştir

Tablo 5.1 Kireçtaşları için doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler ile elde edilmiş korelasyon katsayıları

	LOI	CWICR	ɣk	w_a	V_p	σ_c
LOI	-	0.98	0.90	-	0.93	0.88
CWICR	0.98	-	0.91	0.95	0.97	0.96
ɣk	-	-	-	0.97	0.95	0.95
w_a	-	-	-	-	0.92	0.96
V_p	-	-	-	-	-	0.96
σ_c	-	-	-	-	-	-

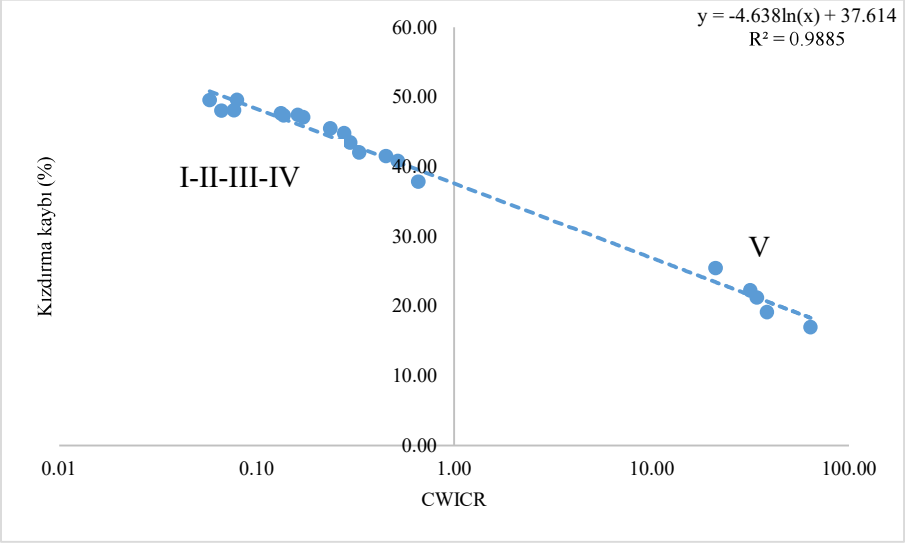
Sarı dolgulu alanlar doğrusal ilişkiyi göstermektedir.

Tablo 5.2 Dolomitler için doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler ile elde edilmiş korelasyon katsayıları

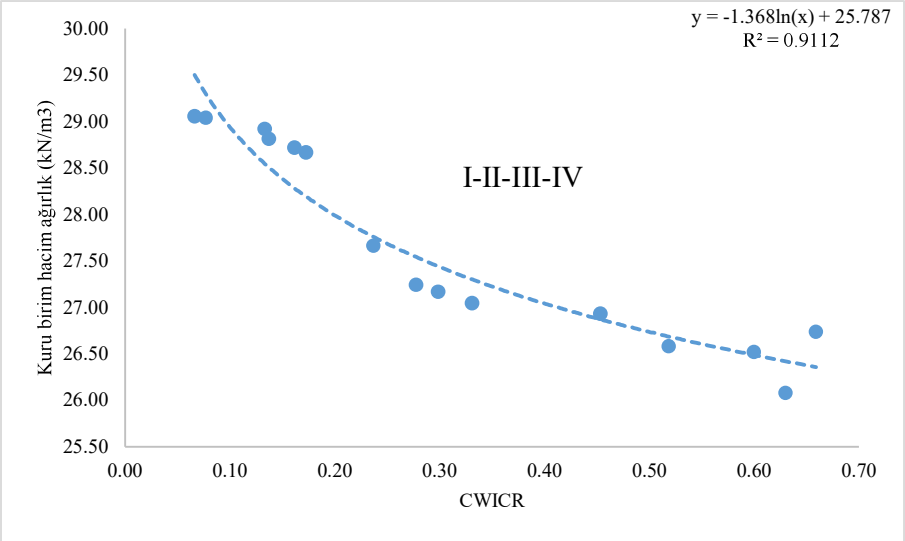
	LOI	CWICR	$ɣ_k$	w_a	V_p	σ_c
LOI	-	0.76	0.95	0.95	0.95	0.95
CWICR	0.76	-	0.95	0.92	0.92	0.96
$ɣ_k$	-	-	-	0.96	0.94	0.91
w_a	-	-	-	-	0.88	0.91
V_p	-	-	-	-	-	0.94
σ_c	-	-	-	-	-	-

Sarı dolgulu alanlar doğrusal ilişkiyi göstermektedir.

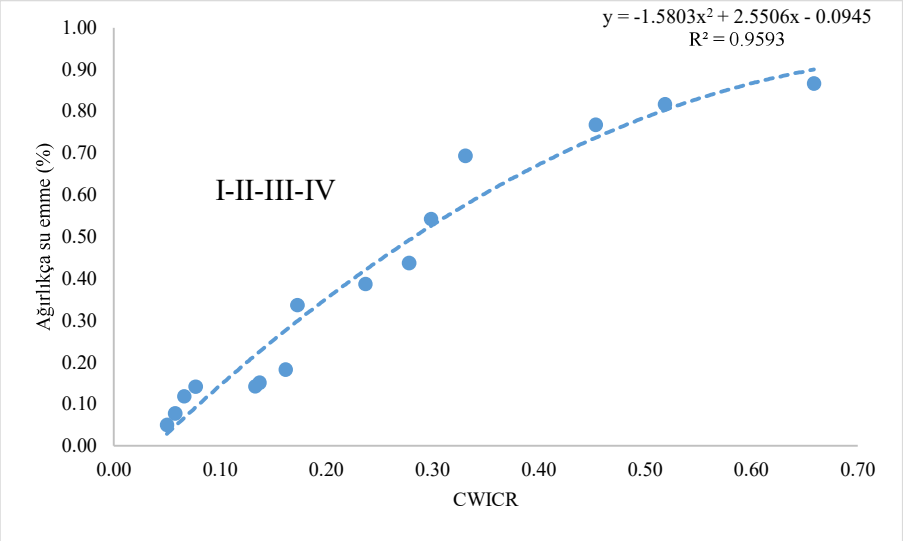
Kireçtaşları ve dolomitlere ait deneysel verilerin değerlendirilmesinde, ayrışma ile uyumlu değişim gösteren kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler ayrı ayrı incelenmiştir. İncelenen parametreler ve yüksek korelasyon katsayısı vererek anlamlı ilişkiler gösteren özelliklerden CWICR kimyasal ayrışma indeksi, kızdırma kaybı, kuru birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, P dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılmaları Şekil 5.1 ile 5.13 arasında sunulmuştur.



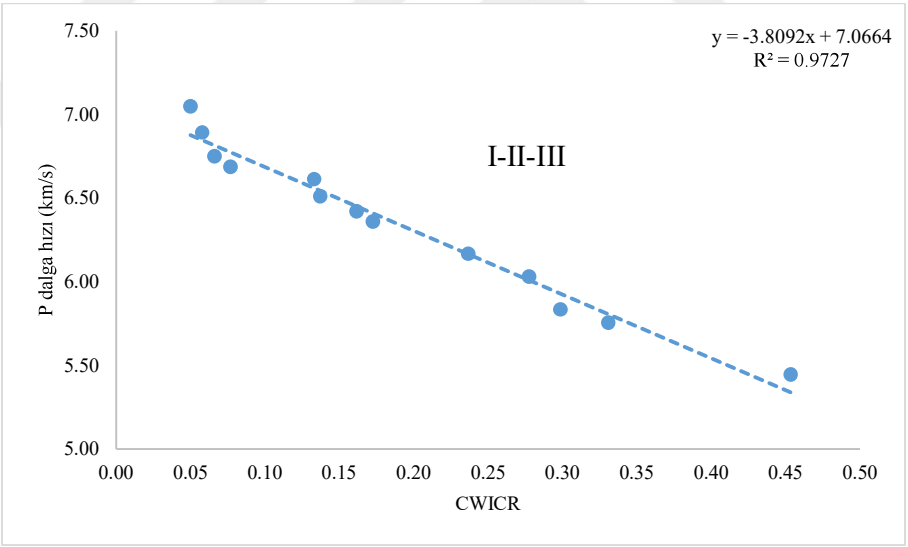
Şekil 5.1 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile kızdırma kaybı değerlerinin karşılaştırılması



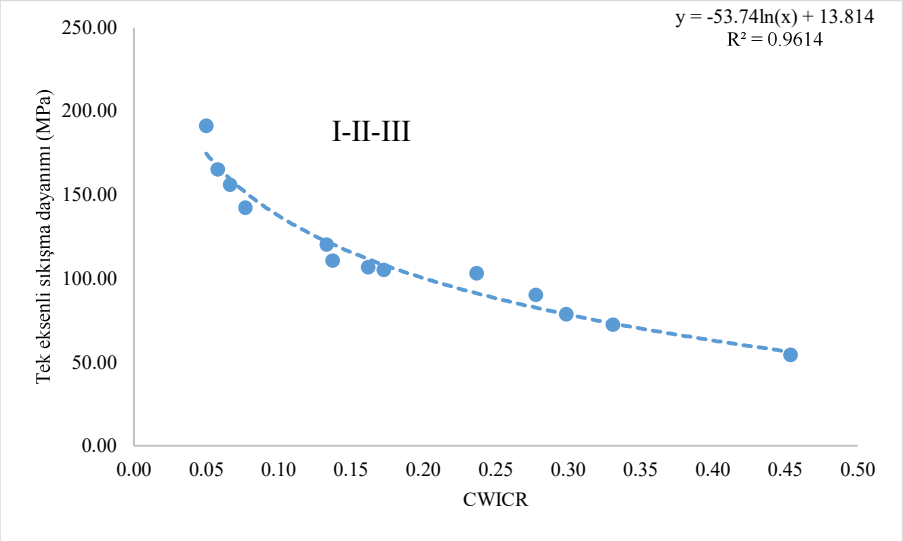
Şekil 5.2 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.3 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması

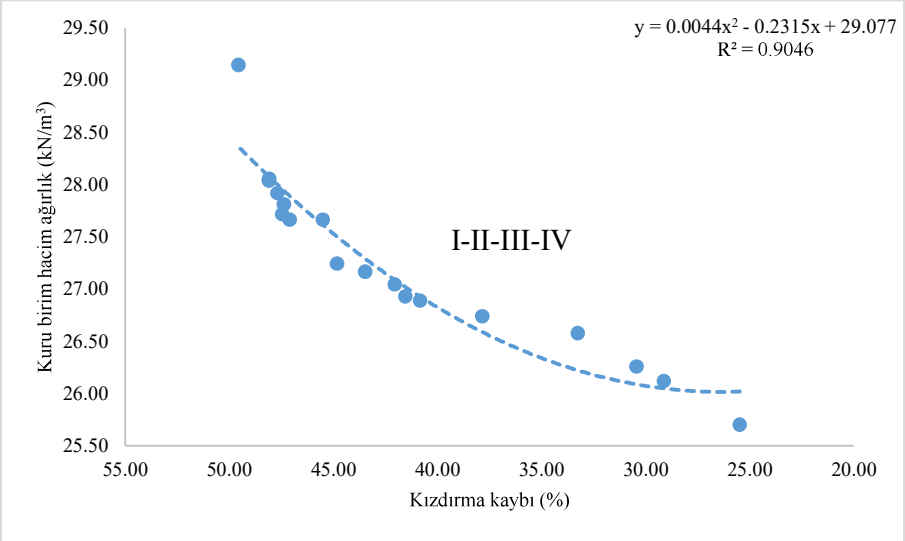


Şekil 5.4 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması

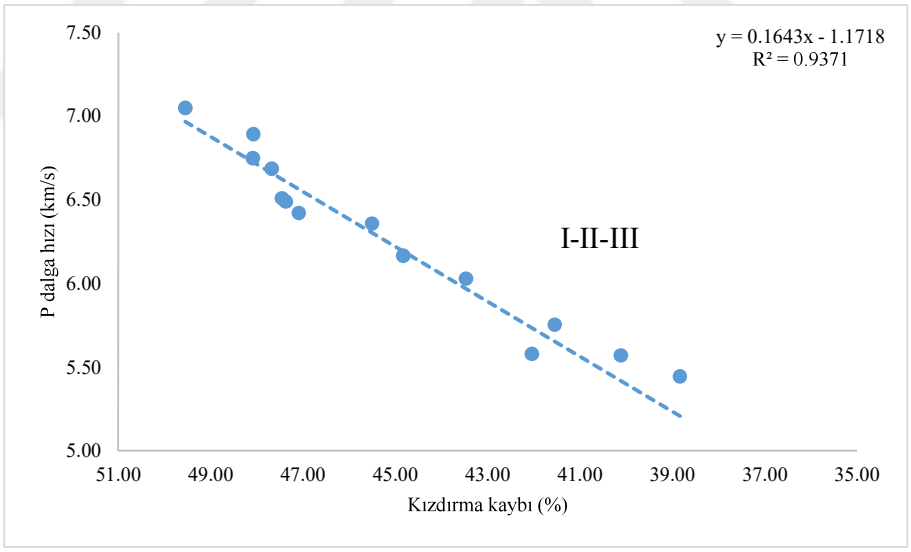


Şekil 5.5 Kireçtaşlarındaki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

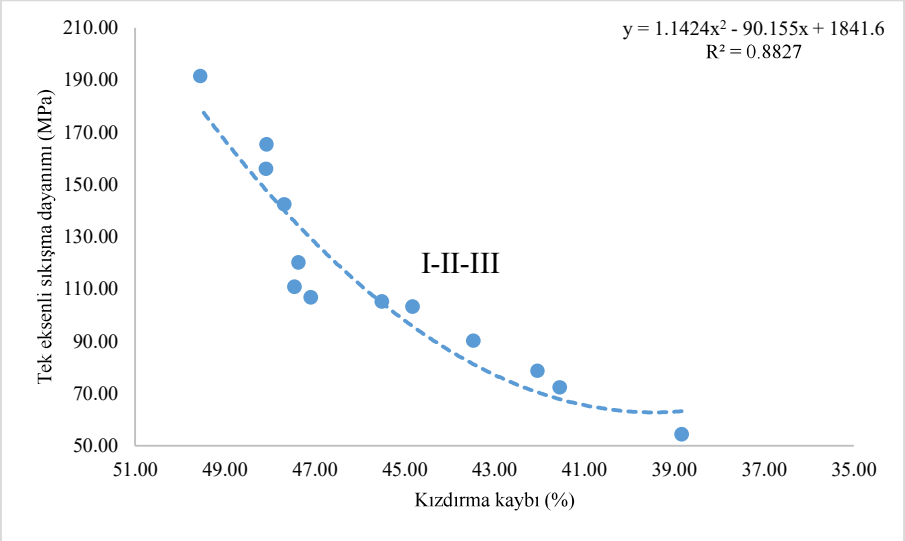
Tez kapsamında oluşturulan karbonatlı kayaç kimyasal ayrışma indeksi (CWICR) kireçtaşlarında ayrışmayı oldukça iyi tarifleyebilecek ölçütlerden olduğu düşünülmektedir. CWICR kimyasal ayrışma indeksi ayrışmayla birlikte artış göstermektedir. İndeksin ayrışma ürünlerinin kimyasal bileşimini temsil ettiği düşünüldüğünde kireçtaşlarında özellikle IV ve V nolu ayrışma derecelerinde hızlı bir artış göstermektedir. Çünkü ileri derecede ayrışma itibari ile ortamda kil mineralleri, opak mineraller, silis, demir oksit içeriği artış göstermeye başlamıştır. Ve kireçtaşlarında kimyasal ayrışma (erime-çözünme) ile birlikte CaO içeriği azalırken, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ve MgO içeriği artış göstermektedir. CWICR artışına bağlı olarak kayacın ağırlıkça su emmesi artış göstermiştir. Çünkü ortamda oluşan kil mineralleri bünyesine su alma ve şişme eğilimindedirler. Bununla birlikte CWICR artışı ile birlikte kayacın kuru birim hacim ağırlık, kızdırma kaybı, P dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinde azalma görülmektedir.



Şekil 5.6 Kireçtaşlarındaki kızdırma kaybı değerleri ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması

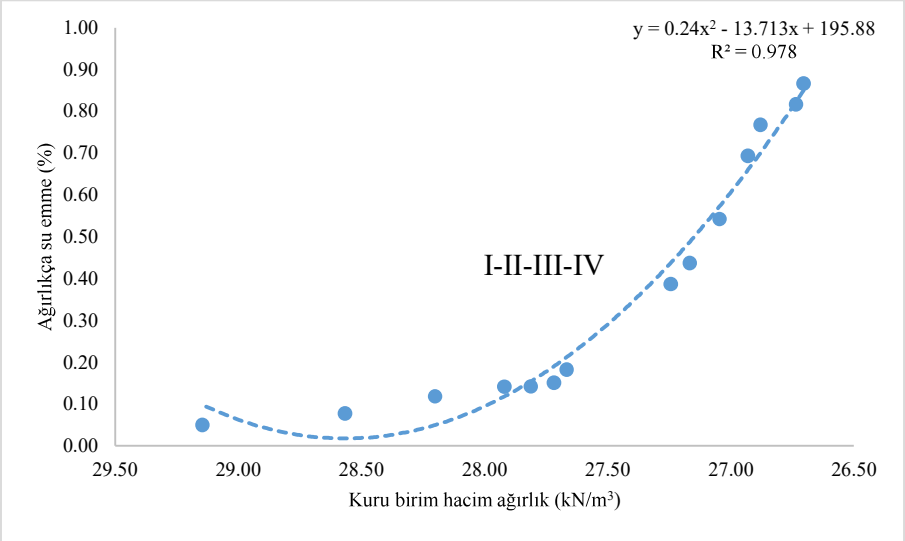


Şekil 5.7 Kireçtaşlarındaki kızdırma kaybı değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması

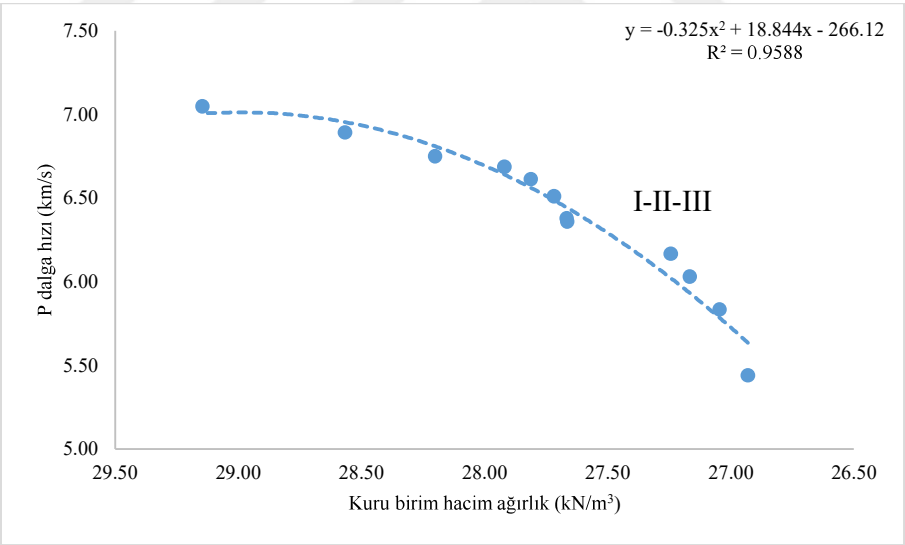


Şekil 5.8 Kireçtaşlarındaki kızdırma kaybı değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

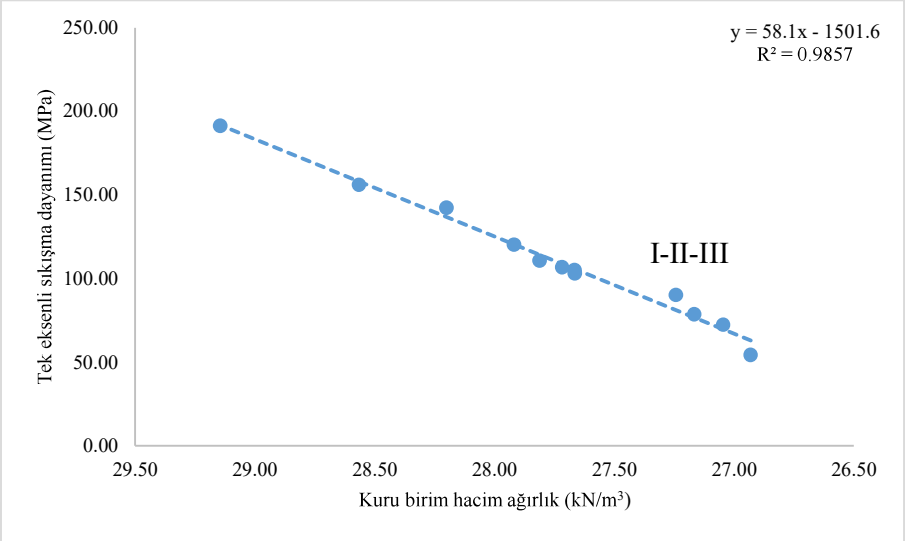
Kireçtaşlarında kızdırma kaybı değerleri diğer kayaçlardan (bazalt, dunit vs.) farklı bir davranış sergileyerek ayrışma ile birlikte azalmaktadır. Taze kireçtaşındaki $CaCO_3$ bünyesinde bulunan CO_2 yüksek ısıl işlem sonucu ortamdan uzaklaştığı için en büyük kayıplar taze kireçtaşlarında olmak üzere kayacın ileri derecede ve tamamen ayrışmış halinde bünyesinde CO_2 miktarı oldukça azalmış olduğu için de kızdırma kaybı değerlerinin düşük olmasının bundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kayaçta kırdırma kaybı değerlerinin azalmasına bağlı olarak ağırlıkça su emme değerleri artarken, kuru birim hacim ağırlık, P dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinde azalma görülmektedir. Çünkü kireçtaşının saflığı bozuldukça bünyesindeki CO_2 oranı da azalacaktır ve $CaCO_3$ miktarı azaldığı için kayaç bu durumda bileşimsel ve dokusal olarak zayıflamaya başlamıştır, bununla birlikte kayaçta ayrışma süresince mikroçatlaklar, mikrokarstik yapılar oluşmuştur ve ortamda ayrışma ürünlerinin çökelimi söz konusudur. Dolayısıyla kireçtaşları için kızdırma kaybı değerleri ayrışmanın sayısallaştırılmasında kullanılabilecek bir parametredir.



Şekil 5.9 Kireçtaşlarındaki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması

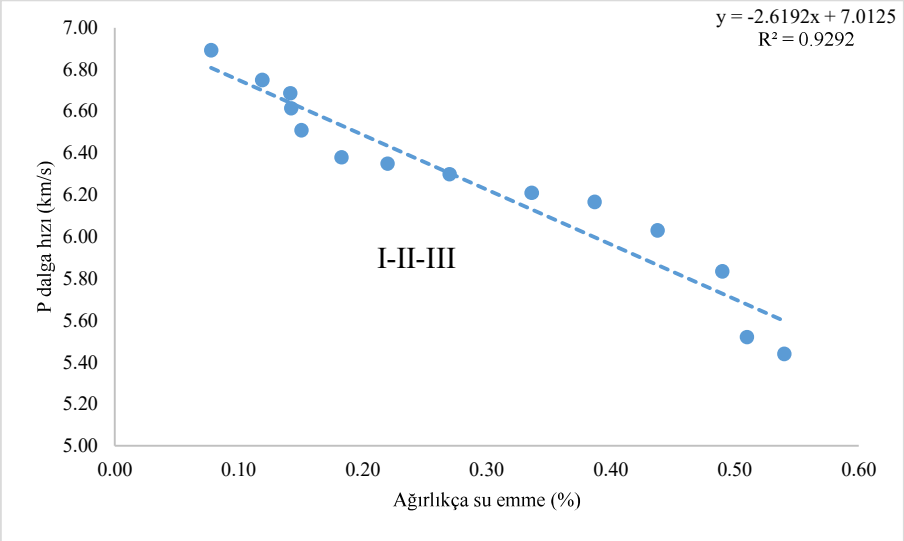


Şekil 5.10 Kireçtaşlarındaki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması

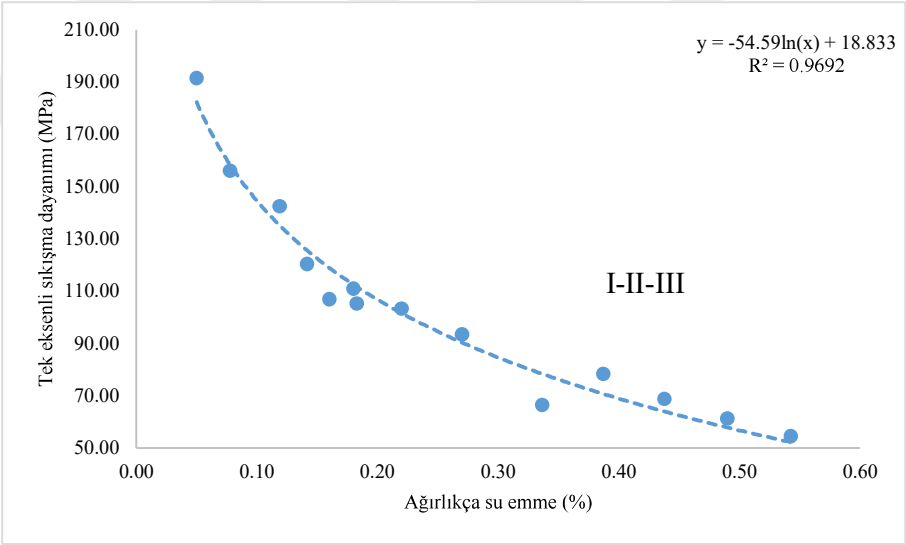


Şekil 5.11 Kireçtaşlarındaki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

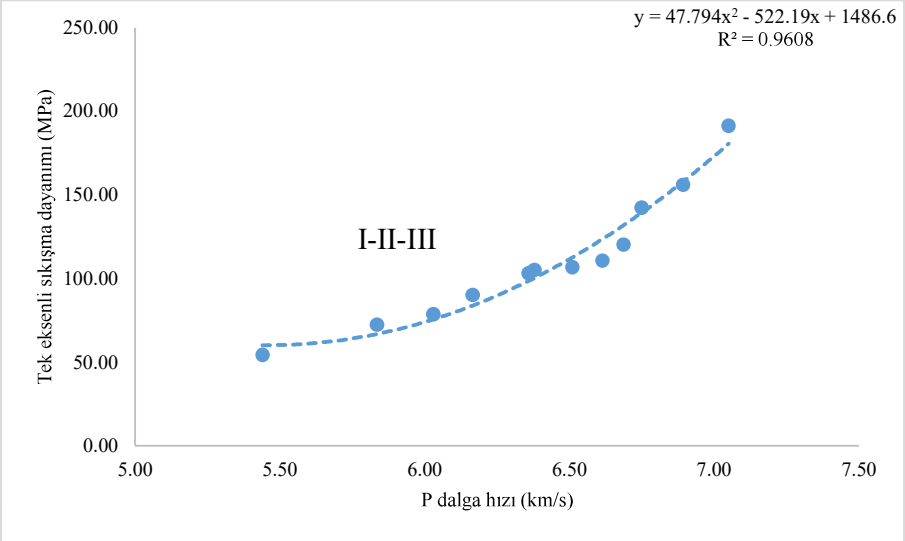
Kuru birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, ayrışmayla birlikte azaldığı görülmektedir. Bunun nedenleri ayrışmayla birlikte kayacın $CaCO_3$ içeriğinin azalması, az ayrışmış seviyeden itibaren meydana gelen süreksizliklerdeki artış, orta derecede ayrışmış seviyeden itibaren meydana gelen karstik boşluk oluşumuna bağlı porozite artışı ve ilerleyen ayrışma evrelerinde ortamda biriken ayrışma ürünleridir. Bu ürünlerden killerin birim hacim ağırlıkları kalsit ve dolomite göre düşük olmasından dolayı özellikle III ve IV. ayrışma derecelerinde kuru birim hacim ağırlık değerinde hızlı bir düşüş gözlenmektedir. Ayrıca bu ayrışma derecelerinde killerden dolayı da ağırlıkça su emme değerleri artmaktadır. Kayaçta süreksizlik artışı ve bunun sonucunda erimenin bu alanlarda ilerlemeye başlaması ve daha ileri seviyede ayrışma ürünlerinin de birikimi ile kayacın birim hacim ağırlığı her ayrışma seviyesinde lineer bir şekilde azalırken dayanımı da buna bağlı olarak azalmıştır.



Şekil 5.12 Kireçtaşlarındaki ağırlıkça su emme değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.12 Kireçtaşlarındaki ağırlıkça su emme değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması



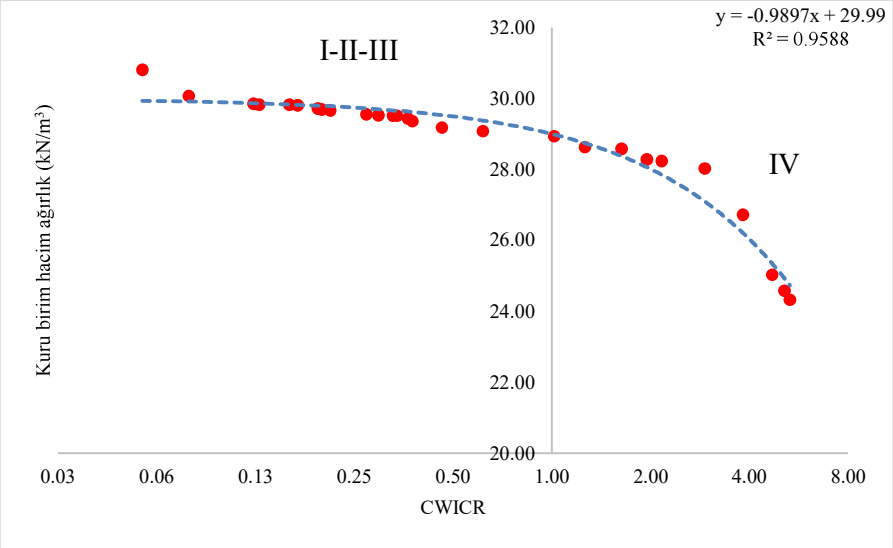
Şekil 5.13 Kireçtaşlarındaki P dalga hızı değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Kireçtaşlarında ağırlıkça su emme değerinin ayrışma ile birlikte arttığı bilinmektedir. Buna neden olan en önemli faktörlerden biri; kayacın yapısında bulunan boşluklar (taneler arası, tane içi, süreksizlik vs. şeklindeki boşluklar) ve zamanla özellikle bu alanların çözünme türü kimyasal ayrışmaya karşı daha hassas olması nedeniyle orta derecede ayrışmadan itibaren çözücünün bu alanlarda daha rahat ilerlemesi ve bu alanları genişletmesiyle meydana gelen karstik boşluklara bağlı gelişen porozite artışıdır. Diğer önemli bir faktöre ise ayrışmanın ileriki evrelerinde ortamda birikim göstermeye başlayan kil mineralleridir. Tüm bu sebepler doğrultusunda kireçtaşlarında ağırlıkça su emme değerleri ayrışma derecesine bağlı olarak artmaktadır. Kireçtaşlarında ve dolomitlerde taze ve az ayrışmış seviyelerdeki süreksizliklerin varlığı ve gelişimi, orta derecede ayrışma derecesine gelindiğinde oluşan erime boşlukları (dolomitlerde çözünme katsayının daha fazla olmasından da kaynaklanan daha büyük ve geniş boyutlarda), ileri derecede ayrışmış ve tamamen ayrışmış derecede ayrışma ürünlerinin (kil, demir oksit vb.) miktarsal ve alansal artışı kayacı oldukça zayıflatan etmenlerdir. Bu ayrışma ürünlerinden killerin bünyelerine su alarak şişme eğiliminde olmaları da kayacın bileşimini oluşturan diğer tanelere oluşturduğu basınç ile dayanımını olumsuz etkileyen faktörlerden biridir.

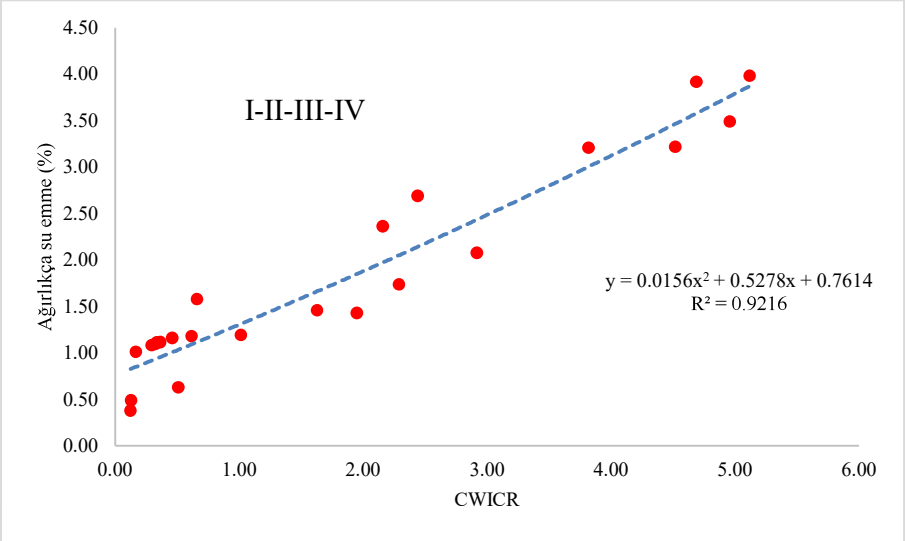
Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri ile P dalga hızlarını ölçümü taze, az ayrışmış ve orta derecede ayrışmış seviyeden alınan kayaçlara ait silindir karot örnekleri üzerinde yapılmıştır. Dayanımı belirlemeye yarayan her iki deneyde de ayrışma ile birlikte azalma görülmüştür.

Nitekim, Irfan ve Dearman (1978), Bell (1978), Shakoor ve Bonelli (1991), Ghafoori vd. (1993) ve Tugrul ve Zarif (2000) gibi pekçok araştırmacı da farklı kayaçlar için benzer ilişkileri tespit etmişlerdir.

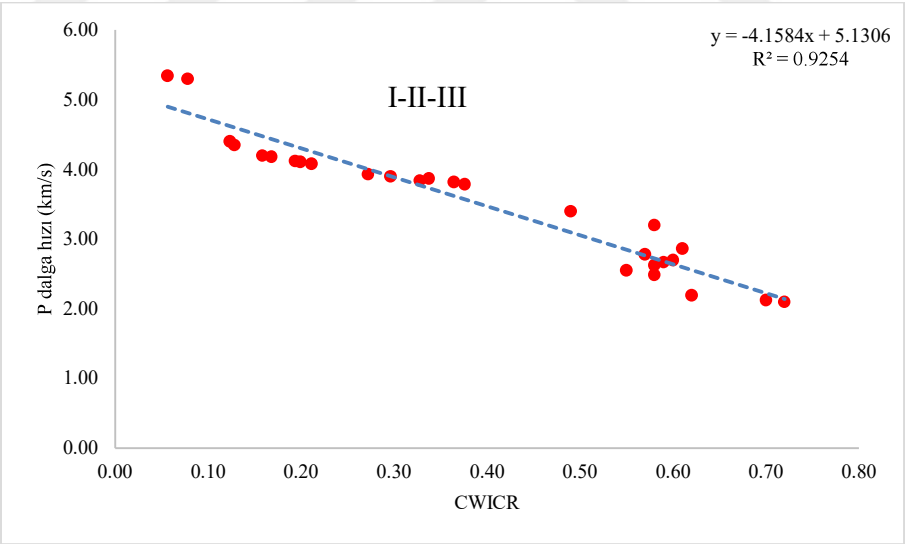
Dolomitlere ait deneysel verilerin değerlendirilmesinde, ayrışma ile uyumlu değişim gösteren kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler ayrı ayrı incelenmiştir. İncelenen parametreler ve yüksek korelasyon katsayısı vererek anlamlı ilişkiler gösteren özellikler Şekil 5.14 ile 5.27 arasında sunulmuştur.



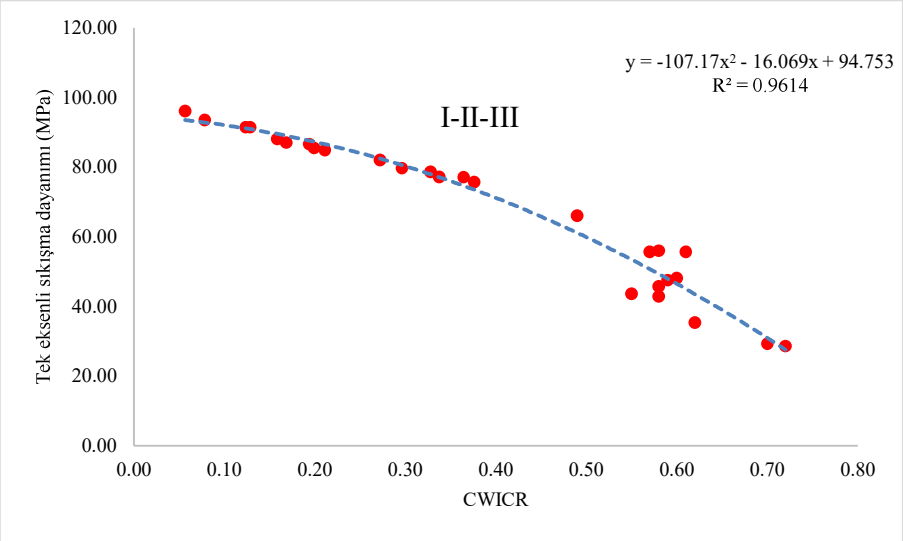
Şekil 5.14 Dolomitlerdeki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.15 Dolomitlerdeki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması

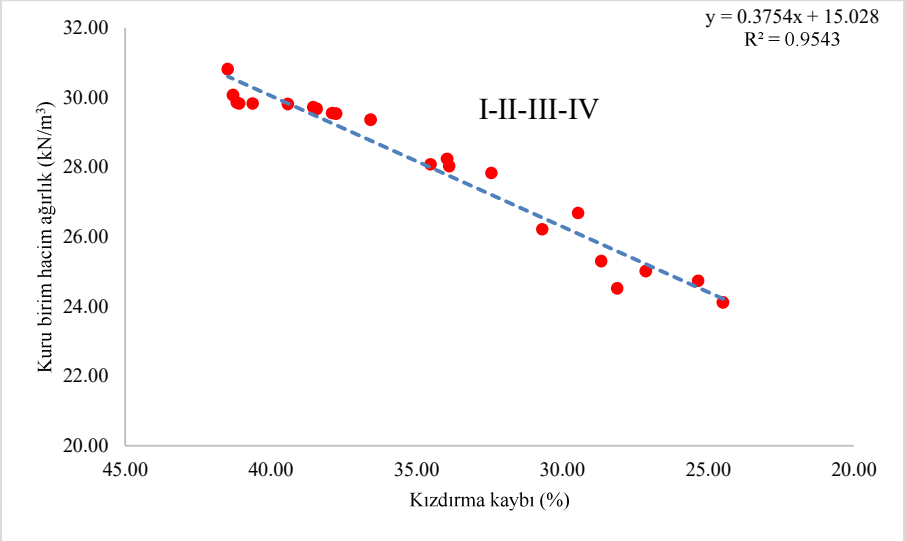


Şekil 5.16 Dolomitlerdeki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması

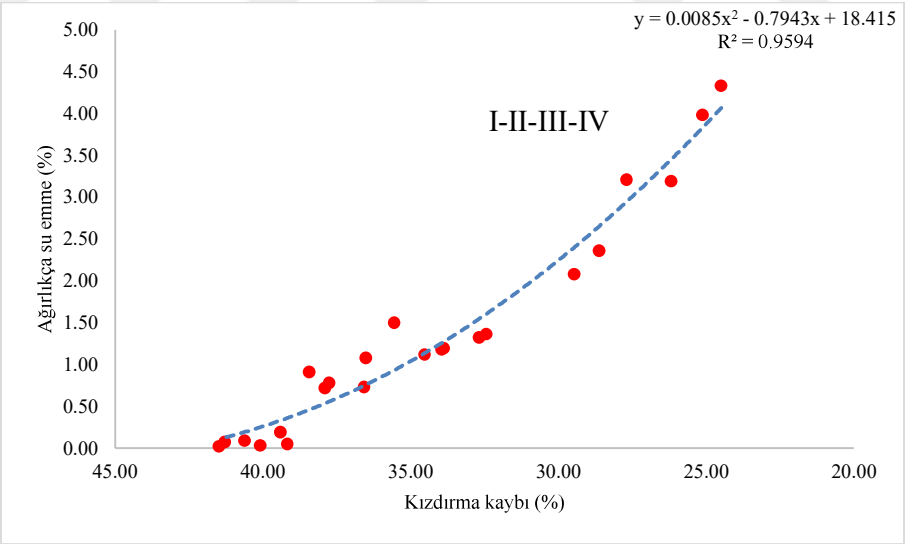


Şekil 5.17 Dolomitlerdeki CWICR kimyasal ayrışma indeksi ile tek eksenli sıkışma değerlerinin karşılaştırılması

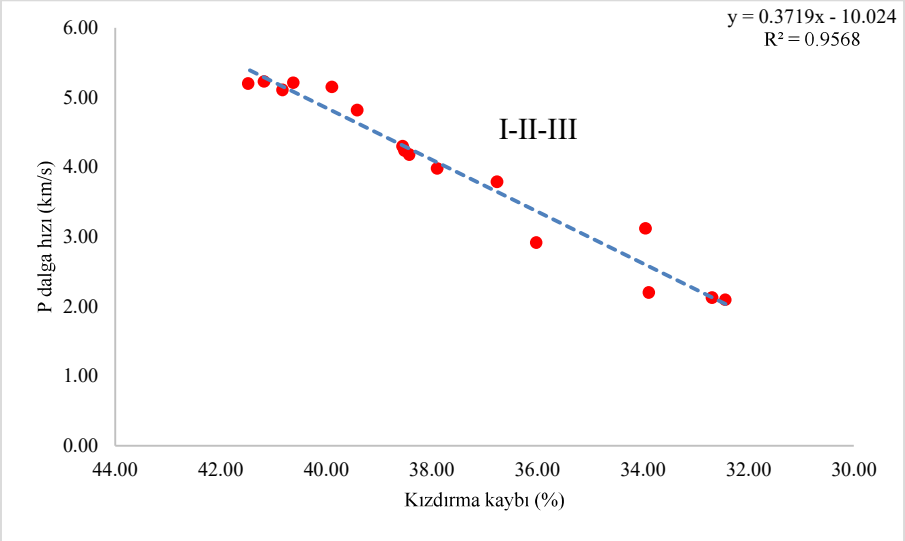
Dolomitlerde CWICR kimyasal ayrışma indeksi ayrışmayla birlikte artış göstermektedir. İndeksin ayrışma ürünlerinin kimyasal bileşimini temsil ettiği düşünüldüğünde dolomitlerde özellikle III, IV ve V nolu ayrışma derecelerinde hızlı bir artış göstermektedir. Çünkü orta derecede ayrışma itibari ile ortamda kil mineralleri, opak mineraller, silis, demir oksit, ferroan dolomit içeriği artış göstermeye başlamıştır. Ve dolomitlerde ayrışma ile birlikte MgO ve CaO içeriği azalırken, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 içeriği artış göstermektedir. Özellikle orta derecede ayrışma itibari ile CWICR kimyasal ayrışma indeksi artışına bağlı olarak kayacın ağırlıkça su emmesi artış göstermiştir. Çünkü kimyasal ayrışmaya neden olan erime sonucunda oluşan karstik boşluklarda biriken kil mineralleri bünyesine su alarak şişme eğilimindedirler. Bununla birlikte CWICR artışı ile birlikte kayacın kuru birim hacim ağırlık, P dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinde azalma görülmektedir.



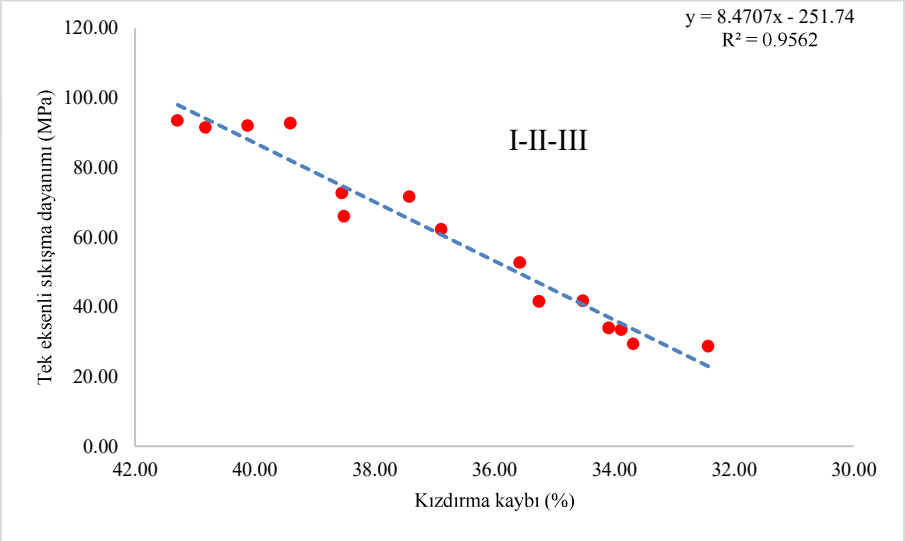
Şekil 5.18 Dolomitlerdeki kızdırma kaybı değerleri ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.19 Dolomitlerdeki kızdırma kaybı değerleri ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması



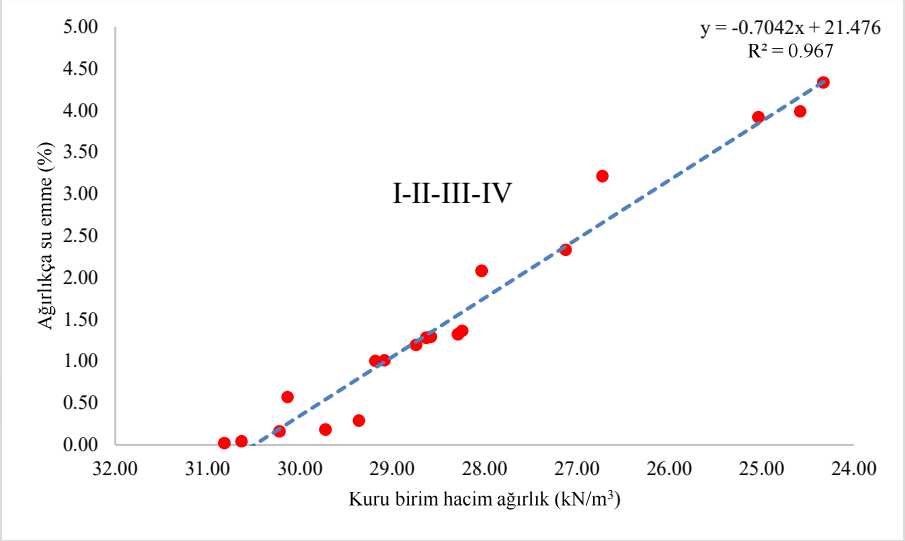
Şekil 5.20 Dolomitlerdeki kızdırma kaybı değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması



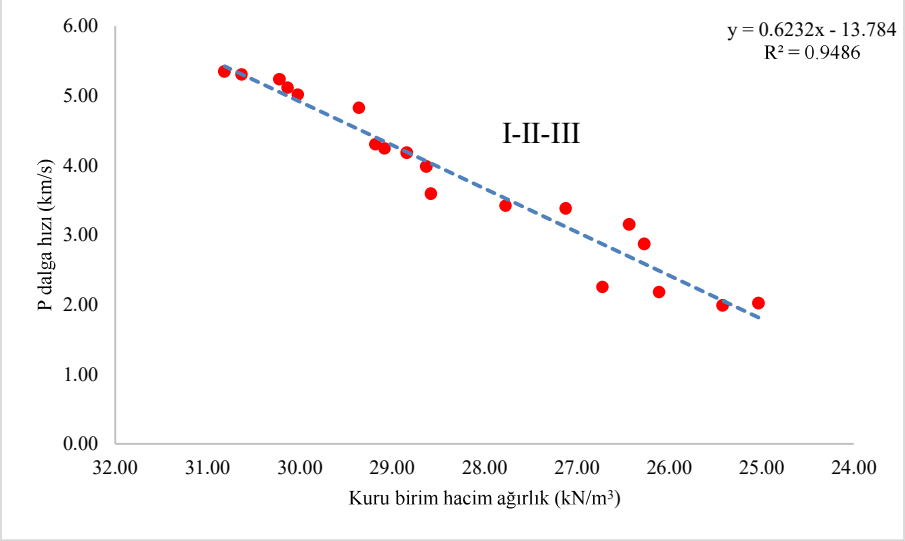
Şekil 5.21 Dolomitlerdeki kızdırma kaybı değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Dolomitlerde kızdırma kaybı değerleri de yine kireçtaşlarında olduğu gibi ayrışma ile birlikte azalmaktadır. Taze dolomitlerde kızdırma kaybı değerlerine karşılık diğer parametrelerde çok büyük değişimler olmaz iken az ayrışmış dereceden itibaren hızlı bir düşüş görülmektedir. Bunun nedeninin az ayrışmış derecede ayrışma sınıfında yoğunlaşan süreksizlikler ve orta derecede ayrışma seviyesinden itibaren gelişen erime boşlukları sebebiyle kayacın karbonat içeriğinin düşmesi ve CO_2 konsantrasyonunun oldukça azalmaya başlamasından kaynaklandığı

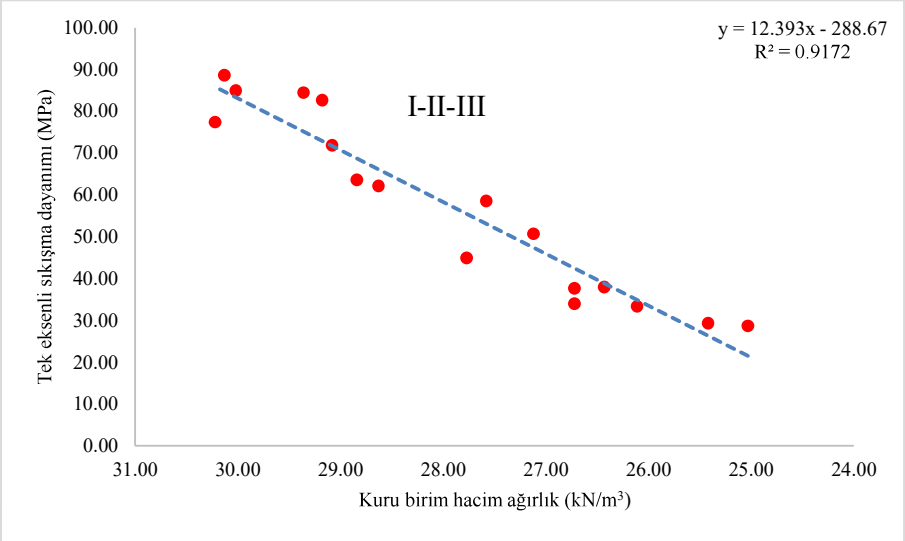
düşünülmektedir. Kızdırma kaybı değerleri azaldıkça kayacın kuru birim hacim ağırlığı, P dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı azalırken, ağırlıkça su emme değerleri artmaktadır.



Şekil 5.22 Dolomitlerdeki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile ağırlıkça su emme değerlerinin karşılaştırılması

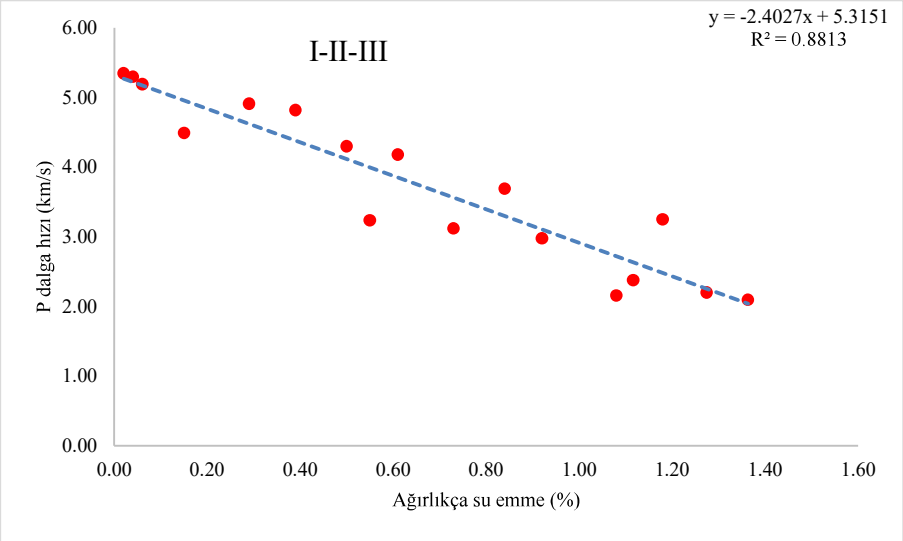


Şekil 5.23 Dolomitlerdeki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması

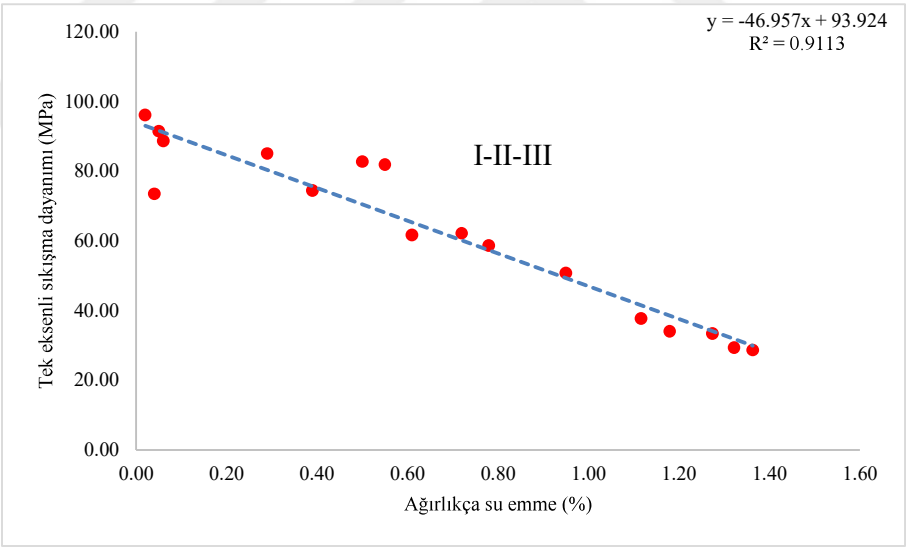


Şekil 5.24 Dolomitlerdeki kuru birim hacim ağırlık değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Ayrışma arttıkça dolomitlerin kuru birim hacim ağırlıkları azalmaktadır. Ayrışmaya bağlı olarak kuru birim hacim ağırlığı azalan kayacın P dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı azalırken, ağırlıkça su emme değerlerinde artış görülmüştür. Özellikle taze ve az ayrışmış kayaçlarda süreksizlikler ve bu süreksizliklerin yüzeyinde meydana gelen hafif derecede demir oksitlenme ve killeşmeler, orta derecede ayrışma seviyesinde ise oluşan dolgulu ve yer yer dolgusuz büyük karstik boşluklar, ileri derecede ayrışma seviyesinde karstik boşlukların ayrışma ürünleri ile dolması ve kayacın bol kırıklı çatlaklı duruma gelmesi kayacın birim hacim ağırlığında azalmalara neden olmuştur.



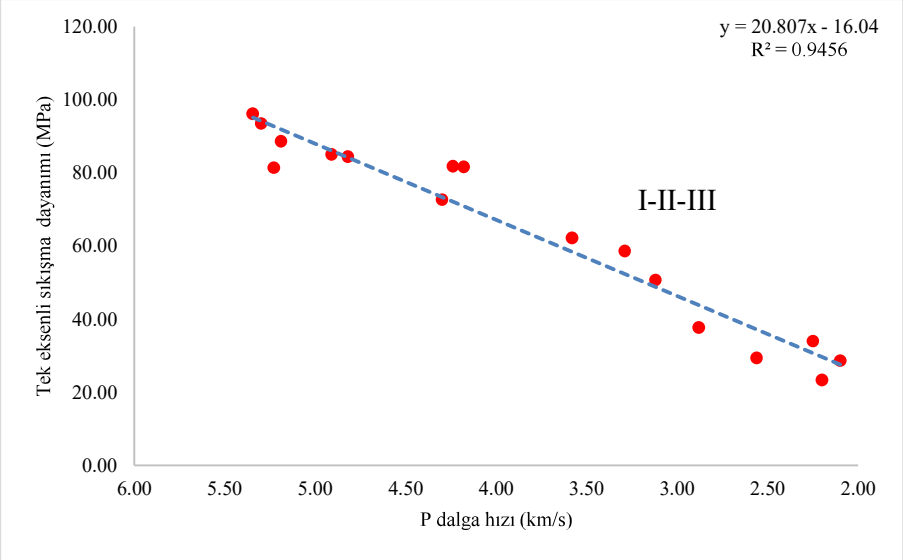
Şekil 5.25 Dolomitlerdeki ağırlıkça su emme değerleri ile P dalga hızı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.26 Dolomitlerdeki ağırlıkça su emme değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Dolomitlerde de aynı kireçtaşlarında olduğu gibi ağırlıkça su emme değeri ayrışma ile birlikte artış göstermektedir. Ancak kireçtaşları ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek değerler sunmaktadır. Bunun nedeni porozite değerlerinin de daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü dolomitlerin çözünme katsayısı kireçtaşlarına göre daha büyüktür, ayrıca porozite artışına neden olan diğer bir süreç de dolomitleşmedir. Bunlar dışında ayrışma ürünlerinin oransal olarak daha fazla miktarda oluşumu ile (killeşme oranı) su emme

kapasiteleri daha yüksektir. Kayacın dayanımı da her ayrışma seviyesinde ağırlıkça su emme değerleri ile ters lineer ilişki sunarak azalmaktadır.



Şekil 5.27 Dolomitlerdeki P dalga hızı değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Bu araştırmada, Gebze bölgesi işletilmekte olan kireçtaşı ve dolomit kırma taş ocaklarında bulunan kaya kütlelerine ait ayrışma profilleri oluşturularak, her bir profilin içermiş olduğu farklı ayrışma derecelerinin karakterizasyonu yapılmıştır. Ayrıca yapılan istatistiksel değerlendirmeler ile petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler nedenleriyle birlikte ortaya konmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetle sunulmuştur.

1. Kocaeli Yarımadası' nın, jeolojik süreçlerde Hersiniyen ve Alpin orojenezlerinin etkisinde kaldığı bilinmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü kireçtaşı ve dolomit profillerinin bulunduğu bu taş ocaklarında farklı doğrultu ve eğimlere sahip çok miktarda fay olduğu görülmüştür. İnceleme alanında meydana gelen fiziksel ayrışmanın en büyük nedeninin bölgede meydana gelen tektonik hareketler, diyajenez ve orojenez süreçlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

2. Çalışma alanında gözlemlenen fiziksel ve kimyasal ayrışma süreçlerinin çoğunlukla birlikte etkidiği veya birbirine ortam hazırladığı görülmüştür. Atmosferik koşullar, iklim, zaman, yerüstü ve yeraltı suları, oluşum koşulları, topoğrafik faktörler, faylar, süreksizlik özellikleri ve türleri, jeokimyasal özellikler, petrografik özelliklerin kireçtaşları ve dolomitlerde ayrışmayı denetleyen ana faktörleri oluşturduğu tespit edilmiştir.

3. Dolomit Profilini Kireçtaşı Profilinden ayıran en belirgin yapı büyük dairsel formda karstlaşma alanlarıdır. Arazi gözlemlerinde sıkça rastlanılan bu özellik dolomitler için oldukça karakteristik bir oluşum olup dolomitleşme olayının ve kimyasal ayrışma türü erimenin bu yapıların oluşumunda büyük rol oynadığı düşünülmektedir.

4. Sahada incelenen kireçtaşlarının büyük çoğunluğu sparitik kireçtaşı olup, göreceli olarak az miktarda mikritik ve rekristalize kireçtaşlarına rastlanmıştır. Mikritik çamurlu ve rekristalize kireçtaşı örneklerinde ayrışma belirteçlerine (stilolit oluşumu, mikroçatlak, killeşme, demir oksit oluşumu, mikro karst oluşumu vs.) rastlanmazken, daha çok sparitik kireçtaşı ve bünyesinde farklı allokem türlerini (intra-ekstraklast, ooid, fosil vs.) barındıran spari kalsit çimentolu kireçtaşlarının ayrışmaya daha yatkın olduğu görülmüştür. Burada allokemlerin kireçtaşlarını zayıflatan etkin üyeler olduğu belirlenmiştir. Genellikle kireçtaşlarında ayrışma oluşumlarının bu allokemler ve çevrelerinde, dolomitlerde ise dolomit kristallerinin sınırlarında geliştiği gözlemlenmiştir.

5. Arazi gözlemlerine göre, çalışma alanında ocak tabanından üst kotlara doğru çıkıldıkça ayrışmanın genel olarak artış gösterdiği görülmüştür.

6. İncelenen kireçtaşı ve dolomitlerde arazi gözlemlerine dayanarak tespit edilen ayrışmayı denetleyen en önemli faktörlerden biri de süreksizliklerin mühendislik özellikleridir. Özellikle erime-çözünme türü kimyasal ayrışma çatlak açıklıklarını arttırmaktadır. Kireçtaşı ve dolomit kayaçlarının farklı tür kimyasal ve mineralojik içeriğe sahip olmaları nedeniyle süreksizlik açıklıklarında oluşan dolgu türlerinde de değişimler meydana gelmiştir.

7. Yüzey suları ve yeraltı sularının; karstlaşma, çözünme-erime, ayrışma ürünlerinin çökelimi gibi süreçlerde etkin rol oynadığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu kimyasal ayrışma sürecinin yanı sıra süreksizliklere ve karstik boşluklara suyun dolması ve buralarda donması ile süreksizliklerde basınç etkisi ile açılmalara neden olmaktadır. Islanma-kuruma ve donma-çözülme etkisi ile kaya kütlesi ortamında fiziksel ayrışma süreçleri ile bloklu yapıların oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Süreksizlik açıklıklarının oluşumundan sonra buralarda ayrışma ürünlerinin de taşınımında ve birikiminde yeraltı suları etkilidir.

8. Her iki kayaç grubu için oluşturulan ayrışma profilleri 5 farklı ayrışma derecesi içermektedir. Bunlar taze (I), az ayrışmış (II), orta derecede ayrışmış (III), tamamen ayrışmış (IV) ve rezidüel zemin (V) seviyeleridir.

9. Kireçtaşlarına ait XRD çekimleri sonucunda taze, az ayrışmış ve orta derecede ayrışmış seviyelerdeki örneklerin kalsit, dolomit ve kuvars minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Ayrışmanın artmasıyla birlikte tamamen ayrışmış ve rezidüel zemin seviyelerinde demir oksitleşmeye ve killeşmeye bağlı olarak magnezyum ferrit, feldspat minerallerinden albit, kil grubu minerallerden ise montmorillonit ve illite artan miktarlarda rastlanılmıştır. Dolomitlere ait XRD çekimleri sonucunda taze, az ayrışmış ve orta derecede ayrışmış seviyelerindeki örneklerin dolomit ve kalsit minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Ayrışmanın artmasıyla birlikte tamamen ayrışmış ve rezidüel zemin seviyelerinde demir oksitleşme ve killeşmeye bağlı olarak ferroan dolomit, kuvars ve kil grubu minerallerden ise nakrit artan miktarlarda gözlemlenmiştir.

10. Ayrışma derecesinin artmasıyla birlikte kireçtaşlarında CaO ve dolomitlerde CaO ve MgO değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ayrışma derecesinin artmasıyla birlikte hem kireçtaşlarında hem de dolomitlerde karbonat olmayan ve çözünmeyen bileşiklerden (insoluble residue) SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ve K_2O değerlerinde genel olarak bir artış söz konusudur.
11. Ayrışma derecesinin artmasıyla birlikte kızdırma kaybı değerleri kireçtaşları ve dolomitlerde azalmaktadır.

12. Bu çalışmada karbonatlı kayaçlar için yeni bir kimyasal ayrışma indeksi geliştirilmiştir. Karbonatlı Kayaç Kimyasal Ayrışma İndeksi (Chemical Weathering Index for Carbonate Rocks -CWICR) adı verilen bu yeni indekste, kireçtaşları ve dolomit örneklerine ait ana element oksitlerden CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 değerleri kullanılmıştır.

13. Hem kireçtaşları hem de dolomitlere bakıldığında ayrışma ile birlikte kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Etkin (görünür) gözeneklilik değerlerinin her iki kayaç türünde de orta derecede ayrışma seviyesinden sonra keskin bir artış sunduğu gözlenmektedir. Hem kireçtaşlarında hem de dolomitlerde orta derecede ayrışma seviyesinden sonra su emme değerlerinde meydana gelen hızlı artışlar, erime-çözünmenin süreksizlikleri genişleterek farklı ebatlarda karstik boşlukları (özellikle dolomitlerde) oluşturması ve ortamda killeşmenin gelişmesinden kaynaklanmaktadır. Kayaçlardaki gözneklilik artışı doğru orantılı olarak ağırlıkça su emme potansiyelini de arttırmıştır.

14. Hem kireçtaşları hem dolomitler için de ayrışmaya ilişkin olarak önceki fiziksel özelliklerde bahsedildiği gibi kayaçtaki gözenekliliğin artması P dalga hızı değerlerinin düşük çıkmasına neden olmaktadır. Ayrışmadan ötürü özellikle dolomitlerdeki gözenekliliğin ve kil içeriğinin kireçtaşlarına kıyasla çok daha fazla olmasından ötürü P dalga hızı değerleri de oldukça düşük ölçülmüştür.

15. Mekanik özelliklerden tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri her iki kayaç türünde de ayrışmayla ters orantılı ilişki göstermiştir. Kireçtaşlarının ve dolomitlerin dayanımını en çok etkileyen özelliğin kayacın saflık (CaO ve MgO %) derecesi olduğu görülmüştür. Ayrışmanın artışına bağlı olarak kayaçtaki süreksizlik yoğunluğunun ve erime boşluklarının artış göstermesi dayanım özellikleri üzerinde olumsuz etki sağlamaktadır.

16. Genel olarak iki profil birbiriyle karşılaştırıldığında ayrışma proseslerinin, kireçtaşlarına kıyasla dolomitler üzerinde daha etkin rol oynadığı ve dolomit kayaçlarının ayrışmadan daha çok etkilendiği hemen hemen ölçülen her parametrede görülmüştür.

KAYNAKLAR

Abdüsselamoğlu, Ş., 1977, The Paleozoic and Mesozoic in the Gebze region. Explanatory text and excursion guidebook. 4th Colloq. on Geology of the Aegean Region, Excursion 4: Western Anatolia and Thrace. İTÜ Maden Fak., Istanbul, 16p.

Akın, M., 2008, Eskipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması, Ankara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 280s.

Alemdağ, S., 2004, Atasu Barajı (Trabzon) eksen yerindeki bazaltın ayrışma derecesi ve eksen yeri olabilirliği, Fırat Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 112s.

Alptuna, G., 2009, Dolomit kökenli agregaların alkali-karbonat reaktivitesinin araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisan tezi, İzmir.

Altınlı, İ. E., 1968, İzmit-Hereke-Kurucadağ alanının jeoloji incelemesi, MTA Derg., 71, 10-16.

Angrisani A. C., Calcaterra D., Cappelletti P., Colella A., Parente M., Přikryl R., Gennaro M., 2011, Geological features, technological characterization and weathering phenomena of the Miocene Bryozoan and Lithothamnion limestones (central-southern Italy), Italian Journal of Geosciences (2011) 130 (1): 75-92.

ANON, 1977, The description of rock masses for engineering purposes, Quaterly Journal of Engineering Geology, 10, 355-388.

ANON, 1981, Rock and soil description for engineering geological mapping. Report by the Commission on Engineering Geological Mapping. Bull. Int. Assoc. Engng Geol., 24.

ANON, 1995. The description and classication of weathered for engineering purposes. Report of a Working Party of Engineering Group of the Geological Society. Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology 28, 207–242.

Atabey, E., 1997, Karbonat Sedimantolojisi, Jeoloji Mühendisleri Odaı Yayınları: 45, ISBN: 975-395-218-X. MAYIS 1997, ss 130.

Badgley, P.C., 1959, Petroleum possibilities of the Sinop Basini. Petrol İşleri Genel Müd. Arşivi, ANKARA.

Baykal, M.F., 1943, Şile bölgesinin jeolojisi. İst. Üniv. Fen Fak. Monografileri. 3, 81s., İstanbul.

Baykal, F. ve Kaya, O., 1963, İstanbul bölgesinde bulunan Karboniferin genel stratigrafisi, - Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 1963.

Beavis, F.C., 1985, Engineering Geology, Blackwell Scientific Publications, Melbourne, 52-89.

Bell, F. G., 2006. Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat (Çeviren K. Kayabalı, Engineering Geology and Construction, 2004). Ankara, Sistem Ofset. Flügel, 2004: E. Flügel 2004, Diagenesis, Porosity, and Dolomitization, Microfacies of Carbonate Rocks, pp 267-338.

Blackwelder, E., 1925, Exfoliation as a Phase of Rock Weathering, Jour. Geology, Vol.33, No. 8, 793-806.

Bom, A., 2007, Gebze ve yakın çevresinin coğrafi özellikleri ve şehiriçi arazi kullanımı, Selçuk Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s.

Branner, J.C., 1896, Decomposition of rocks in Brazil. Bulletin of Geological Society of America, Vol.7, 255-314.

Brock, R.W., 1943, Weathering of Igneous Near Hong Kong, Bull. Geo. Soc. Amer., Vol.54, 717-738.

Carroll, D., 1970, Rock Weathering, Plenum Press. New York – London.

Ceryan, S., 1999, Harşit Granitoidi'nin Ayrışması, Sınıflandırılması ve Ayrışmanın Mühendislik Özelliklerine Etkisi. PhD thessis. KTU¨ , Trabzon, Türkiye (in Turkish)

Ceryan, Ş. ve Tüdeş, Ş., 2003, Ayrışmış Kayaçların Fizikomekanik Özelliklerine Suyun Etkisi, MÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü 10. Yıl Sempozyumu", (2003).

Punuru, A. R., Chowdhury, A. N., Kulshreshtha, N. P. and Gauri K. L., 1990, Control of porosity on durability of limestone at the great sphinx, Egypt, Environmental Geology and Water Sciences, May 1990, Volume 15, Issue 3, pp 225–232.

Çerikçioğlu, B., 2001, Kocaeli Triyası Dolomitlerinin Kökenine Petrografik ve İzotopik Bir Yaklaşım, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 44, Sayı 1, Şubat 2001, ss 37-44.

Çuvaş, N., 2002, İzmit Civarının Jeolojisi Ve Coğrafi Bilgi Sistemi, Eylül 2002, İstanbul Teknik Üniversitesi- Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94 s.

Dearman, W. R., 1995, Description and classification of weathered rocks for engineering purposes: the background to the BS5930:1981 proposals, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 28, 267-276, 1 August 1995, https://doi.org/10.1144/GSL.QJEGH.1995.028.P3.05

Dearman, W. R., 1981, Engineering properties of carbonate rock, general report. Bulletin of the International Association of Enginering Geology, 24, 3-17.

Dearman, A. S., 1997, Sedimentary characteristics of early Paleozoic rocks in the western Black Sea region, Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication (Ed: M. C. Göncüoğlu, A. S. Derman), No:3, 24-31.

Dearman, W.R., Baynes, F.J. and Irfan, T.Y., 1978, Engineering grading of weathered granite, Engineering Geology, Vol. 12, 345-374.

Deere, D. U. and Miller, R. P., 1966, Engıneering Classification And Index Properties for Intact Rock, Technical Report No. AFWL-TR-65-116 December 1966. University of Illinois Urbana, Illinois.

Deere, D.U. and Patton, F.D., 1971, Slope stability in the residual soils, Reprinted from proceedings of the fourth panamerican conference on soil mechanics and foundation engineering, San Juan, Puerto Rico.

Groot, K., 1967, Experimental dedolomitization, Journal of Sedimentary Research (1967) 37 (4): 1216-1220. https://doi.org/10.1306/74D71875-2B21-11D7-8648000102C1865D.

Derby, O.A., 1896, Decompositon of Rocks in Brazil, Jour. Geol., Vol, 4, No. 5, 529-540.

Dinçer; İ., 2001, Ayrışmış kayaçların mühendislik özellikleri, Çukurova Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 168s.

Dizer, A., 1971, La limite Cretace-Tertiaire dans le bassin NW de la Turquie: Rev., Micropaleontologique.

Dizer, A. ve Meriç, E., 1972, Kuzeybatı Anadoluda Kretase-Eosen sınırının mikroorganizmalar ile tespiti: TB-A.K-tarafından desteklenen 33 no'lu proje.

Dizer, A. ve Meriç, E., 1981, Kuzeybatı Anadolu'da Üst Kretase-Paleosen Biyostratigrafisi, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 95-96, pp.149-163.

Dubois, C., Quınif, Y., Baele, J.-M., Dagrain, F., Deceuster, J. and Kaufmann, O., 2014, The evolution of the mineralogical and petrophysical properties of a weathered limestone in southern Belgium, GEOLOGICA BELGICA (2014) 17/1: 1-8.

Dubois, C., Deceuster, J., Kaufmann O. and Rowberry M. D., 2015, A New Method to Quantify Carbonate Rock Weathering, Mathematical Geosciences, November 2015, Volume 47, Issue 8, pp 889–935.

Dunn, J. R. and Hudec, P.P., 1966. Water, Clay and Rock Soundness, Ohio Journal of Science: Volume 66, Issue 2 (March, 1966).

Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional textures:Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1: p. 108–121.

Dursun, G., 2004, İstanbul Anadolu yakasındaki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100 s.

Elçi, H., Türk, N ve İşintek, İ., 2014, İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 38 (2), 103-134.

Erguvanlı, K., 1949, Hereke pudingleri ile Gebze taşlarının inşaat bakımından etüdü ve civarlarının jeolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora tezi.

Erguler, Z. A., 2007, Investigation of the Effect of Water Content on Engineering Behaviour of the Clay-Bearing Rocks, Hacettepe University.

Ergüler, Z. A. and Ulusay, R., 2009, Water-induced variations in mechanical properties of clay-bearing rocks, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 46, Issue 2, February 2009, Pages 355-370.

Erkan, Y., 2011, Kayaç oluşturan önemli minerallerin mikroskopta incelemeleri, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 42, ss 436.

Ersöz; T., 2017, Slope stability assessment of various road cuts with effects of weathering at North Eest Black Sea region (Turkey), Kuzey Batı Karadeniz bölgesindeki (Türkiye) ayrışmanın etkisinde olan çeşitli yol yarmalarının şev stabilitesinin değerlendirmesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 437s.

Evans, I., Hall, S. A., Sarıbudak, M. and Aykol, A. 1991, Preliminary palaeomagnetic results from Palaeozoic rocks of the Istanbul Zonguldak region, NW Turkey. Bulletin of the Technical University of Istanbul 44, 165-190.

Farah, R., 2011, Correlations Between Index Properties and Unconfined Compressive Strength of Weathered Ocala Limestone. UNF Theses and Dissertations. Paper 142.

Folk, R.L., 1959, Practical petrographic classification of limestones:Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. v. 43/1, p. 1–38.

Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types,Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1, p. 62–84.

Fookes, P. G. and Hawkins, A. B., 1988, Limestone weathering: its engineering significance and a proposed classification scheme, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 21, 7-31, 1 February 1988, https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1988.021.01.02

Fookes, P.G., Dearman, W.R. and Franklin, J.A., 1971, Some Engineering Aspects of Rock Weathering With Field Examples From Dartmoor and Elswhere, Quarterly Journal of Engineering Geoloy, Vol. 4, 139-185.

Fourmaintraux, D., 1975, Quantification des discontinuites des roches et des massifs rocheux. Rock Mechanics, 7, 83-100.

Gardner, G. H. F., Gardner , L. W. and Gregory, A. L., 1974, Formation velocity and density-The diagnostic basics for stratigraphic traps, Geophysics, Volume 39, Issue 6, Dec 1974, pages 759-918.

Gedik, I., 1975, Die Conodonten der Trias auf der Kocaeli-Halbinsel (Türkei) Palaeontographica Abteilung A Band A150 Lieferung 4-6 (1975), p. 99 – 160. published: Jan 1, 1975.

Gedik, Ş., Pehlivan, Ş., Timur, E., Duru, M., Altun, İ., Akbas, B., Özcan İ. ve Alan, İ. 2004. Kocaeli yarımadası jeolojisi. MTA raporu.

Gedik, İ., Duru, M., Pehlivan, Ş. ve Timur, E., 2005, 1/50.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritaları, İstanbul-F22c Paftası, MTA Raporu, No:11, Ankara.

Gedik, A. and Korkmaz, S., 1984, Sinop havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. Geological Engineering 19, 53-79 (in Turkish with English abstract).

Gilbert, B. W., 1954, Shore scleroscope hardness tests made on Mohs' scale minerals from talc to quartz inclusive: Univ. Illinois [Urbana] unpublished M. S. thesis.

Görür, N., Monod, O., Okay, A. I., Sengör, A. M. C., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Sakınç , M. and Akkök, R., 1997., Palaeogeographic and tectonic position of the Carboniferous rocks of the western Pontides (Turkey) in frame of the Variscan belt. Bulletin Societe de Geologie France 168, 197-205.

Gözübol, A. M. ve Aysal, N., 2008, Cebeciköy Kireçtaşı Ocaklarında Litolojik Ve Yapısal Kökenli İşletme Sınırları, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C. 21, S. 1, SS. 25-35, Y. 2008.

Güngördü, M., 1999, Marmara Bölgesinin Bitki Coğrafyası, İstanbul Ünv, BMGKA Sahanın - Edebiyat Fak. Yayını, 1999.

Gurocak, Z. and Kilic, R., 2005, Effect of weathering on the geomechanical properties of the Miocene basalts in Malatya, Eastern Turkey, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, December 2005, Volume 64, Issue 4, pp 373–381.

Halili, A. ve Gözübol, A. M., 1999, Hereke formasyonunun (Gebze kireçtaşı) kırmataş özelliği ve kırma-eleme tesislerindeki davranışı, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99 Bildiriler Kitabı, 89-97.

Han, D., 1986, Effects of porosity and clay content on acoustic properties of sandstones and unconsolidated sediments. PhD Thesis, Stanford University, USA (unpublished).

Harnois, L., 1988, The CIW Index, Sedimentary Geology, 55, 319-322.

Irfan, T.Y. and Dearman, W.R. 1978, The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England. Quarterly Journal of Engineering Geology 11, 233–244.

ISRM, 2007, The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM, R.Ulusay and J.A.Hudson (eds.), Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628 p.

James, A. N., 1981, Solution parameters of carbonate rocks, Bulletin of the International Association of Engineering Geology - Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur December 1981, Volume 24, Issue 1, pp 19–25.

James, A. N. and Lupton, A. R. R., 1978, Gypsum and anhydrite in foundations of hydraulic structures, Géotechnique, ISSN 0016-8505 | E-ISSN 1751-7656, Volume 28 Issue 3, September 1978, pp. 249-272.

Jennings, J. E., 1966, Building on dolomites in the Transvaal, Civil engineering in South Africa. Trans South African Institute of Civil Engineering, 8 : 2, pp 41–62.

Johnson, R., 1984, Elementary Statistics: Duxbory Press, Boston, MA, 86-106.

Karakul, H. ve Ulusay, R., 2012, Kayaların Dayanım Özelliklerinin Farklı Doygunluk Koşullarında P-dalga Hızından Kestirimi ve P-Dalga Hızının Fiziksel Özelliklere Olan Duyarlılığı, Yerbilimleri, 33 (3), 239-268. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University.

Kaya, O., 1971, Istanbul'un Karbonifer stratigrafisi, TJK Bülteni.

Kaya, O., 1982, Ereğli, Yığılca, Bolu kuzey, Mengen alanlarının stratigrafi ve yapı özellikleri :Türkiye Petrolleri A. Ö,, Arama Grubu, rap., no : 1639 (yayımlanmamış).

Kaya, O., Dizer A., Tansel İ. and Meriç, E., 1983, Stratigraphy of the Cretaceous in the Ereğli area, Zonguldak. Bulletin of the Mineral Research and Exploration. 99/100, 1-15.

Ketin, L. ve Gümüş, Ö., 1962, Sinop, Ayancık ve güneyinde III. Bölgeye dahil sahaların jeolojisi hakkında rapor: I-IL Türkiye Petrolleri. A* O., Arama Grubu, rap., no : 213-288 (yayımlanmamış).

Kılavuz, Y., 1998, Adapazarı-K.Ereğlisi arasındaki eosen aglomeralarının ayrışma derecesi, Niğde Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 53s.

Kılıç, R., 1999, A Unified Alteration Index (UAI) for Mafic Rocks, Environmental and Engineering Geoscience (1999) V (4): 475-483. https://doi.org/10.2113/gseegeosci.V.4.475

Kılıç R., Ulamıs K., Yurdakul, M. and Kadioglu, Y. K., 2014, The alteration degree of the metacrystalline rocks based on UAI, Bolu (Turkey), Bulletin of Engineering Geology and the Environment, February 2014, Volume 73, Issue 1, pp 193–201.

Koçbay, A., 2003, Investigation of characteristics and alteration degree of basalts outcropped in the vicinity of Osmancik-Corum, Ph.D. Thesis Ankara University, Ankara, Turkey, 46p. (in Turkish)

Krauskopf, K.B., 1967, Introduction to Geochemistry, McGraw – Hill Book Company, Inc.

Krklec, K., Marjanac, T. and Perica, D., 2013, Analysis Of "Standard" (Lipica) Limestone Tablets And Their Weathering By Carbonate Staining and Sem Imaging, A Case Study on The Vıs Island, Croatıa, ACTA CARSOLOGICA 42/1, 135−142, POSTOJNA 2013, pp 135-142.

KruKrumbein, W.C. and Sloss, L.L., 1963, Stratigraphy and Sedimentation, Second Edition, W.H. Freeman and Company, San Francisco, p. 660.

Land, L.S., 1982, Introduction to dolomites and dolomitization. Dolomites and Dolomitization School, American Association of Petroleum Geologists Course Notes, 29 p.

Leighton, M.W. and Pendexter, C., 1962, Carbonate rock types. American Association of Petroleum Geology Memoir 1, 62–85.

Liu, Z. and Zhao, J., 2000, Contribution of carbonate rock weathering to the atmospheric CO2 sink, Environmental Geology July 2000, Volume 39, Issue 9, pp 1053–1058.

Mével, C., 2003, Serpentinization of abyssal peridotites at mid-ocean ridges, C. R. Geoscience, 335. 825–852.

Morse, J. W. and Arvidson, R. S., 2002, The dissolution kinetics of major sedimentary carbonate minerals, Earth-Science Reviews Volume 58, Issues 1–2, July 2002, Pages 51-84.

Moye, D.G., 1955, Engineering geology for Snowy Mountain Scheme, Jour. Instit. Of Engineers, Australia, Vol. 27, 287-298.

Mumcuoğlu, H. Ç., 1986, Dolomitleşme : tanımlar kontrol eden etkenler, üretim mekanizmaları, ve gözeneklik ve geçirgenlik, Türkiye Petrolleri A.O. Arama Grubu, 78s.

Nesbıtt, H.W. and Young, G.M., 1982, Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites, Nature, 299, 715-717.

Oates, J.A.H., 1998, Lime and Limestones, John Willey and Sons Publishing Company, 1998 - Wiley Online Library.

Okay, A. I., 1989, Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. *In:* Şengör, A. M. C. (ed.) Tectonic Evolution of the Tethyan Region. Kluwer Academic, Dordrecht, 109-115.

Okay, A. I., Şengör, A. M. C. and Görür, N., 1994, Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions. *Geology* 22, 267-270.

Okay, A. I. and Tüysüz, O. 1999, Tethyan sutures of Northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F. and Seranne, M. (eds) The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Special Publications, GSL Spec. Publication 156 (in press). Geological Society, London.

Ollier, C.D., 1984, Weathering, Geomorphology Texts. 2nd ed. Oliver and Boyd, Edinburgh.

Önalan, M., 1982, Pendik bölgesi ile adaların jeolojisi ve sedimenter özellikleri, İst. Üniv. Yerbilimleri Fak. Jeoloji Bölümü. Doçentlik tezi.

Özer, S., 1990, Hereke dolayında Üst Kretase-Paleosen istifinin biyostratigrafisi (Rudist-Foraminifer), S.Ü. Müh. Min. Fak. Derg., 5, 29-40.

Paeckelmann, W., 1938, Neue Beitrage zur Kenntniss der Geologie, Palaeontologie und Petrographie der umgegend von Konstantinopel. Abh.d. Preuss Geol.Lands., 186, 1-202.

Parker, A., 1970, An Index of Weathering For Silicate Rocks, Geol. Mag., 501-504.

Peltier, L. C., 1950, The Geographic Cycle in Periglacial Regions as it is Related to Climatic Geomorphology, Annals of the Association of American Geographers, Volume 40, 1950 - Issue 3, 214-236.

Penck, W., 1919, Die Tectonischen Grundzüge Westkleinasiens, Stuttgart.

Pettijohn, F.J., 1975, Pe Sedimentry Rocks (third ed.), Harper and Bros, New York.

Price, D.G., 1995, Weathering and weathering processes. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, 243-252.

Reiche, P., 1943, Graphic Representation of Chemical Weathering, Journal of Sedimentary Petr., 13, 53-68.

Roaldset, E., 1972, Mineralogy and Geochemistry of Quarternary Clays in the Numedal Area, Southern Norway, Narsk Geol Tidsskr., 52, 335-369.

Rozenbaum, O., Trong, E. L., Rouet, J.-L. and Bruand A., 2007, 2-D image analysis: A complementary tool for characterizing quarry and weathered building limestone, Journal of Cultural Heritage Volume 8, Issue 2, April–June 2007, Pages 151-159.

Ruxton, B.P., 1968, Measures of the Degree of Chemical Weathering of Rocks, Jour.of Geol., Vol. 76, 518-527.

Ruxton, B.P. and Berry, L., 1957, Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong, Bull. Geol. Soci. Amer., Vol. 68, 1263-1292.

Sarıbudak, M., Sanver, M. and Ponat, E., 1989, Location of Western Pontides, NW Turkey, during Triassic time, preliminary palaeomagnetic results. Geophysical Journal 96, 43-50.

Sengör, A.M.C., 1984. The Cimmeride Orogenic System and the Tectonics of Euroasia, Geol. Soc. Am. Spec. Pap., No. 195, 82.

Sönmez, K. V., 1999, Bağlum yöresindeki Ankara Dasitlerinin ayrışma özellikleri, Ankara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 74s.

Spencer, T., 1985, Marine erosion rates and coastal morphology of reef limestones on Grand Cayman Island, West Indies, Coral Reefs, September 1985, Volume 4, Issue 2, pp 59–70.

Şenalp, M., 1977, Didolomit (Kalsitleşmiş dolomit) ve Didolomitleşme Olayı Sonunda Ortaya Çıkan Doku Tipleri, Yeryuvarı ve İnsan, Sayı: 2/4, 36-42.

Teymen, A., Kılıç A. ve Türkmenoğlu, Z. F., 2011, Kalsiyum Karbonatlı Kayaçların Standart Özelliklerinin İncelenmesi, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi 11-13, Ankara

Theveniaut, H., 1993, Evolution de la TeÂthys occidentale et de la PangeÂe au Trias, PhD Thesis, UniversiteÂ de Paris VII.

Török, A. and Vásárhelyi, B., The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary, Engineering Geology, Volume 115, Issues 3–4, 1 October 2010, Pages 237-245.

TSE, 1978, Doğal yapı taşlarının muayene ve deney metodları. Türk Standartları Enstitüsü, 16s.

Tuğrul, A., 1995, Niksar yöresindeki bazaltların mühendislik özelliklerine ayrışmanın etkileri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 168s.

Tuğrul, A., 2004, The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey, Engineering Geology Volume 75, Issues 3–4, November 2004, Pages 215-227.

Tuğrul, A., and Zarif, H., 1999, Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey, Engineering Geology, 51, 303-317.

Tuğrul, A., 2004, The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey, Engineering Geology, 75, 215-227.

Tüysüz, O., 1999, Geology of the Cretaceous sedimentary basins of the Western Pontides, Geological Journal Geol. J. 34: 75-93.

Valeton, I., 1970, Paleoenvironment of Lateritic Bauxites with Vertical and Lateral Differentiation, In. Wilson, R.C.L. (ed.) Residuel Deposits, Surfaca Related Weathering Processes and Materials. Geological Society London, Special Publication, 11, 77-90.

Vogel, D.E., 1973, Precambrian Weathering in Acid Metavolcanic Rocks From the Superior Province, Villebond Township, Southcentral Quebec, Canadian Journal of Earth Sciences, 12, 2080-2085.

Vogt, T., 1927, Sulitjelmefeltests Geologiog Petrografi, Nor. Geol. Unders. 121, pp. 1-560.

Yılgör; T.O., 2000, Aksaray ve Kozak yöresi granitlerinin ısı karşısında davranışı ve ayrışma profilleri, Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 164 s.

Yurdakul, M., 2006, Bolu, Asarsuyu vadisindeki metakristalin kayaçların jeomekanik özellikleri ve ayrışma derecelerinin incelenmesi, Ankara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 82s.

Yurtsever, A., 1982. Kocaeli Triyası Biyostratigrafi Projesi, Gebze-Hereke-Tepecik alanında Meso-Seno. kayalarının jeolojisi. MTA Rp. No.7195 (yayımlanmamıs), Ankara.

Yurtsever, A. ve Çağlayan M.A., 2002, 1:100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji haritaları No:65, İstanbul F-21 ve G-21 paftaları, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, s.30.

Usturbelli; Z. H., 2008, KTÜ (Trabzon) merkez kampüsünde çevre düzenlemesi için kullanılan duvar yapı taşlarının mühendislik zamanda ayrışması ve ayrışma durumunun belirlenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 88s.

Ündül, Ö., 2007, Ayrışmanın Çınarcık Barajı Göl Alanındaki (Bursa) Ultramafik Kayaçların Mühendislik Özelliklerine Etkisi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, DoktorazTezi.141s.

Wardlaw, N. C., 1974, Water Above the Transition Zone in Carbonate Oil Reservoirs, Bulletin of Canadian Petroleum Geology Vol. 22 (1974), No. 3. (September), Pages 305-324.

West, G., 1996, Alkali–aggregate reaction in concrete roads and bridges. Thomas Telford, London.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Candan BİLEN
Doğum Yeri	Ağrı
Doğum Tarihi	09.11.1985
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	05438056776
E-Posta Adresi	candanalptekin@gmail.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri Lisans	
Üniversite	Süleyman Demirel Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2007

Yüksek Lisans	
Üniversite	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Jeoloji Mühendisliği

Makale ve Bildiriler

ULUSLARARASI HAKEMLİ DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER:

1. Alptekin, C., Yuce, G., 2016, Observatıon of Excess Heavy Metal Concentrations in Water Resources to Infer Surface Water Influences on Shallow Groundwater a Typical Example of The Porsuk River Eskisehir Turkey. Water Resources (Yayın No: 1752211)

2. Alptekin, C., Erisis, S., Er, S., Yilmaz, M., Angı, S., Tugrul, A., 2016, Deterioration Types of Stones Used in Suleymaniye Mosque Istanbul Turkey. IOP. Conf. Series: Earth and Environmental Science, 44, 1-10. (Yayın No: 2898605)

3. Yuce, G., Alptekin, C., 2013, In situ and laboratory treatment tests for loweringof excess manganese and iron in drinking watersourced from river groundwater interaction. Environmental Earth Sciences, 6(70), 2827-2837., Doi: 10.1007/s12665-013-2343-x (Yayın No: 215254)

ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN VE BİLDİRİ KİTAPLARINDA (PROCEEDINGS) BASILAN BİLDİRİLER:

1. Bilen, C., Er, S., Yilmaz, M., Avci, E., Tugrul, A., 2018, Abrasiveness Properties at Different Temperatures of Basalt, Marble and Limestone in Turkey. 13th IAEG Congress, Engineering Geology for a Sustainable World, 79-83. (Tam Metin Bildiri/Poster)(Yayın No:4358096)
2. Er, S., Alptekin, C., Yilmaz, M., Tugrul, A., 2017, Tarihi Yapılarda Kullanılan Dogal Tasların Farklı SIcaklıklarda Sertlik ve Asınma Özellikleri: Marmara Mermere ve Küfeki Tası Örnegi. IV. Uluslararası Tas Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3459260)
3. Yilmaz, M., Erisis, S., Alptekin, C., Er, S., Angı S., Tugrul, A., 2016, Assesment of Natural Stones and their Deterioration Types used in Blue Mosque Istanbul Turkey. 35th International Geological Congress (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:2868132)
4. Alptekin, C., Erisis, S., Er, S., Yilmaz, M., Angı S., Tugrul, A., 2015, Deterioration Types of Stones used in Suleymaniye Mosque Istanbul Turkey. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (Yayın No:1752150)
5. Yilmaz, M., Er, S., Tugrul, A., Erisis, S., Apaydın, O.F., Alptekin, C., Dogan, H., 2014, Effects of Basalt Weathering on the Ballast Fouling. V. Global Stone Congress (/)(Yayın No:1351604)
6. Er, S., Yilmaz, M., Tugrul, A., Alptekin, C., Ertın, A., Toksoz, N., Arel, E., 2014, Relationships between Physico Mechanical and Excavatability Properties of Sandstones in an Open Pit Quarry. V. Global Stone Congress (/)(Yayın No:1351597)
7. Alptekin, C., Keskin Cıtıroglu, H., 2013, Determination of Climate Classification of Eskisehir City Central Anatolia Turkey. 8th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (/)(Yayın No:215563)

ULUSAL BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN VE BİLDİRİ KİTAPLARINDA BASILAN BİLDİRİLER:

1. Alptekin, C., Galip, Y., 2016, Porsuk Nehri ve Yeraltı Suyu Ilişkisinin Kirlilik Parametreleri ile İrdelenmesi. 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı (/)(Yayın No:2868119)
2. Er, S., Yilmaz, M., Angı S., Erisis, S., Alptekin, C., Tugrul, A., 2015, Meteorolojik Koşulların Tarihi Yapılarda ve Anıtlarda Etkileri Fatih Semti Örnegi, Effects of Meteorological Conditions on Historical Buildings and Monuments Case Study of Fatih District. Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu (Tam Metin Bildiri/)(Yayın No:1752111)

PROJELER:

1. Cebeci Maden Bölgesi Projesi, Diger kamu kurulusları (Yükseköğretim Kurumları hariç), Yürütücü: TUGRUL ATIYE, Arastırmacı: ÖZCAN Süleyman, DENLI Alp Refik, YILMAZ Murat, HOSGÖRMEZ Hakan, ÖZER Ümit, AYSAL Namık, ONAT Burcu, KÜÇÜKDENIZ Tarık, KARADOGAN Abdulkadir, ERTIN Altay, ALTIN

Mehmet Uğur, KOZAN Bilge Kağan, IPSIR Dilek, ÇINKU Kenan, ALVER SAHIN Ülkü, ER Selman, AKGÜNDÜZ Alper, ÖZYURT Meriç Can, ALPTEKIN Candan, AVCI Erdi, DILLI Ramazan Haslet, KALAYCI SAHINOGLU Ülkü, ÖZCAN Doğacan, BEREN Murat, EKE Aykut.