

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAVUŞBAŞI GRANODİYORİTİNDE MEKANİK YÖNTEMLERİN KULLANIMI İLE KAYA - ZEMİN AYIRIMI

78688

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Ersin AREL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

78688

Bu tez 24/03/1998 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı
Prof.Dr. Akın ÖNALP



Jüri Üyesi
Prof.Dr. Mete İNCECİK



Jüri Üyesi
Prof.Dr. Okay GÜRPINAR



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı	1
1.2. Terminoloji (Tarifler)	1
1.2.1. Zemin	1
1.2.2. Kaya	1
1.2.3. Sert Zemin - Yumuşak Kaya	2
1.2.4. Geçiş Yeri	2
1.2.5. Dönüşüm	2
1.2.6. Ayrışma	2
1.2.7. Alterasyon	3
1.2.8. Bozunma	3
1.2.9. Fiziksel Parçalanma	3
1.2.10. Mekanik Ayrışma	3
1.2.11. Kimyasal Ayrışma	4
1.2.12. Hidrotermal Ayrışma	4
1.2.13. Yıpranma	4
1.2.14. Renk Değiştirme	4

1.2.15. Saprolit	5
1.2.16. Arena	5
1.2.17. Subsoil	5
1.2.18. Küresel Ayırışma	5
1.2.19. Boşalma	5
1.2.20. Parçalanma	6

BÖLÜM 2.

LİTERATÜR	7
2.1. Kaya - Zemin Ayırım Kriterleri	7
2.2. Granitik Kayaçalarda Ayırışma	14
2.3. Araştırma İçin Gerekçe	17

BÖLÜM 3.

GEREÇ	18
3.1. Çavuşbaşı Vadisinin Jeolojisi	18
3.1.1. Çökel Kayaçlar	19
3.1.1.1. Kurtköy Formasyonu	19
3.1.1.2. Aydos Formasyonu	19
3.1.1.3. Belgrad Formasyonu	21
3.1.2. Mağmatik Kayaçlar	21
3.1.2.1.Çavuşbaşı Granodiyoriti	21
3.1.2.3. Andezit Daykları	24
3.1.3. Metamorfik Kayaçlar	24
3.1.3.1. Kontak Şistler.....	24
3.1.4. Yapısal Ögeler	25
3.2. Ayırışma / Yıpranmanın Nedenleri	25
3.3. Arazi Çalışmaları	26
3.3.1. Granitik Kayaçların Seçilmesinin Nedenleri	26
3.3.2. Örnekleme	27
3.3.3. Ayırışma Profili	28
3.4. Çavuşbaşı Granodiyoritinin Ayırışma mekanizması	31

3.4.1. Giriş	31
3.4.2. Petrografik, Mineralojik ve Kimyasal Karakteristikler	32
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
4.1. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	48
4.1.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyleri	50
4.1.2. Görünür Porozite Deneyleri	50
4.1.3. Suyu Dayanıklılık Deneyi	51
4.1.4. Porozimetre Ölçümleri	52
4.1.4.1. Ayrışmanın MIP Sonuçlarında Yansıması	53
4.2. Kaya ve Zeminde Mekanik Özellikler	60
4.2.1. Kaya - Zemin Ayırımında Tek Eksenli Basma Dayanımı	60
4.2.2. Nokta yük Dayanımı	64
4.2.3. Kaya - Zemin Ayırımında Üç eksenli Dayanım Deneyleri	64
4.2.3.1. Örneklerin Deneye Hazırlanması	65
4.2.3.2. Deney Sistemi (Düzeni)	65
4.2.3.3. B Parametresi ile Kaya - Zemin Ayırımı	68
4.2.3.4. A Parametresinin Kaya - Zemin Ayırımına Etkisi	71
4.3. Sıkışma Deneyleri	74
SONUÇLAR	82
TARTIŞMA VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	85
EKLER	
Ek A. X-ışını analiz sonuçları	97
ÖZGEÇMİŞ	109

SİMGELER LİSTESİ

A, B : Boşluk suyu basıncı parametreleri

c : Kohezyon

c_r : Rezidüel kohezyon

c' : Efektif kohezyon

e : Boşluk oranı

E_c : Sıkışma modülü

E_d : Deformasyon modülü

d : Atom düzlemleri arasındaki açı

n : Porozite

I_s : Nokta yükleme indisi

u_w : Boşluk suyu basıncı

2θ : Kırınım açısı

λ : X-ışını dalga boyu

ρ_k : Kuru birim hacim ağırlık

ρ_d : Doygun birim hacim ağırlık

σ_3 : Çevre basıncı

ϕ : Kayma direnci açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1a Tek eksenli sıkışma dayanımına göre zemin - kaya ayrımı	10
Şekil 2.1b Tek eksenli sıkışma dayanımına göre zemin - kaya ayrımı	10
Şekil 2.2 Zayıf kaya konumunun şematik gösterimi	11
Şekil 3.1 İnceleme alanının bulduru haritası	18
Şekil 3.2 Çavuşbaşı ve yöresinin jeolojik haritası	20
Şekil 3.3 Çavuşbaşı granodiyoriti için yapılmış enine kesit	27
Şekil 3.4 Çavuşbaşı granodiyoriti için geliştirilen ayrışma profili	28
Şekil 3.5 Ayrışma derecesi ile ateş kayıpları arasındaki ilişki	39
Şekil 3.6a Ayrışma derecesi ile ana element oksitleri arasındaki ilişki	40
Şekil 3.6b Ayrışma derecesi ile ana element oksitlerini gösteren histogram	41
Şekil 3.7a Petrografik indeks ile kimyasal ayrışma indeksleri arasındaki ilişkiler	45
Şekil 3.7b Petrografik indeks ile kimyasal ayrışma indeksleri arasındaki ilişkiler	46
Şekil 4.1 Ayrışma derecesi ile kuru birim hacim ağırlık arasındaki ilişki	50
Şekil 4.2 Görünür porozite ile ayrışma derecesi arasındaki ilişki	51
Şekil 4.3 Suyu dayanıklılık indeksinin çevrim sayısına göre değişimi	52
Şekil 4.4 Tüm ayrışma derecelerinden alınmış örneklerin boşluk çapı-boşluk hacmi eğrileri	54
Şekil 4.5 Mikro porozite ile ayrışma derecesi arasındaki ilişki	55
Şekil 4.6 Cıva porozimetresi deney sonuçlarının karşılaştırılması	56
Şekil 4.7a Boşluk çapı dağılımının yüzde küçük olarak gösterimi	57
Şekil 4.7b Boşluk çapı dağılımının yığılımlı gösterimi	57
Şekil 4.8a Görünür porozite ile WPI arasındaki ilişki	59
Şekil 4.8b Mikro porozite ile WPI arasındaki ilişki	59

Şekil 4.9 Farklı iki yöntemle yapılmış porozite deney sonuçlarının karşılaştırılması	60
Şekil 4.10 Ayırışma derecesi ile tek eksenli basma dayanımı arasındaki ilişki	63
Şekil 4.11 Tek eksenli basma dayanımı ile kuru birim hacim ağırlık arasındaki ilişki	63
Şekil 4.12 Taze kaya ve ayırışmış örneklerin $\sigma - \tau$ diyagramında gösterimi	66
Şekil 4.13 V. ve VI. gurupların $\sigma - \tau$ diyagramında gösterimi	68
Şekil 4.14 Farklı ayırışma derecelerindeki örneklerin $\sigma_3 - u_w$ diyagramında gösterimi	69
Şekil 4.15 B parametresi ile ayırışma derecesi arasındaki ilişki	70
Şekil 4.16 B parametresi ile mikro ve toplam porozite arasındaki ilişki	70
Şekil 4.17 B parametresi ile toplam cıva girişi arasındaki ilişki	71
Şekil 4.18 Orta ve yüksek derecede ayırışmış örneklerin A parametresi ile çevre basıncı arasındaki ilişki	73
Şekil 4.19 Tamamen ayırışmış ve kalıntı zemin örneklerinin A parametresi ile çevre basıncı arasındaki ilişki	74
Şekil 4.20 Tamamen ayırışmış örnekte $e - \log \sigma$ eğrisi	77
Şekil 4.21 Orta derecede ayırışmış örnekte $e - \log \sigma$ eğrisi	78
Şekil 4.22 Taze kayadan alınmış örneğin $e - \log \sigma$ eğrisi	79
Şekil 4.23 Taze ve ayırışmış örneklerin $\epsilon_z - \sigma$ eğrileri	80
Şekil 4.24 Taze ve ayırışmış örneklerin $\epsilon_z - \sqrt{\sigma}$ eksenlerindeki doğrusal eğrileri	81
Şekil 4.25 Taze ve ayırışmış örneklerin $\epsilon_z - \log \sigma$ eksenlerindeki polinom eğrileri	81

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Ayrışma derecesinin tek eksenli dayanım, deformasyon modülü, Schmidt çekici değeri ve yoğunluğu göre sınıflanması.....	12
Tablo 2.2 Granitlerin tek eksenli dayanıma göre sınıflanması.....	13
Tablo 2.3 Bukit Timah granitlerinin mekanik özellikleri	13
Tablo 2.4 Granitik kayalar için geliştirilmiş karşılaştırmalı ayrışma sınıflamaları	15
Tablo 3.1 Çavuşbaşı granodiyoritinin tipik özellikleri	32
Tablo 3.2 Farklı derecede ayrılmış granodiyorit petrografik karakteristikleri	36
Tablo 3.3 İncekesitlerden belirlenen petrografik indeks değerleri	37
Tablo 3.4 Mikroskopik çalışmalardan elde edilen bozunmamış ve bozunmuş mineral oranları	38
Tablo 3.5 Çeşitli ayrışma derecelerine göre yapılmış kimyasal analiz sonuçları	39
Tablo 3.6 Farklı ayrışma derecelerine ait kimyasal indeks değerleri	43
Tablo 4.1 Farklı ayrışma derecelerindeki granodiyorit fiziksel özellikleri	49
Tablo 4.2 Her bir ayrışma derecesinden alınan örnekler üzerinde yapılmış porozite deney sonuçları	53
Tablo 4.3 Farklı ayrışma evrelerindeki numunelerde boşluk geometrisi (MIP)	55
Tablo 4.4 Her bir ayrışma derecesinden alınmış örnekler üzerinde ölçülen tek eksenli basma dayanımları	61
Tablo 4.5 Nokta yükleme deney sonuçları	64
Tablo 4.6 Taze kaya, az ve orta derecede ayrılmış örneklerin c ve ϕ	66
Tablo 4.7 Farklı ayrışma derecelerindeki örneklerin B parametreleri	69

Tablo 4.8 Farklı ayrışma derecesindeki örneklerin çeşitli çevre basınçlarında A parametreleri	73
Tablo 4.9 V. grup örneklerin sıkışabilirlik deney sonuçları	77
Tablo 4.10 III. grup örneklerin sıkışabilirlik deney sonuçları	78
Tablo 4.11 I. grup örneklerin sıkışabilirlik deney sonuçları	79



FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf 3.1 Orta derecede ayrılmış granodiyorit	22
Fotoğraf 3.2 Yüksek derecede ayrılmış granodiyorit	22
Fotoğraf 3.3 Tamamen ayrılmış granodiyorit	23
Fotoğraf 3.4 Tamamen ayrılmış granodiyorit ve kalıntı zemin	23
Fotoğraf 3.5 Orta derecede ayrılmış örneklerin bloklardan sondaj makinası ile alınması	29
Fotoğraf 3.6 Yüksek derecede ayrılmış örneklerin betonlanması	29
Fotoğraf 3.7 Tamamen ayrılmış örneklerin spiral taşla yontularak alınması	30
Fotoğraf 3.8 Taze granodiyoritteki ayrılmamış mineraller ile az miktardeki mikrokırıklar	34
Fotoğraf 3.9 Orta derecede ayrılmış granodiyoritteki plajioklas fenokristali ve basit mikroçatlaklar	34
Fotoğraf 3.10 Yüksek derecede ayrılmış granodiyoritteki zonal ayrışmaya uğramış plajioklaslar ve transgranüler mikroçatlaklar	35
Fotoğraf 3.11 Yüksek derecede ayrılmış granodiyoritteki yoğun mikrokırıklar	35
Fotoğraf 4.1 Granodiyoritin farklı ayrışma derecelerindeki örnekleri	48
Fotoğraf 4.2 Tek eksenli basma deneyleri için hazırlanmış örnekler	62

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Ayrışma; Kaya - Zemin ayırımı; Mekanik Özellikler; Boşluk suyu basıncı parametreleri

ÇAVUŞBAŞI GRANODİYORİTİNDE MEKANİK YÖNTEMLERİN KULLANIMI İLE KAYA - ZEMİN AYIRIMI

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik programında doktora tezi olarak hazırlanan bu araştırmanın amacı; Çavuşbaşı granodiyoritine uygulanan kaya - zemin ayırımının mekanik ölçümlerle sayısal olarak yapılmasıdır. Bu amaçla konunun kapsamı; çözüm için bulunan çeşitli yöntem ve bağıntıların irdelenmesinden oluşmaktadır.

Çalışma konusu olan granodiyorit, fiziksel ve petrografik özellikleri ölçülerek altı farklı ayrışma evresine ayrılmış ve mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Her ayrışma sınıfının sınırı, boşluk geometrisi ve boşluk suyu basıncı parametreleri B ve A ile sayısal olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin anlamı; ayrışma indeksleri ve kimyasal indeksler ile kontrol edilmiştir. Ayrıca, fiziksel ve mekanik özellikler elde edilen indeksler ile karşılaştırılarak belirli bir ayrışma evresinden sonra kayadan zemine tüm ayrışma evrelerinin özellikleri sayısal olarak belirlenmiş ve bu özellikler ile boşluk suyu basıncı parametreleri karşılaştırılmıştır. Sonuçta, killeşme göstermeyen granodiyoritte kaya özelliklerinin yitirildiği limit sayısal olarak belirlenmiştir.

SUMMARY

Keywords: Weathering; Rock - Soil identification; Mechanical properties; Pore pressure parameters

DISTINGUISHING SOIL FROM ROCK IN GRANODIORITE OF ÇAVUŞBAŞI AREA BY THE USE OF MECHANICAL METHODS

This thesis has been prepared in partial fulfilment for the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Civil Engineering of the Graduate School of Sakarya University. The aim of the research programme was to explain the factors contributing to the classification of rock and soil in the granodiorite of Çavuşbaşı area in vicinity of Beykoz, near Istanbul.

The Çavuşbaşı granodiorite which does not exhibit clay products upon weathering has been classified into six weathering groups by petrographic and physical property measurements. The boundary of each group was defined by the measurement of pore size and the pore water pressure parameters B and A. The implications of these parameters were checked against several weathering indices. It was then possible to make a new classification based on transformation from rock to soil based solely on numerical values.

In conclusion, a definite limit was defined for the transformation of granodiorite from rock to soil. This way, it is intended to develop a criterion to distinguish rock from transition material and soil in igneous rocks.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Amacı

Mühendislik yapılarının çoğunun yüzeyde ve yüzeye yakın derinliklerdeki farklı derecede ayrılmış kayalar üzerinde olması, kaya - zemin ayırımının bilimsel olduğu kadar mühendislik açısından da önemli olduğunu göstermektedir.

Araştırmadaki amaç; arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla farklı ayrışma derecelerine ayrılmış Çavuşbaşı granodiyoritlerinin mühendislik parametrelerini belirleyerek, kaya -zemin ayırımının kesin sınırını ortaya koymaktır.

1.2. Terminoloji (Tarifler)

1.2.1. Zemin (Soil)

Bir bağlayıcı ile kısmen tutturulmuş veya tamamen çimentolanmamış mineral, su ve hava topluluğu olarak tarif edilmektedir. Zemin çekme dayanımı olmayan bir oluşum olarak da ayırtlanmaktadır.

1.2.2. Kaya (Rock)

Kayanın sözlük tanımı, birbirine bağlı mineraller topluluğu olarak verilmektedir. Mekanik açıdan değerlendirildiğinde kaya, sistemin aldığı gerilmenin çekme ve basma olmasından bağımsız, kırılışı içerdiği mikro çatlaklardan başlayarak tümüyle çekme gerilmelerinin sonucu olan bir cisim olarak tariflenmektedir.

1.2.3. Sert zemin - yumuşak kaya (Hard soil - soft rock)

Yumuşak kayalar ya henüz diyajenez geçirmemiş, konsolide olmamış ve sıkışıp çimentolanmamış sedimanlardan yani hiç bir zaman sertleşmemiş (kuvvet kazanmamış) kayalar şeklinde, veya sert kayaların ayrışması ile oluşurlar. Bu oluşum itibariyle yumuşak kayaçlar; zemin ve kaya arasında geçişi oluşturmaktadırlar.

1.2.4. Geçiş yeri (Transition)

Günümüzde sık kullanılmayan bir terim olmakla beraber, kaya ile zemin arasındaki geçiş bölgesi olarak tanımlanmaktadır.

1.2.5. Dönüşüm (Transformation)

Kayacı oluşturan minerallerin kristal kafesindeki; x,y,z boyutlarında oluşan şekil değiştirmesidir.

1.2.6. Ayrışma (Weathering)

Genel adlama olarak kullanılmaktadır. Hava, su, asit ve canlılarla temas halinde bulunan ana kayacın, çeşitli elementlerin etkisi altında, yüzeydeki kısmının; yüzünde ve içinde, parçalanma, ufalanma, ayrılma, çözünme ve çürüme şeklinde olan fiziksel ve kimyasal değişimlerin tümüne ayrışma denir. Ayrışma olayı; yeryüzünün en dış ve en dışa çok yakın kısımlarında oluşur. Diğer bir deyişle, çeşitli tiplerdeki kayaçların, genellikle atmosferle temasta bulunduğu yerlerde oluşur. Ayrışma olayının; incelenebileceği veya etken olabileceği derinlik, kayacın cinsine, yapı ve dokusuna, ayrıca da olayı oluşturan atmosfer, su ve canlılar gibi etkenlere bağlıdır. Weinert (1965) ve Fookes (1970); yüzey kayaçlarının mühendislik özelliklerini belirleyen en önemli etkenin, kayanın oluşumundan sonraki ayrışma sürecinin olduğunu belirtmişler ve ayrışmayı, kayaların hidrosfer ve atmosferin doğrudan etkileri altındaki değişme olayı olarak tanımlamışlardır. Buna göre genel anlamıyla ayrışma, kaya bünyesinde ortam şartlarının etkisiyle çoğun yavaş gelişen, mühendislik

açısından önemli sonuçlar doğuran fiziko-mekanik olaylar serisidir. Ayrışmanın etkisiyle kayaç, başlangıçtaki fiziksel ve mekanik özelliklerini yitirir.

1.2.7. Alterasyon (Alteration)

Alteration ve weathering sözcükleri çoğu yazar tarafından eş anlamda kullanılmakla beraber (İrfan 1981), kayaçların; mineralojik fiziksel, biyolojik, hidrotermal, ve kimyasal bileşimlerinin, atmosferik koşulların etkisiyle değişimi, kayaç malzemelerinin renk, doku, bileşim, sıklık gibi özelliklerinin bozunması olayı olarak açıklanmaktadır (Gary, McAfee ve Wolf, 1972). Alterasyon sonucunda kayacın gevşemesiyle birlikte hacminde ve görünümünde (özellikle renginde) değişimler meydana gelmektedir.

1.2.8. Bozunma (Deterioration)

Kaya bünyesinde meydana gelen ve geçiş malzemesine doğru değişim gösteren her türlü ayrışma olayıdır (Gary, McAfee ve Wolf, 1972).

1.2.9. Fiziksel parçalanma (Disintegration)

Fiziksel parçalanma; çok soğuk - kuru veya çok sıcak - kuru iklimlerde gelişen kayacın çok az veya hiçbir şekilde kimyasal değişime maruz kalmadan parçalanıp ufalanmasıdır (Plummer ve McGeary, 1979). Yavaş veya hızlı bir süreçte gelişerek, kayaç bünyesindeki karbondioksit ve suyun etkisiyle meydana gelen ufalanma ile dağılmanın sonucunda oluşan parçalanma olarak ta tarif edilebilmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından mekanik ayrışma olarak ta adlandırılır.

1.2.10. Mekanik ayrışma (Mechanical weathering)

Sıcaklığın değiştiği bölgelerde, kayaç bünyesinde bulunan çatlaklardaki suyun donma -çözünme ve ıslanma-kuruma etkileriyle gelişerek kırılma, dağılma ve parçalanması ile gözlenen ayrışma olayıdır. Parçalanma ve ufalanmanın birinci evresi, birçok

kayada varolan çatlak sistemleri ile gelişir. Bu tür çatlak veya eklem sistemleri, kaya yüzeylendiği zaman üzerinden yük kalkması nedeniyle oluşmaktadır. Ufalanmanın etkisi değişik kayalar için farklıdır. Ancak kesin sonuç hepsi için aynı olup, sıkı (kompakt) kayadan gevşek daneli malzemenin oluşması şeklindedir. Kayaçların aşınmaya karşı dayanıklılığı, sadece minerallerin sertliğine bağlı değildir. Mineralleri dayanıklı olan bir kaya, eğer bu mineraller birbirlerine sıkıca bağlanmış değilse kolaylıkla mekanik ayrışmaya uğrayabilmektedir.

1.2.11. Kimyasal ayrışma (Decomposition)

Toprak yüzeyine yakın yerlerde, karbondioksit, su, oksijen ve mikroorganizmaların etkisiyle, kayacın kimyasal bileşiminde meydana gelen değişim sonucunda, kayacı oluşturan minerallerin başka minerallere dönüşmesi olayıdır. Diğer bütün kimyasal faaliyetler gibi kimyasal ayrışmanın hızı sıcaklığın yükselmesiyle artmaktadır. Kimyasal ayrışma yüzeyden derinlere doğru etki eder, etkisi giderek azalır ve belirli derinlikte etkisini tümüyle yitirir (İrfan 1981).

1.2.12. Hidrotermal ayrışma (Hydrothermal alteration)

Genellikle kimyasal ayrışma ile birlikte gözlenen, granit ve gnayslarda etkili olan, kabuk içinde gelişen bir iç olaydır (İrfan, 1981). Bu değişimde en büyük etken sıcak sudur.

1.2.13. Yıpranma (Degradation)

Erozyon etkisiyle, üstteki örtü yükünün azalması ve bu süreçle üstten yük kalktığında alttaki malzemenin gevşemesi ve kayaç kütlelerinin taşınarak sağlamlığını yitirmesi olarak tariflenmektedir. Daha çok jeomorfolojide kullanılan bir terimdir.

1.2.14. Renk değiştirme (Discolouring)

Ayrışma sonucunda, kayaçta meydana gelen renk değişimi olarak tariflenmektedir.

1.2.15. Saprolit (Saprolite)

Tropikal iklim şartlarında; mağmatik, sedimenter ve metamorfik kayalarda, kimyasal ayrışmanın etkisiyle oluşmuş, kaya dokusunun korunduğu, genelde kahverengi ve kırmızımsı renklerde gözlenen ve çoğun bünyesinde kil içeren üründür.

1.2.16. Arena (Grus)

Daha çok granit ve granitik kayalarda gözlenen, diğer minerallerin ayrışıp kuvarsların ayrışmaması sonucunda gelişen fiziksel parçalanmanın ürünü olan daneli malzemelerdir.

1.2.17. Subsoil

Bitkisel toprak ve rezidüel zeminin altından başlayarak, ana kayaya kadar gelişen tüm geçiş malzemeleridir.

1.2.18. Küresel ayrışma (Exfoliation)

Mağmatik kayalarda, özellikle granitlerde gözlenen; yüzeydeki kayacın dış kısmının soyulması, kayacın yüzeyinde meydana gelen kabuk şeklindeki ayrışmadır. Erozyon etkisi ve örtü yükünün azalmasıyla gelişerek, ani sıcaklık değişimleriyle oluşmaktadır (Bowles, 1989).

1.2.19. Boşalma (Denudation)

Yüzeye yakın yerlerde aşınma ile gelişen, erozyon etkisiyle taşınarak oluşan ve kayanın özelliklerini kaybederek dağılması olayıdır.

1.2.20. Parçalanma (Breakdown)

Kayacın, fiziksel etkilerle yüzeyde gözlenen parçalanması ve parçalara ayrılmasıdır. Özellikle bazalt türü kayaçlarda ayrışma sonucu kil minerallerinin gelişmesi ve bu minerallerin şişmesi sonucu gelişen parçalanma olayıdır (Haskins ve Bell, 1995).



BÖLÜM 2. LİTERATÜR

2.1. Kaya - Zemin Ayırım Kriterleri

Kaya - zemin ayırımı geoteknikte önem taşıyan bir konudur. Bu amaçla kaya ile zeminin tarifleri ve bunların arasındaki geçiş malzemesinin kesin sınırının sayısal olarak belirlenmesi gündemde bulunmaktadır.

Yumuşak kayaçlar ya henüz diyajenez geçirmemiş, konsolide olmamış ve sıkışıp çimentolanmamış sedimanlardan yani hiç bir zaman sertleşmemiş (kuvvet kazanmamış) kayaçlar şeklinde, veya sert kayaların ayrışması ile oluşurlar. Bu oluşum itibariyle yumuşak kayaçlar; zemin ve kaya arasında geçişi oluşturmaktadırlar. Bu çalışmada yumuşak kayaç (sert zemin), ayrışmanın etkisiyle oluştuğu koşullarda gözönüne alınmıştır.

Yumuşak kayaçların geoteknik özellikleri, temel mühendisliği açısından sorun oluşturduğunda genellikle bu malzemelerden ya kaçınılır ya da sözkonusu malzemeler ana kayaya kadar kazılır. Bu nedenle de sahadaki gerçek performanslarını gösterebilecek örnek çok azdır. Aynı zamanda zayıf kayaçları deney için örneklemek oldukça zordur. Sonuç olarak ta geoteknik özelliklerini belirlemek için yapılmış araştırmalar sayıca azdır. Bu duruma yanıt oluşturabilmek amacı ile kaya, zemin ve yumuşak kayaçlar (geçiş malzemesi) üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Zayıf kayaçların tanımlanması: Genel olarak suya batırıldığında dağılan malzemeler zemin, dağılmayanlar ise kaya olarak kabul edilirler. Bu kavram kullanışlı olmakla beraber, konsolide zeminlerin su içinde dağılması doygunluk derecesine ve dışarıdan gelen etkilere bağlı olduğundan kavram burada ele alınacak zeminler için yararlı

olamamaktadır. Morgenstern ve Egebrod (1974) çalışmalarında, çamurlu sediman kayalarının değerlendirilmesini yapmışlar ve adı geçen malzemelerin daldırılmış halde drenajsız makaslama dayanımlarındaki değişimlerini irdelemişlerdir. Vardıkları sonuçlardan doğal nem içeriğinde suya daldırılmış çamurlu sedimanların dayanımlarının %60'ını kaybettiğinde bu malzemelerin kayadan ziyade zemin davranışı gösteren malzeme olduğunu kabul etmişlerdir. Ayrıca, drenajsız makaslama dayanımı 1.8 MPa'dan az olan malzemeleri zemin olarak tanımlamışlardır. Aynı yazarlar 1.8 MPa olan drenajsız makaslama dayanım değeri 3.6 MPa serbest basma direncine eşdeğer kabul etmişlerdir. Bu değer de zemin ile kaya arasındaki sınıra denk düşmektedir. Araştırmacıların vurguladığı bu nokta, Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM)'nin 1978'de açıkladığı zayıf kayaların alt sınırına, Londra Jeoloji Birliğinin 1970' de açıkladığı orta zayıf kayaların alt sınırına oldukça yakındır.

Zayıf kayalardan daha sağlam olan bir malzemenin dayanımını belirlerken, yenilme sırasında dane dokusunun davranışını mikroskop altında incelemek gereklidir. Üç eksenli kesme deneyinde yenilmiş (kırılmış) örneklerin incelenmesi, kırılmanın örnek içindeki danelerin hem yuvarlanması hem kırılması sonucunda oluştuğunu göstermektedir. Ancak danelerin kırılması yalnızca, doymuş tek eksenli sıkışma dayanımları 20 MPa' ı aşan daha sağlam örneklerde gözlenmektedir. Bu değeri zayıf kayaların üst sınırı olarak kabul etmek uygundur. Bu dayanım değeri Londra Jeoloji Birliğinin 1970'de açıkladığı değerin biraz üstünde olmakla beraber, Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği'nin açıkladığı değere çok yakındır. Aynı zamanda Rocha (1971)'in yapmış olduğu gözleme uyumludur. Bu gözleme göre, tek eksenli sıkışma dayanımı 20 Mpa'dan az olan parçaları içeren kaya kütlelerinin davranışları, daha kuvvetli parçalardan oluşmuş kaya kütlelerinden farklıdır.

Daha kesin terimler kullanılacak olursa kaya ve zemin ölçeği aşağıdaki şekilde tariflenebilir:

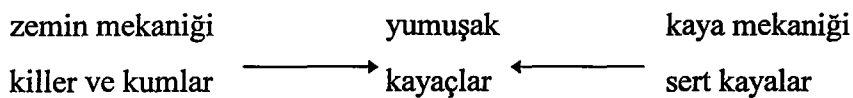
A) YUMUŞAK ZEMİN

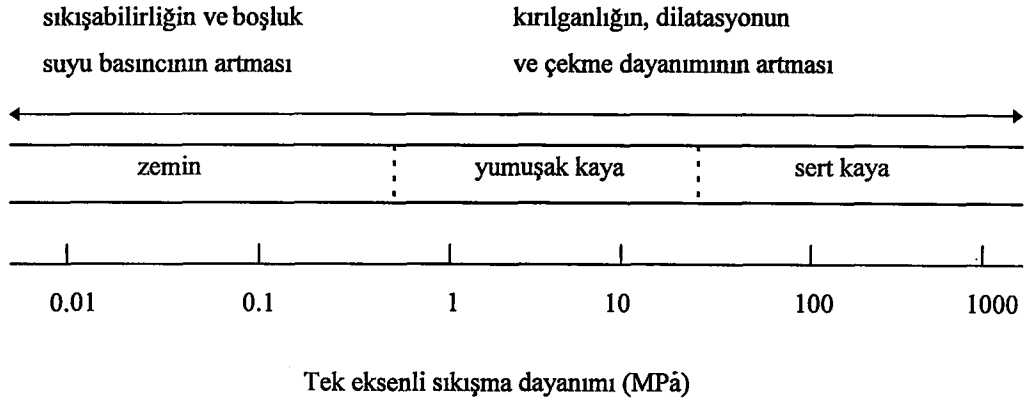
1. Kohezyonsuz (kum, silt)
2. kohezyonlu (normal yüklenmiş kil)

B) SERT ZEMİN	1. aşırı konsolide	(OC kil ve sıkı kum)
	2. çimentolanmış	(çimentolu kumlar)
C) ZAYIF KAYA	1. yumuşak	(tuf, tebeşir, kalkarenit)
	2. ayrılmış	(saprolit)
	3. katılaşmış kayaç	(kiltası)
	4. ezik/kayma bölgesi ürünleri	
D) ZAYIF KAYA KÜTLESİ	1. yaygın kırıklı	
	2. zayıf matris içinde bloklı	
	3. eriyik boşluklu	
E) KAYA	1. bağlı	(dolerit, kireçtaşı, gnays)
	2. çimentolu	(kumtaşı)

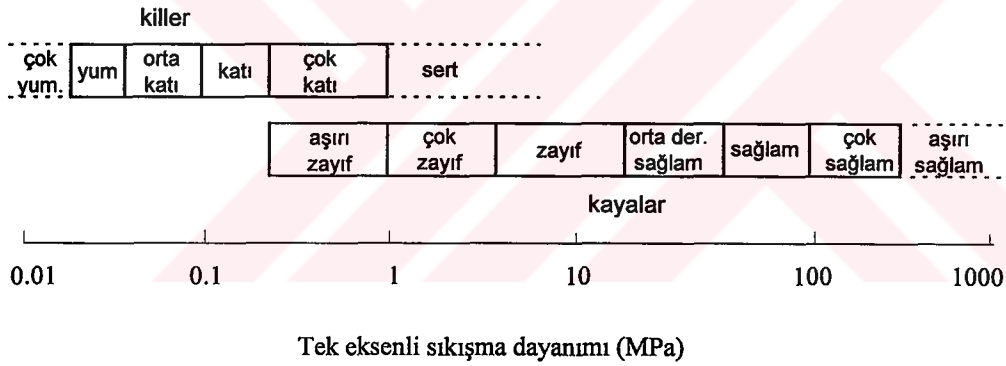
Johnston ve Novello (1993), “geoteknik açıdan yumuşak kayaçlar” adlı çalışmalarında; yumuşak kayaçların, ne zemin mekaniği ne de kaya mekaniğindeki teknolojiye uygun davranışlarda bulunmadığını öne sürmektedirler. Onlara göre bu malzemeler, yumuşak zeminden sıkı kayaca kadar uzanan bir uzantının merkezinde bulunduğundan yumuşak kaya teknolojisinde yorumların, zemin mekaniği ve kaya mekaniğinin beraber uygulanmasıyla olacağını savunmuşlardır.

Aynı yazarlar kaya - zemin ayrımını tek eksenli basma dayanımına göre yapmışlardır (Şekil 2.1). Buna göre; tek eksenli dayanım 0.75 MPa’dan düşük ise ortama zemin (soil), 0.75-30 MPa arasında olanlara yumuşak kaya (soft rock) ve 30 MPa’dan yüksek olanları da kaya (hard rock) olarak sınıflandırmışlardır.



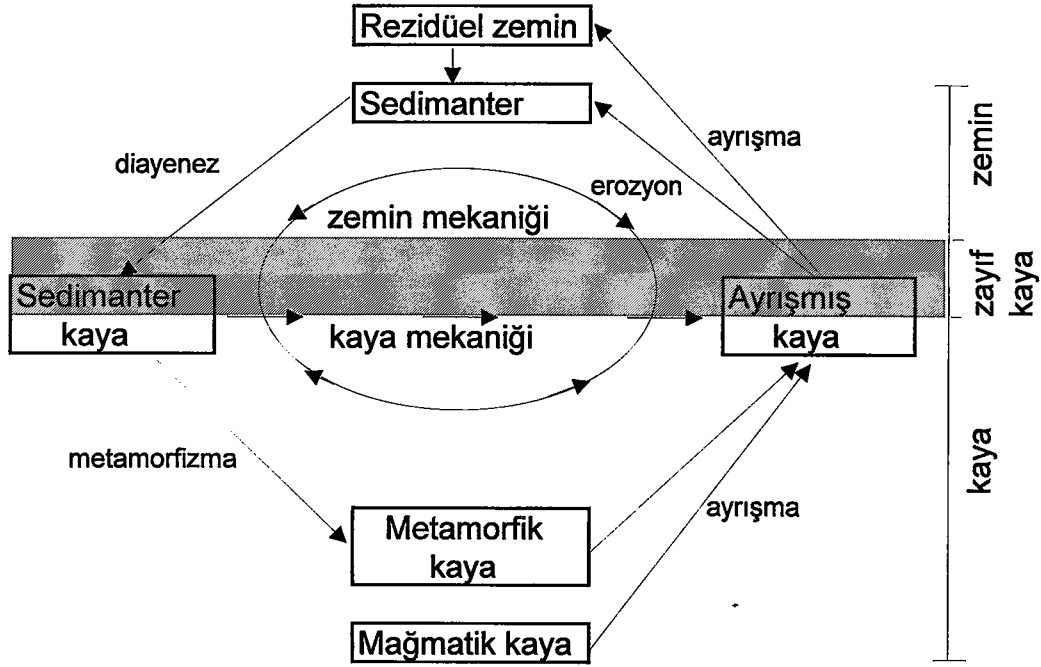


Şekil 2.1a: Tek eksenli sıkışma dayanımına göre zemin - kaya ayrımı



Şekil 2.1b: Tek eksenli sıkışma dayanımına göre zemin - kaya ayrımı

Karşılaşılan zayıf kayalardan bir bölümü ayrışma ürünü bir kısmı ise çökelme ürünüdür. Şekil 2.1a'da (ISRM, 1981) ve Şekil 2.1b'de (Dobereiner ve Freitas, 1986) zayıf kayaların oluşmasının kaya ve zemin mekaniği açısından durumları gösterilmiştir. Zayıf kayalar, zaman zaman iki disiplin tarafından da ihmal edilebilmektedir.



Şekil 2.2: Zayıf kaya konumunun şematik gösterimi (Dobereiner ve Freitas, 1986)

Jain (1993), yumuşak kaya olarak tariflediği metamorfik örneklerini suya dayanıklılık (slake durability) ve tek eksenli basma dayanımına göre 4 gruba ayırmıştır:

1. Sert sağlam kaya
2. Orta sert kaya
3. Geçiş kayası
4. Yumuşak kaya

Ondrasik, Wagner ve Matejcek (1993), granitik Karpat kayaçları üzerinde yaptıkları çalışmada, ayrılmış kayaçları; plastisite indisi, efektif sürtünme açısı ve efektif kohezyona göre ayırmışlardır. Bu çalışmacılara göre:

Aşırı derecede ayrılmış kayaç (saprolit): $\phi = 25^\circ$ $c' = 10$ kPa $E_c = 12$ MPa

Yüksek derecede ayrılmış kayaç: $\phi = 30-34^\circ$ $c' = 0-50$ kPa $E_d = 15-63$ MPa

Bell ve diğerleri (1993), killi zeminler ve çamurtaşları üzerinde yaptıkları çalışmada; ayrışma sürecini şişmenin hissedilir derecede artması yani hacim değişikliği ile açıklamaktadırlar.

Barroso ve diğerleri (1993), gnaysik kayalar üzerinde tipik bir ayrışma profilinin tanımlamasını yapmışlardır. Görünür porozite, özgül ağırlık, suya dayanıklılık ve ultrason hız gibi indeks özellikleri belirlemişlerdir. Söz konusu zayıf kayalarda yapılan çalışmalardan elde edilen veriler doğrultusunda fabrik ile indeks özellikleri arasında bir ilişki belirlemişlerdir.

İrfan ve Powell (1985), Tai Po granitleri üzerinde yaptıkları çalışmada; ayrışma derecelerini, tek eksenli basma dayanımı, deformasyon modülü, Schmidt çekici değeri ve birim hacim ağırlığa göre sınıflamışlardır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1: Ayrışma derecesinin tek eksenli dayanım, deformasyon modülü, Schmidt çekici değeri ve yoğunluğa göre sınıflanması (İrfan ve Powell, 1985)

Ayrışma derecesi	Doğal B.H.A. MN/m ³	Schmidt çekici değeri N	Nokta yükleme dayanımı MPa	Tek eksenli basma dayanımı MPa	Teget modülü GPa	Kiriş modülü (0-10 Mpa) GPa	Poisson oranı
Taze	0.0270-0.0285	59-68	7-11	175-275	50-67	45-65	
Kısmen renk değişimi	0.0265-0.0276	45-68	5-9	125-225	30-60	30-55	0.13
Tamamen renk değişimi	0.0260-0.0275	25-50	0.25-6	5-150	5-35	2.5-35	
Yüksek derecede kim. ayrışma	0.0220-0.0268	15-30	0.1-0.6	2.5-15	<5.0	<3.0	0.4
Tamamen kim. Ayrışma	<0.0220	<18	<0.1	<2.5			

Zhao ve Broms (1993), granitler üzerinde yaptıkları çalışmada; ayrışma evrelerini tek eksenli dayanıma göre altı gruba ayırmışlardır (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: Granitlerin tek eksenli dayanıma göre sınıflandırması

Ayrışma derecesi	Basma dayanımı σ_c (MPa)	Nokta yükleme indeksi I_{s50}
I. taze granit (F)	180-210	8-10
II. az ayrılmış (SW)	120-180	5-8
III.orta derecede ayrılmış (MW)	70-120	3-5
IV.yüksek derecede ayrılmış (HW)	30-70	1-3
V. tamamen ayrılmış (CW)	çok düşük	-
VI.rezidüel zemin (RS)	çok düşük	-

Aynı araştırmacılar Bukit Timah granitleri üzerinde çalışarak farklı ayrışma evrelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir (Zhao ve diğerleri, 1995).

Tablo 2.3: Bukit timah granitlerinin mekanik özellikleri

Ayrışma derecesi	Doğal B.H.A. (MN/m ³)	SPT N	RQD (%)	$I_s(50)$ (MPa)	σ_c (MPa)	V_p (km/s)	E_d (GPa)	k (*10 ⁻⁹) (m/s)
rezidüel zemin (VI)	0.0209	13	-	-	-	1.2	4.5	-
tamamen ayrılmış (V)	0.0214	33	-	-	-	0.9	5.4	-
yüksek ayrılmış (IV)	0.0232	-	45	1.8	32	0.7	5.4	5.12
orta ayrılmış (III)	0.0243	-	83	5.6	88	4.8	332.3	1.80
az ayrılmış (II)	0.0254	-	96	9.9	165	5.6	562.1	1.59
taze granit (I)	0.0266	-	99	11.1	192	5.8	603.5	0.58

2.2. Granitik Kayaçlarda Ayırışma

Çeşitli araştırmacılar tarafından granitik kayaçlar üzerinde çok eskiden beri çalışmalar yapılmaktadır. İlk kez Moye (1955) tarafından granitler üzerinde ayırışma sınıflaması yapılmıştır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, bazı araştırmacılar tarafından aynı ayırışma sınıflaması kullanılmış, bazıları tarafından ise geliştirilerek yeniden düzenlenmiştir. Tablo 2.4 te bugüne kadar yapılmış granitler üzerindeki karşılaştırmalı ayırışma sınıflamaları gösterilmektedir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi yapılan çalışmaların hemen hepsinde benzerlikler vardır. Bu çalışmalar; farklı bölgelerdeki ve farklı özellikteki granitik kayaçlardaki değişimleri yansıtmaktadır.

Yapılan tüm kayaç sınıflamalarının standart terimlerle yapılması uygulayıcılara kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışma programında araziden elde edilen verilerle laboratuvar deneyleri yapıldıktan sonraki aşamada, ISRM (1981) ve ANON (1995)'te geliştirilen ayırışma sınıflamaları uygulanmıştır.

Granitler ana mineraller olarak kuvars ve feldispatları içerdiklerinden; jeolojik açıdan sınıflandırılmaları doku ve dane boyuna göre olmaktadır. Granitik kayaçların petrografik çalışmalar sonucunda alkali granit, adamellit ve granodiyorit olarak üç sınıfa ayrılmaları feldispatın çeşidi ve oranlarına göre olmaktadır (Hatch, Wells ve Wells, 1952). Bu çalışmada polarizan mikroskobundan elde edilen verilere göre çalışma konusu olan örneklerin, granodiyorit olduğu sonucuna varılmıştır. Aşağıda çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış, granitik kayalar için geliştirilmiş sınıflamalar verilmiştir.

Gidigasu (1974), ayırışma guruplarının ayırımını genetik, kimyasal, mineralojik ve morfolojik özelliklere göre yapmıştır. Dearman, Baynes ve İrfan (1978), granitik kayaçların ayırışmasını; renk değişimi, zayıflık derecesi, kimyasal değişim ve fiziksel parçalanmanın sonucu olarak açıklamaktadırlar. İrfan ve Powell (1985), Hong Kong granitleri üzerinde yaptıkları çalışmada; granitleri süreksizlik göre altı farklı ayırışma derecesine ayırmışlardır.

Tablo 2.4: Granitik kayalar için geliştirilmiş karşılaştırmalı ayrışma sınıflamaları

MOYE (1966)	RUXTON & BERRY (1957)	DEERE & PATTON (1971)	DEARMAN, BAYNES and IRFAN (1978)	ISRM (1984)	IRFAN & POWELL (1985)	WILLIAMSON, KUHN URCS (1988)	LEE & FREITAS (1989)
GRANİT	GRANİT	GENEL	GRANİT	GENEL	GRANODİORİT	GENEL	GRANİT
TAZE GRANİT	TAZE KAYA	AYRIŞMAMIŞ KAYAÇ	TAZE KAYA	TAZE KAYA	TAZE KAYA	MİKRO TAZE DURUM	TAZE KAYA
AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ GRANİT	KISMEN AYRIŞMIŞ KAYAÇ	KISMEN AYRIŞMIŞ KAYAÇ	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ	AZ AYRIŞMIŞ	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ	GÖRÜNÜR TAZE DURUM	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ (KAYA)
ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ GRANİT	KALINTI TOPRAKLI ÇEKİRDEK TAŞLAR		ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	RENK DEĞİŞTİRİLMİŞ	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ (KAYA)
YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ GRANİT	ÇEKİRDEK TAŞLI KALINTI TOPRAK	GEÇİŞ ZONU	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	KISMEN AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ (KAYA/ZEMİN)
TAMAMEN AYRIŞMIŞ GRANİT		KALINTI ZEMİN	TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ (ZEMİN)
GRANİTİK ZEMİN	KALINTI ZEMİN		KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN (ZEMİN)
WEI & LIU (1990)	GHOSE & AWASTHI (1990)	ZHAO & BROMS (1993)	PRICE (1993)	DEARMAN (1995)	ANON (1995)	IRFAN (1996)	BU ÇALIŞMA (1998)
GRANİT	GRANİT	GRANİT	GENEL	GENEL	GENEL	GRANİT	GRANODİORİT
TAZE KAYA	TAZE	TAZE KAYA	TAZE KAYA BELİRSİZ AYRIŞMA	TAZE KAYA	TAZE KAYA	TAZE KAYA	TAZE KAYA
AZ AYRIŞMIŞ	FİZİKSEL AYRIŞMA	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ	AZ DERECEDE AYRIŞMIŞ
ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	KİMYASAL AYRIŞMA	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ	ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ
YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ	YÜKSEK DERECEDE AYRIŞMIŞ
TAMAMEN AYRIŞMIŞ (LOWER)		TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ	TAMAMEN AYRIŞMIŞ
TAMAMEN AYRIŞMIŞ (MIDDLE)	ZEMİN					GEÇİŞ ZEMİNİ	
TAMAMEN AYRIŞMIŞ (UPPER)		KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN	KALINTI ZEMİN

taze kaya: görünür herhangi bir ayrışma belirtisi yok, süreksizlik yüzeylerinde az derecede renk değişimi olabilir

az ayrılmış: kayada ve süreksizlik yüzeylerinde ayrışma etkisiyle renk değişimi gözlenmekte % 10 dan az miktarda kimyasal ayrışma ve/veya fiziksel parçalanma

orta derecede ayrılmış: % 10 ile 50 arasında kimyasal ayrışma ve/veya fiziksel parçalanma

yüksek derecede ayrılmış: Kayacın yarısından fazlasında kimyasal ayrışma ve/veya fiziksel parçalanma

tamamen ayrılmış: tüm kayaç kimyasal ayrışmaya ve/veya fiziksel parçalanmaya uğramış ancak kayanın doğal yapısı korunmakta

kalıntı zemin: tüm kayaç zemine dönüşmüş, kaya yapısı ve doku yok olmakta, hacimde büyük değişim, fakat zemin yerinde oluşmuş

Lee ve Freitas (1989), Kore granitlerinin, mineralojik özelliklerini esas alarak, kimyasal ayrışma ve fiziksel parçalanmaya göre altı gruba ayırmışlardır. Wei ve Liu (1990), granitlerdeki ayrışmayı diğer araştırmacılarınkine benzer şekilde sınıflandırmışlardır. Burada getirdikleri farklılık, tamamen ayrılmış kayacı kendi içinde üç bölüme ayırmış olmalarıdır. Bu ayrımı yaparken kayacın içindeki kuvars, feldispat, kaolin ve plajioklas miktarının değişimini dikkate almışlardır. Price (1993), kaya kütlelerinin ayrışma sınıflamalarını; kaya karot yüzdesi, kaya kalite derecesi ve kaya malzeme tanımlamasına göre altı guruba ayırmıştır. Bu sınıflamaları yaparken kayacı süreksizlik yüzeylerinin ayrışması, renk değişimi, kimyasal bileşim ve fiziksel parçalanmaya göre sınırlamıştır. İrfan (1994), Hong Kong granitleri üzerinde yaptığı çalışmada granitleri mineral içeriğine göre önce beş ana guruba ayırmış, daha sonra da tamamen ayrılmış gurubu yine kendi içinde üçe ayırmıştır. Dearman (1995), ayrışma guruplarını altı evreye ayırırken bunları arazi gözlemleri ile çatlakların sıklığı ve açıklığının farklılığına dayandırmıştır. İrfan (1996), Hong Kong granitleri üzerinde yaptığı çalışmada; ayrışma evrelerini, kimyasal ayrışma indekslerine göre guruplara ayırmıştır. Elde ettiği sonuçları, petrografik indeksler ve X ışını kırınım metodu sonuçları ile karşılaştırmıştır.

2.3. Araştırma İçin Gerekçe

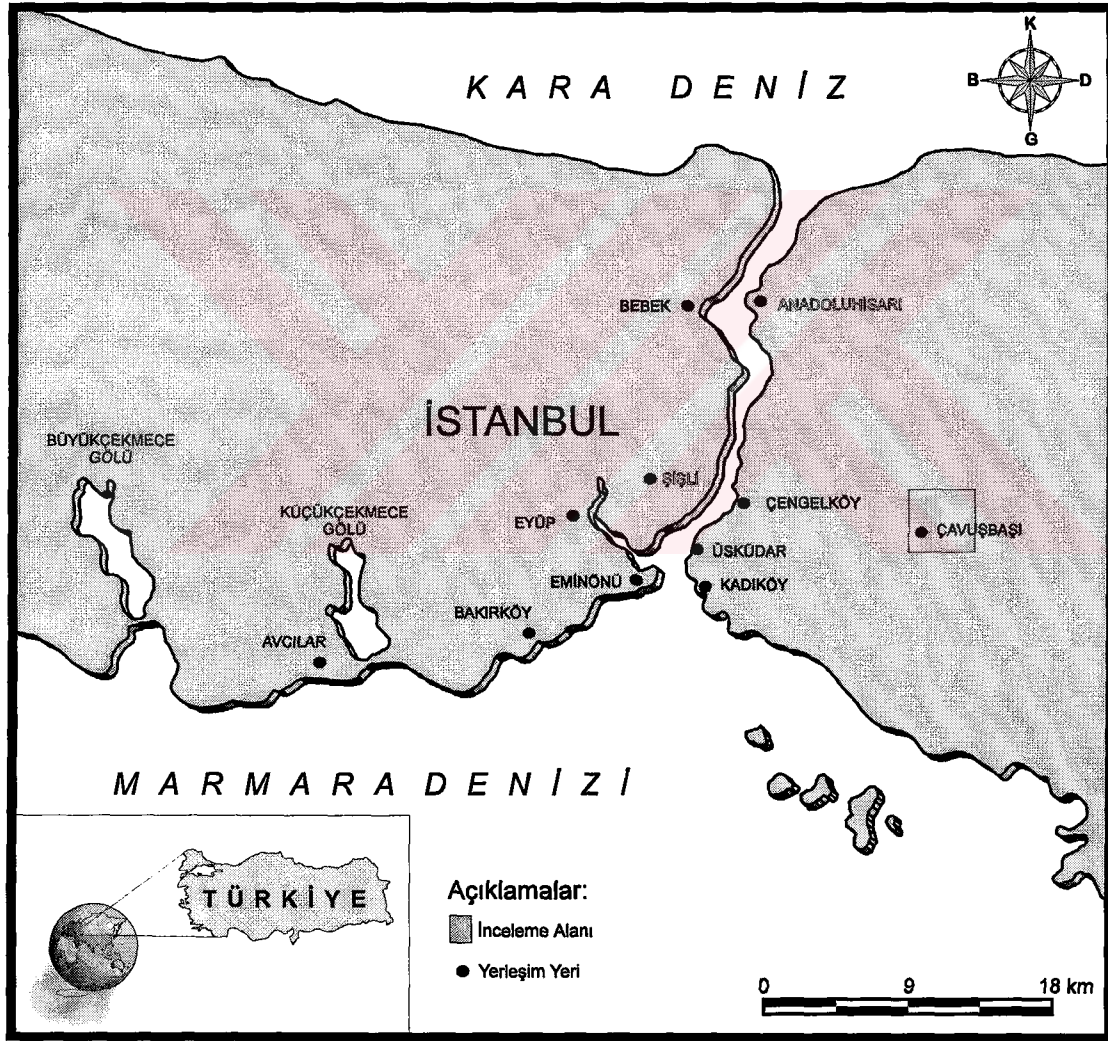
Yukarıda değinildiği gibi kaya - zemin ayırımı konusu geoteknikte son on yılın önemli araştırma başlıkları arasında yer almaktadır. Geoteknik topluluğu kayayı, geçiş malzemesi ve zeminden 1 ya da 1.5 MPa gibi bir minimum tek eksenli basma dayanımını esas olarak ayırmaktadır. Ancak bilimsel dayanağı güçlü olmayan bu ayırım kriterini gerekçesiz seçmenin uygun olmayacağı nedeniyle bu konuda geniş çalışmalar halen yürütülmektedir.

Petrografik incelemeler ve ayrışma indisleri bu yolda atılmış önemli bir adımdır. Ancak kaya gibi gevrek malzemeleri sadece bu yoldan aynı perspektifte incelemenin olanaksızlığı kabul edilmektedir. Kayalarda ayrışmanın ilerlemesi durumunda matriste birincil minerallerin yerini kil gibi ikincil mineraller almaya başladığında incelemeler ve ayırım daha da zorlaşmaktadır. Ayrışan bir ortamda ürünün kil olmaması durumunda matrisin temel mineralojik özelliklerini yitirmeyeceği düşünüldüğünde ayrışmanın böyle ortamlarda mekanik özelliklere ne tür bir değişim getireceği bu tez için yürütülen araştırmanın çıkış noktası olmuştur. Şöyle ki, granodiyorit gibi mineralojisi bilinen bir kayada ayrışma sadece beliren mikro ve makro çatlakları geliştireceğinden dayanım kaybının nedenlerini kilin yokluğunda daha basit bir mekanizma ile açıklama olanağı bulunabilir. Bu durumda artan boşluk hacmi yani porozite, matrisin sıkışabilirliğini yükselteceğinden bunu yansıtan en belirgin özellik olan artan gerilme altında yükselen boşluk suyu basıncının ölçümü granodiyorit daneleri arasındaki tutunmanın hangi ayrışma evresinde kaya için kabul edilebilir limitin altına düşeceğinin ölçütü olacaktır. Bu aşamada beliren ikinci görüş tek eksenli gerilme altında ve kumlaşmış ortamda sıkışabilirlik yanında kayma direncinin de en azından iki eksenli bir gerilme sisteminde değerlendirilmesinin zorunlu olduğu noktasında yoğunlaşmaktadır.

BÖLÜM 3. GEREÇ

3.1. Çavuşbaşı Vadisinin Jeolojisi

İnceleme alanı, İstanbul Boğazı'nın doğu yakasında Beykoz ilçesine bağlı Çavuşbaşı civarındır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: İnceleme alanının bulduru haritası

Çavuşbaşı yöresinde; farklı yaş ve kökene ait çökel, metamorfik ve magmatik kayaçlar yer almaktadır. Bunlar yaşlıdan gence doğru, Ordovisiyen ile Devoniyen zaman aralığında çökelmiş sedimentler, bunların içine muhtemelen Permiyen'de sokulan ve etrafında kontak metamorfik şistleri oluşturan granodiyoritler, Üst Kretase yaşlı diyabazik-andezitik damar kayaçları ve Kuvaterner yaşlı yamaç döküntüleri ile alüvyonlardır. İnceleme alanında yer alan birimlerin litolojik sınırları ve yayılımları jeolojik haritada gösterilmiştir (Şekil 3.2).

3.1.1. Çökel kayaçlar

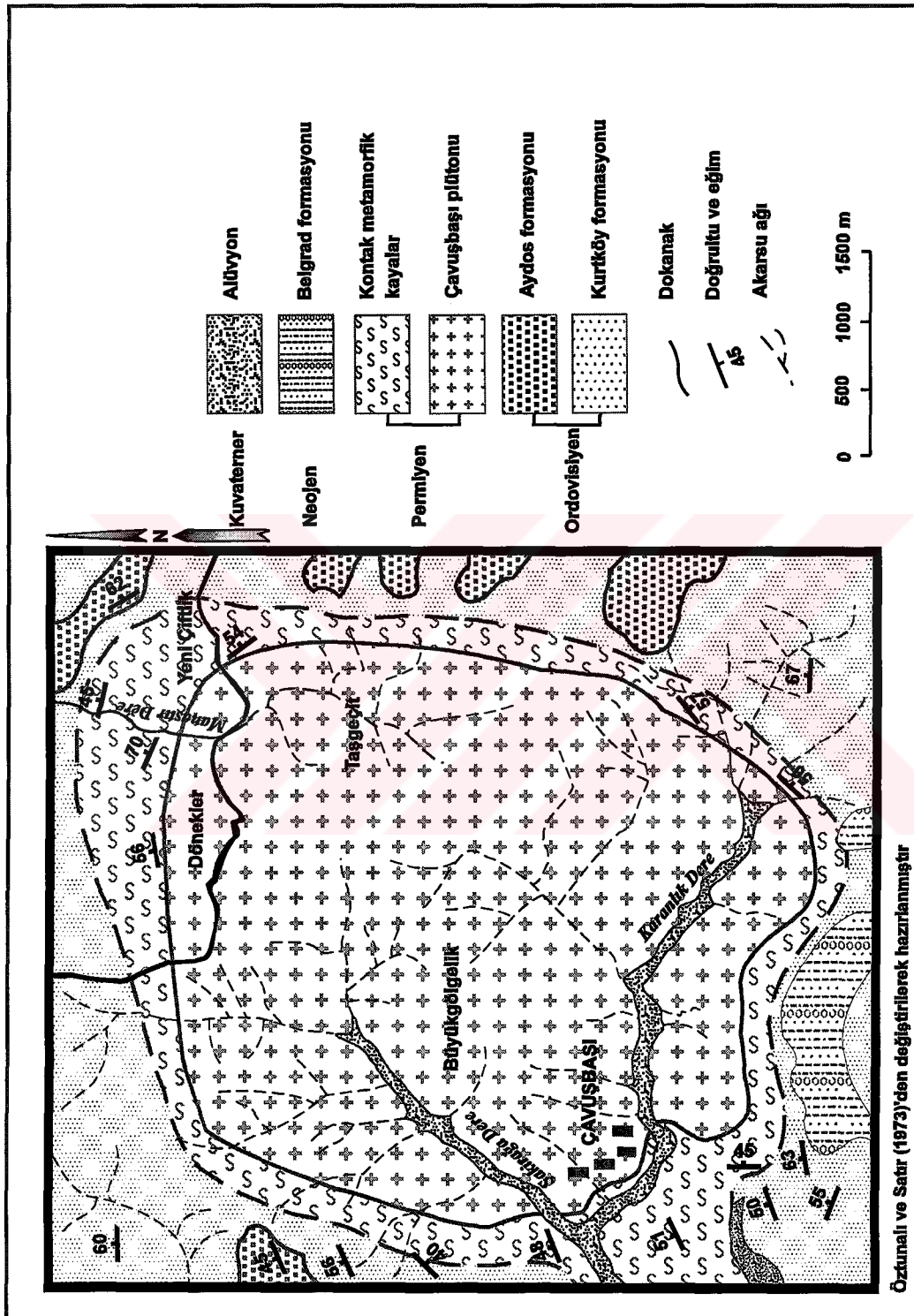
İnceleme alanındaki çökel kayaçlar esas olarak Paleozoyik yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Bunun yanında yer yer Kuvaterner yaşlı birimler izlenmektedir. Bölgedeki Paleozoyik istif; Ordovisiyen yaşlı Kurtköy ve Aydos Formasyonları ile Belgrad Formasyonundan kuruludur. Bu çalışmada gerek formasyon adlamaları, gerekse yaş kabulleri İstanbul Paleozoyiği üzerinde en yeni ve kapsamlı çalışma olmasından dolayı Önalın (1981)'a göre yapılmıştır.

3.1.1.1. Kurtköy Formasyonu

İnceleme alanında yaygınca mostra veren Kurtköy Formasyonu esas olarak mor-mavimsi gri renkli çakıltası ve kumtaşı ile kahverenkli şeyl, silttaşı, çamurtaşı araldanmasından oluşur. Gerek kahverenkli kil bantları içeren mavimsi gri renkleri, gerekse kırıntılı dokusu nedeniyle arazide kolayca tanınır. Dış etkilerle kolayca ayrışabilen bu formasyonda, yüzeyde kırmızı renk egemendir. Seyrek de olsa bazı noktalarda masif görünümlüdür.

3.1.1.2. Aydos Formasyonu

Kurtköy Formasyonunun üzerinde, aynı yaşta ve uyumlu olarak bulunmaktadır. Aydos Formasyonu, tabanda kuvars konglomerası ile başlayan pembemsi mor - beyaz renkli silttaşı - şeyl arakatlı kuvarsarenitlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.2 : Çavuşbaşı ve yöresinin jeoloji haritası

3.1.1.3. Belgrad Formasyonu

Paleozoyik ve Mezozoyik üzerinde diskordans olarak bulunan Plio-Kuvaterner yaşı Belgrad Formasyonu, arkoz, grovak, kuvarsit, çört ve kireçtaşı parçalarından oluşmuştur. Yaşı daha önceki çalışmacılara dayanılarak Plio-Kuvaterner olarak tahmin edilmektedir (Abdüsselamoğlu, 1977).

3.1.2. Mağmatik kayalar

Çalışma alanındaki magmatik kayalar; Permien yaşı Çavuşbaşı granodiyoriti ile Üst Kretase yaşı andezit ve diyabaz dayklarından oluşmaktadır.

3.1.2.1. Çavuşbaşı Granodiyoriti

Çavuşbaşı granodiyoriti yüzeyde ayrıışmış olarak bulunur. Genellikle Kurtköy Formasyonuna ait arkozları metamorfizmaya uğratmıştır. Granodiyoritlerin içinde ksenolitler, feldspat ve kuvarstan oluşan ince taneli aplit damarcıkları, kalın kurşuni renkli kuvars damarları ve yuvarlağımsı, yeşilimsi renkli bantlanma yapıları görölmektedir.

Bu intrisüf kütle, Çavuşbaşı ve civarlarında yaygınca yüzeylenmektedir. Burada Ordovisiyen yaşı Kurtköy Formasyonunun içine sokulan granodiyoritler, çevresinde dar bir kuşak şeklinde kontak felslerini ve benekli şistleri oluşturmuştur. Plütonitin egemen mineralleri; kuvars, plajiolklas, K-feldspat, biyotit ve hornblenddir. Apatit, zirkon, epidot ve opak mineraller diğer tali mineralleri oluşturur. Kayaç hipidiomorfik holokristalen dokulu olup sıkça ince aplit ve kuvars damarları ve bunun yanında andezit, dasit ve lamprofir daykları içermektedir (Öztunalı ve Satır 1973). Çavuşbaşı granodiyoritinde yapılan radyometrik yaş tayinleri Permien sokulum yaşını göstermektedir (Öztunalı ve Satır, 1973).



Fotoğraf 3.1: Orta derecede ayrılmış granodiyorit



Fotoğraf 3.2: Yüksek derecede ayrılmış granodiyorit

Fotoğraf 3.3: Tamamen ayrışmış granodiyorit



Fotoğraf 3.4: Tamamen ayrışmış granodiyorit ve kalıntı zemin

Çavuşbaşı plütoniti, yüzey ayrışmaları sonucu kalın arena örtüsü ile kaplıdır. Sağlam ve taze numuneler çalışma alanının kuzey, kuzeydoğu ve doğu kısmındaki sel ve dere yarıkları ile yeni inşaat kazılarından, yol yarmalarından ve işletilmekte olan bir gereç ocağından alınabilmektedir. Taze granodiyorit yüzeyde nadiren gözlenmekte; çoğunlukla arenalaşmış olarak izlenebilmektedir.

3.1.2.2. Andezit daykları

İnceleme alanında hem Paleozoyik istif hem de Granodiyoritler içinde damarlar şeklinde izlenirler. Belli bir geometrik yerleşim paterni göstermemekle birlikte kabaca KD-GB ve KB-GD doğrultusunda uzanırlar. Bölgedeki dayk kayaları andezitik-bazaltik bir magmanın damar ürünlerini oluşturduklarından mineral bileşiminden ziyade dokusal farklılıklarına göre porfirik dokulu andezit ile diyabaz arasında her tür geçiş bulunmaktadır (Öztunalı ve Satır, 1973). Andezitik dayk kayaları çoğunlukla ayrılmıştır. Özellikle şeyl, grovak gibi killi kayalar içine sokulan daykların arazide tanınması güçleşmektedir. Öte yandan killi kayaların bünyesine aldıkları su, andezitik kayada başta feldspatların hızla ayrışmasına neden olmaktadır. Kireçtaşı gibi bünyesinde fazla su bulunmayan kayaların içine yerleşen andezitik daykların daha taze olarak kaldıkları da gözlemler arasındadır.

3.1.3. Metamorfik kayalar

3.1.3.1. Kontak şistler

İnceleme alanındaki metamorfikler, Çavuşbaşı granodiyoriti etrafında bir kuşak şeklinde izlenen biyotit şistlerdir. Kontak metamorfizmayla gelişmiş şistler 250-400 metre kalınlıkta bir zon oluştururlar. Kontak şistler benekli doku göstermekte, benekler biyotit minerallerinden oluşmaktadır. Kontak metamorfik zon granodiyoritlerle ordovisiyen yaşlı Kurtköy formasyonunun feldspatik kumtaşları arasında bulunur. Kontak şistler granodiyoritlerle dereceli geçişli olup 70-80 dereceyle plütonitten dışa doğru eğim göstermektedir.

3.1.4. Yapısal ögeler

Eklemler; İnceleme alanındaki formasyonlarda sık kırılma yapıları izlenmektedir. Bunlar genellikle iki, bazen de üç yönde gelişmiştir. Bazı noktalarda kırık sistemleri dikkatle incelenirse bunların mikro faylar olduğu, birbirlerini 3-5 cm.'lik atılımlara uğrattığı görülür.

Faylar; çalışma alanında doğu - batı gidişli bindirme ve bindirmeye yaklaşan ters faylar ile bunları kesen kuzeybatı - güneydoğu yönlü yırtılma fayları bulunmaktadır.

3.2. Ayırışma / Yıpranmanın Nedenleri

Ayrışma / yıpranmanın nedenleri; granodiyoritin yaşlı (Paleozoyik) olması, ortamın yoğun tektonizma etkisine maruz kalması, formasyonun bol kırıklı ve çatlaklı olması, yeraltısuyu seviyesinin yüzeye yakın olması ve havalanma zonunun kalın olması şeklinde sıralanabilir.

Derince ayrıışmış granitik kayalar Çavuşbaşı yöresinde yaygınca görölmektedir. Granitik kayaların ve bunlardan oluşan zeminlerin mühendislik özellikleri, mineralojik ve fabrik karakteristikleri ile ilgilidir.

Kaya kütesinin mühendislik özellikleri kayanın fiziksel özellikleri ile birlikte içermiş olduğu süreksizliklerle de ilgilidir. Çünkü kaya kütesi içindeki suyun dolaşımını, içermiş olduğu boşluklar ve süreksizlikler kontrol eder. Süreksizlikler yüzey alanı ve sayısını arttırarak ayrıışmayı hızlandırmaktadır.

Kaya malzemesinin özellikleri; mineralojik bileşimi, dokusu (dane boyutu ve şekli), ve ayrıışma derecesi ile kontrol edilir. Kimyasal ve petrografik araştırmalar; ayrıışmış granitlerin kimyasal, mineralojik ve fabrik özelliklerini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Bu yöntemler; kimyasal analizler X-ışını kırınım analizi ve polarizan mikroskobu çalışmalarıdır.

Ayrışma derinliği yerel farklılıklar sunmakta ve kalın ayrışma zonları genellikle süreksizliklerle gelişmektedir. Ayrışma ile kaya kütlelerinde bulunan süreksizlikler artar ve genişler. Özellikle donma çözülme nedeniyle bu süreksizliklerin sayısında önemli bir artış meydana gelir. Bunun sonucunda kayanın ikincil porozitesinde ve geçirimsizliğinde önemli artış gözlenir. Ayrışma ile kaya bünyesindeki kırık sayısı artar (Fookes ve diğ. 1971). Bölgedeki iklim rejimi, gerilme durumu ve kaya kütlelerinin yüzeyde kalma süresi ayrışmayı etkilemektedir. Kaya atmosferik şartlara ne kadar maruz kalırsa ayrışma için o kadar süre oluşur (Hill ve Rosenbaum, 1994).

Erozyon ile de üstteki malzemenin (kaya) ortadan kalkması ve bunun sonucunda alttaki daha taze malzemenin yüzeylenmesi de ayrışmayı hızlandırmaktadır.

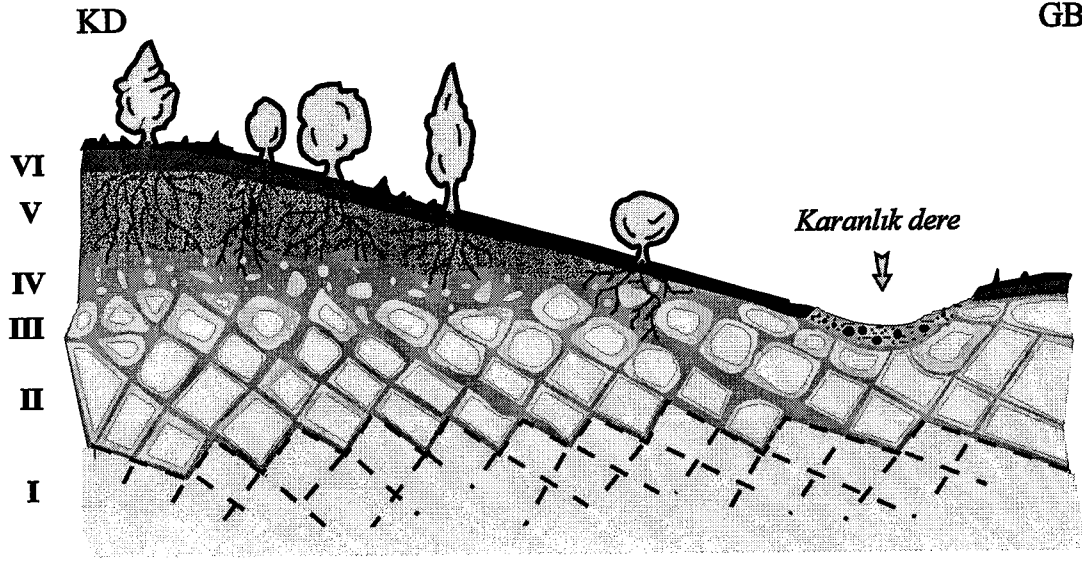
Genel olarak, granitlerdeki kil mineralleri ayrışma sonucu gelişmektedir. Bunların ayrılmış malzemede bulunuşu granitlerin kolayca parçalanabileceğini açıklamaktadır. Çünkü fiziksel parçalanma genellikle bu killerin suyu bünyelerine almaları ve sonunda şişmeleri sonucu oluşmaktadır. Örneğin feldispatlardaki kil mineralleri suyu kolayca bünyesine alarak ayrışmaya zemin oluşturmaktadır. Burada ilginç olan, Çavuşbaşı granodiyoritlerinin ayrışmaya maruz kalmasına rağmen XRD analizi sonuçlarına göre killeşmenin olayının görülmemesidir.

3.3. Arazi Çalışmaları

3.3.1. Granitik kayaçların seçilmesinin nedenleri

Bu araştırma için granodiyoritlerin seçilme nedenleri; Türkiye’de yaygınca yüzeylenmesi, kolay ayrışması (koyu renkli mineraller ile feldspat içerdiğinden), farklı ayrışma dereceleri arasındaki geçişin belirgin olması biçiminde sıralanabilir.

Arazideki ayrışmanın genel durumunu yansıtmak amacıyla bir enine kesit hazırlanmıştır (Şekil 3.3). Kesitten de görüldüğü gibi, ayrışma derecesi derinden yüzeye doğru gidildikçe artmaktadır.



Şekil 3.3: Çavuşbaşı granodiyoritleri için yapılmış temsili enine kesit (ölçeksiz)

3.3.2. Örneklemeye

Arazi çalışmalarında örneklemeye yapılırken; yamaç üzerinde çok ayrılmış, dere yatağına doğru inildikçe daha sağlam örneklerle rastlanılmıştır. Her ayrışma derecesinden örneklemeye yapmak oldukça güç olduğundan çeşitli yöntemlere başvurulmuştur. Bu örneklemeye sistemleri aşağıda görülmektedir:

Taze kayadan sondaj yapmak suretiyle,

Az ayrılmış örneklerden sondajla,

Orta derecede ayrılmış örnekler büyük bloklardan yine sondaj yapmak suretiyle (fotoğraf 3.5),

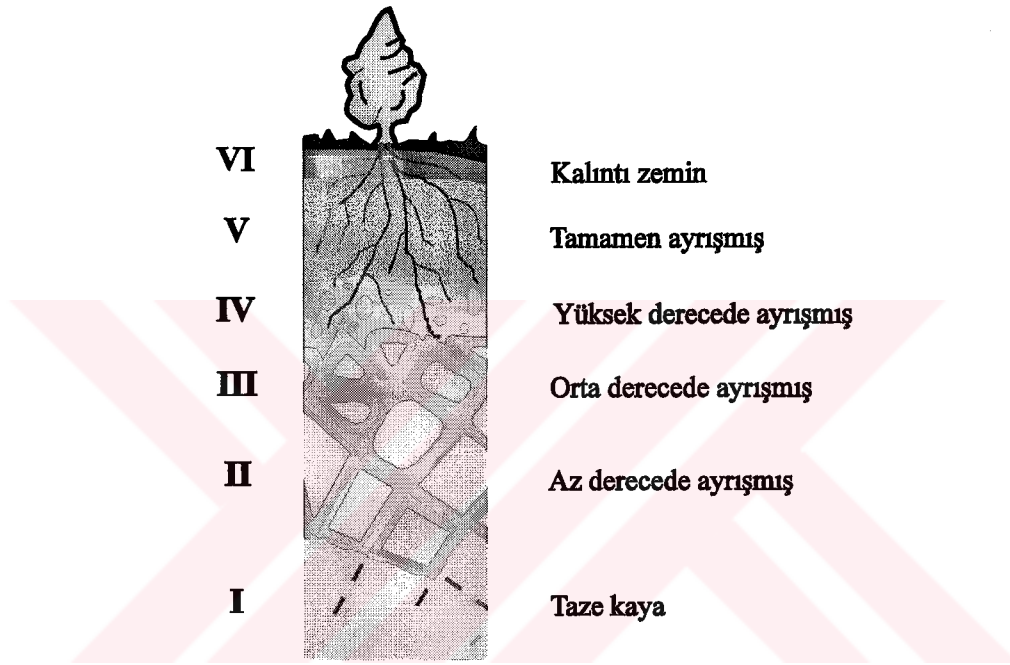
Yüksek derecede ayrılmış örneklerin etrafı betonlanarak laboratuvarında karot makinesi yardımıyla (fotoğraf 3.6),

Tamamen ayrılmış örnekler spiral taşla yontularak (fotoğraf 3.7),

Kalıntı (rezidüel) zeminden ise yerinde tüp batırmak suretiyle, örneklemeye yapılmıştır.

3.3.3. Ayrışma profili

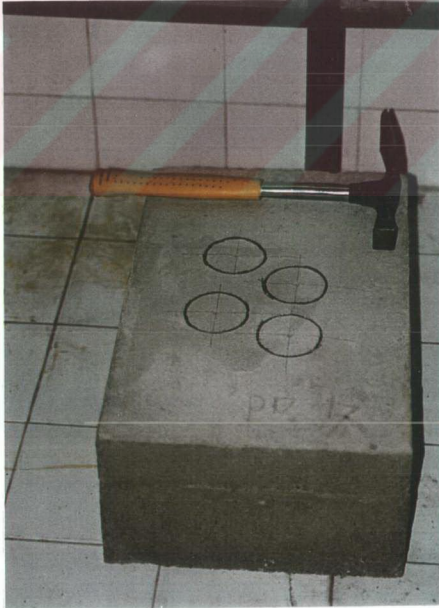
Arazi gözlemlerinden elde edilen verilerle her bir ayrışma sınıfının ayırtman özellikleri belirlenerek Çavuşbaşı granodiyoriti için bir ayrışma profili hazırlanmıştır (Şekil 3.4).



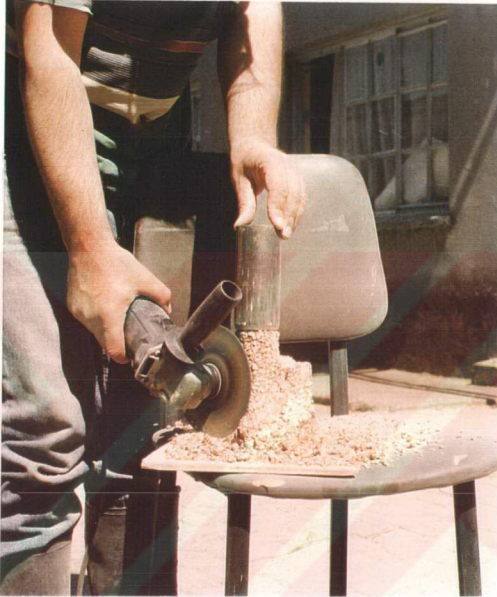
Şekil 3.4: Çavuşbaşı granodiyoritleri için geliştirilen ayrışma profili



Fotoğraf 3.5: Orta derecede ayrılmış örneklerin bloklardan sondaj makinesiyle alınması



Fotoğraf 3.6: Yüksek derecede ayrılmış örneklerin betonlanması



Fotoğraf 3.7: Tamamen ayrılmış örneklerin spiral taşla yontularak alınması

Çalışma alanında, ayrışma profili boyunca taze kayadan, ayrılmış kayaca ve yüzeye doğru gidildikçe kalıntı zemine geçiş görülmektedir. Profilde belirtilen I. sınıf taze kayaç, II. sınıf az ayrılmış, III. sınıf orta derecede ayrılmış, IV. sınıf yüksek derecede ayrılmış, V. sınıf tamamen ayrılmış ve VI. sınıf kalıntı zemin olarak tanımlanmaktadır.

Yüzeyde taze granodiyorite rastlanmamasından dolayı, çalışmalarda sondaj yapmak suretiyle ana kayaya ulaşılmıştır. Yarmalar üzerinde yapılan gözlemlere göre ayrışma derinliği sık farklılıklar sunmaktadır (Şekil 3.4). Buna göre çevrede yapılan kazılardan gözlemlenen en yüksek ayrışma kalınlığı 30 m. civarında saptanmıştır.

Ayrışma derinliği; topoğrafya, tektonizma etkileri, yeraltı suyu ve mikroklimanın çok kısa mesafelerde değişmesine bağlı olarak değişmektedir.

3.4. Çavuşbaşı Granodiyoritinin Ayrışma Mekanizması

3.4.1. Giriş

Çavuşbaşı granitik kayaları üzerinde yapılan petrografik, mineralojik ve kimyasal analizler sonucunda bu kayalar; Streckeissen (1976)'ya göre granit, granodiyorit ve kuvarsdiyorit olarak sınıflandırılmıştır. Araştırmalar, bunların içinde en yaygını olan granodiyorit üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Granodiyoritteki ayrışma profili inceleme alanındaki yarmalarda incelenmiştir. Ayrışma profili yeraltından yüzeye doğru, taze kayaktan kalıntı zemine (rezidüel zemin) kadar altı sınıfta incelenmiştir. Çavuşbaşı granodiyoritine Anon (1995) tarafından önerilen ayrışma sınıflaması uygulanmıştır (Tablo 3.1). Granodiyoritteki ayrışma zonu yer yer 30 metre den fazla kalınlıklar sergilemektedir. Taze granodiyorite vadilerde yüzeyden 3-5 metre derinlikte rastlanmaktadır. İnceleme alanında çoğunlukla yüzeydeki tamamen veya yüksek derecede ayrılmış granodiyoritten taze veya çok az ayrılmış granodiyorite ani geçiş söz konusudur. Orta derecede ayrılmış kesimlere inceleme alanının birçok kesimlerinde rastlanmamıştır. Ayrışma profilinin en üst kesiminde ince bir kalıntı zemin tabakası yer almaktadır. Yapılan incelemelerden elde edilen verilere göre granodiyoritin ayrışması hızlı gelişmiş ve genellikle bu kayalar hakim olarak fiziksel ayrılmaya uğramıştır. Ayrışma yüzeyinin konumu (weathering front) yeraltısuyu hareketleri ile ilgilidir. Düşey, ortogonal ve yataya yakın konumda olan eklemler yeraltısuyu hareketlerini kontrol eden başlıca unsurlar olarak saptanmıştır.

Tablo 3. 1: Çavuşbaşı granodiyoritinin tipik özellikleri

Ayrışma derecesi	Sınıf	Tipik özellikler
I	taze kaya	kayacın orjinal özelliklerinde herhangi bir değişim yok
II	az ayrılmış	az oranda renk değişimi ve az oranda zayıflama
III	orta derecede ayrılmış	kayada zayıflama, renk değişimi kayacın içine işlemiş, büyük parçalar elle kırılmıyor
IV	yüksek derecede ayrılmış	büyük parçalar elle kırılabilir, kuru örnekler suya batırıldığında kolay dağılmıyor
V	tamamen ayrılmış	önemli oranda zayıflama, suda dağılabilir, orjinal doku korunmakta
VI	kalıntı zemin	yerinde ayrışma sonucunda gelişen zemin, orjinal doku ve fabrik korunmuyor

3.4.2. Petrografik, mineralojik ve kimyasal karakteristikler

Kayacın içerdiği birincil minerallerin yüzde olarak ikincil minerallere dönüşmesi kayanın ayrışma / yıpranma derecesini yansıması açısından zemin - kaya ayrımını bir ölçüde sağlamaktadır.

Taze ve ayrılmış granitlerin petrografik ve doku özellikleri polarizan mikroskobu ile incelenmiştir. Tüm kayacın mineralojik bileşimi ise X-ışını kırınım (XRD) metodu ile belirlenmiştir. Aynı örneklerin kimyasal bileşimleri ise ICP (Inductively Coupled Plasma) metodu ile belirlenmiştir.

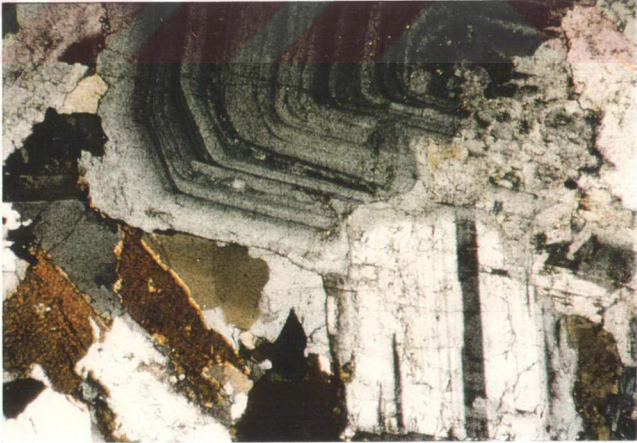
Taze örneklerin yanı sıra her bir ayrışma sınıfına ait örnekler üzerinde de polarizan mikroskobu çalışmaları yapılmıştır. Taze kayadaki mineral taneleri ayrılmamış olup bu mineraller birbirine sıkıca bağlanmıştır. Yüksek derecede ve tamamen ayrılmış

granodiyoritten incekesit hazırlamak oldukça güç olmuştur. Bunun nedeni taşın kesimi sırasında dağılmaların meydana gelmesidir. Bu derecede ayrıışmış örneklerden incekesit hazırlarken kaynatma metodundan yararlanılmıştır. Mikroskopik özelliklere göre ayrışma sınıflarının tanımlaması Tablo 3.2’de sunulmuştur:

Gerek polarizan mikroskobu çalışmaları, gerekse XRD analiz sonuçları değerlendirildiğinde granitlerin petrografik ve mineralojik bileşimlerinde önemli bir değişimin olmadığı, daha çok dokularında değişimlerin olduğu ilginçtir. Özellikle ayrıışmış granodiyoritte yoğunlaşan intergranüler (dane içi) ve transgranüler (bütün mineralleri kateden) mikroçatlaklar dikkat çekicidir. Bu durum granitlerin kimyasal ayrışmadan çok fiziksel ayrışmaya uğradığının göstergesidir. Granodiyoritteki bileşim değişimleri çoğunlukla anortitlerin albitleşmesi şeklindedir. Bu durum Fotoğraf 3.10’da görüldüğü gibi zonlu plajioklaslarda belirgindir. Granodiyoritteki plajioklaslar derinde yüksek sıcaklık koşullarında kristallendiğinden, türü çoğunlukla daha bazik karakterdeki anortittir. Ancak yüzey şartlarına, yani düşük sıcaklık koşulları ile suların etkisine maruz kalan anortitlerin çoğu albite dönüşmüştür. Bu yüzden zonlu plajioklasların dış çeperleri çoğunlukla albit türündedir. Bu durum, birbiri içinde katı eriyik yapan iki madde arasındaki ilişki, diğer bir deyişle Na iyonunun, kristal yapısı içinde Ca iyonunun yerini alması (substitution) ile açıklanabilir. Değişik yüklere sahip iyonların birbirinin yerine geçtiği çok sık görülen bir durumdur. Bunun için en iyi örnek plajioklas türü feldspatların iki uç üyesi albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ve anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) arasındaki tam seri verilebilir. Bu seride yer alan yer değiştirmeyi daha açık görmek için plajioklasları (Na, Ca) (Si , Al) AlSi_2O_8 şeklinde yazmak yeterlidir (Krauskopf, 1989). Buradan da görüldüğü gibi aynı sistemde kristallenen (triklinal) albit ve anortitteki Ca ve Na kolayca birbirlerinin yerine geçerler (iyon çapları $0.99 \text{ \AA}$ ve $0.97 \text{ \AA}$), fakat her iki iyonun farklı yüklere sahip olmaları ile ortaya çıkan yük fazlası veya azlığı Si ile Al iyonlarının birbirinin yerine geçmesi ile giderilmektedir. Anortit kristalinin hacmi (a : $8.1756 \text{ \AA}$, b : $12.8720 \text{ \AA}$, c : $14.1827 \text{ \AA}$) albit kristaline (a : $8.138 \text{ \AA}$, b : $12.789 \text{ \AA}$, c : $7.156 \text{ \AA}$) oranla daha büyüktür. Bunun nedeni albit kristalinin c eksen boyutunun daha küçük olmasıdır.



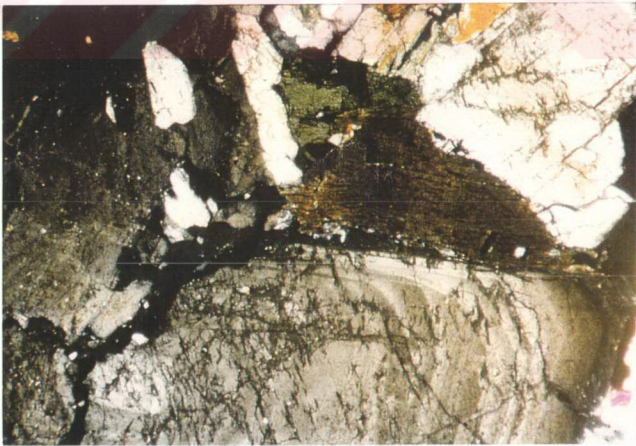
Fotoğraf 3.8: Taze granodiyoritteki ayrılmamış mineraller (kuvars, plajiolklas ve biotit) ile az miktardaki mikroçatlaklar (Büyütme: X25)



Fotoğraf 3.9: Orta derecede ayrılmış granodiyoritteki plajiolklas fenokristali ve basit mikroçatlaklar (Büyütme: X60)



Fotoğraf 3.10: Yüksek derecede ayrılmış granodiyoritteki zonal ayrılmaya uğramış plajyoklaslar ve transgranüler (taneleri kateden) mikroçatlaklar (Büyütme: X25)



Fotoğraf 3.11: Yüksek derecede ayrılmış granodiyoritteki yoğun mikroçatlaklar (Büyütme: X25)

Tablo 3.2: Farklı derecede ayrılmış granodiyorit petrografik karakteristikleri

Ayrışma derecesi	Petrografik özellikler
I	kayada herhangi bir renk değişimi söz konusu değil, mikroçatlaklar çok kısa, ince ve tane içi, plajioklaslarda çok az ayrışma (fotoğraf 3.8)
II	basit mikroçatlakların oluşumu, plajioklaslarda kısmi renk değişimi, tane sınırları keskindir
III	plajioklaslarda kısmi ayrışma ve boşlukların gelişimi, tane sınırları sıkı ancak FeO ler tarafından kahverengiye boyanmıştır, kaya fabriği yüksek derecede mikroçatlaklı, kompleks ve taneler arası kırıklar mevcut (fotoğraf 3.9)
IV	plajioklaslarda opak bölgelerin gelişimi ve bağlantılı boşlukların oluşumu, kompleks ve dendritik şekildeki yoğun mikroçatlaklar kayacın rengini kahverengiye boyamıştır (fotoğraf 3.10 ve 3.11)
V	minerallerde yoğun mikroçatlaklar, biyotitlerde kısmi ayrışma, hemen hemen bütün tane sınırlarında açılma, kaya fabriği (tanelerin dizinimi) dendritik şekilli mikro ve makroçatlaklar nedeniyle oldukça kırıklı, oldukça gözenekli, kayacın dokusu korunuyor
VI	incekesit alınamamıştır

Albitleşme nedeniyle granitlerde bir hacim değişimi meydana gelmiş ve bu minerallerin kuvarslar ve diğer mineraller ile kenetlenmesi bozulmuştur. Aynı zamanda kaya bünyesindeki boşlukların hacmi de artmıştır. Granodiyoritte gelişen düşük orandaki killeşme nedeniyle de hacim deformasyonları meydana gelmiş ancak bunların önemli düzeyde olmadığı saptanmıştır.

Granitlerin ayrışması petrografik indeksler yardımı ile sayısal olarak da ifade edilmiştir. Bu çalışmada incelenen örnekler için Lumb (1965) ile İrfan ve Dearman (1978)'in granitik kayalar için geliştirdiği petrografik indeks formüllerinden yararlanılmıştır.

1) Ayrışma indeksi (Lumb, 1965)

$$X_d = \frac{N_q - N_{q0}}{1 - N_{q0}}$$

X_d = Ayrışma indeksi

N_q = Zemindeki kuvarsın feldispata ağırlıkça oranı

N_{q0} = Kayadaki kuvarsın feldispata ağırlıkça oranı

2) Mikropetrografik indeks (İrfan ve Dearman, 1978)

$$I_p = \frac{\% \text{ sağlam bileşenler}}{\% \text{ sağlam olmayan bileşenler}}$$

I_p = Mikropetrografik indeks

Sağlam= Birincil mineraller

Sağlam olmayan= İkincil mineraller+boşluklar+kırıklar

Tablo 3.3 : İncekesitlerden belirlenen petrografik indeks değerleri

GRUP NO.	I_p	X_d
I	8.901	0.00
II	6.937	0.101
III	5.494	0.469
IV	5.329	0.157
V	5.211	0.208
VI	4.291	0.108

Tablo 3.4: Mikroskopik çalışmalardan elde edilen bozunmamış ve bozunmuş mineral oranları

GRUP NO.	BOZUNMAMIŞ MİNERAL (%)	BOZUNMUŞ MİNERAL + ÇATLAK + BOŞLUKLAR (%)	KUVARS ORANI (%)	FELDİSPAT ORANI (%)
I	89.90	10.10	26.20	73.80
II	87.40	12.60	29.80	70.20
III	84.60	15.40	23.10	76.90
IV	84.20	15.80	20.60	79.40
V	83.90	16.10	18.50	81.50
VI	81.10	18.90	29.70	69.20

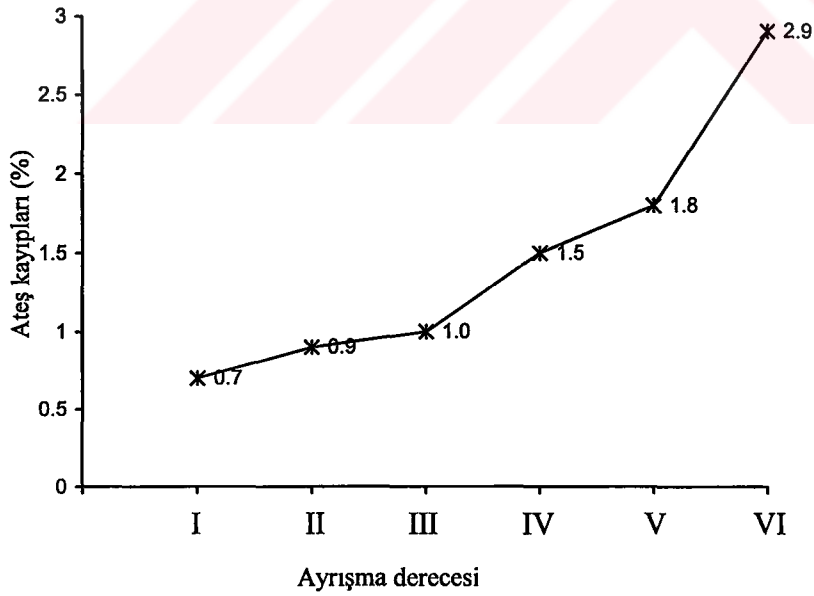
Yukarıdaki tablolardan görüldüğü gibi; mineralojik bileşim kaya direncini kontrol eden önemli parametrelerden biridir. Taze granodiyorit üzerinde yapılan X-ışını difraksiyon analizlerinden elde edilen verilere göre granodiyorit başlıca mineralleri; kuvars, plajiolklas, potasyum feldispat, sodyum feldispat, biyotit, hornblend ve eser miktardaki titan, apatit, zirkon, epidot ve serisitir. Ayrışmış granodiyorit mineralojik bileşimi ise taze kayacinkine benzerdir. Ancak bu kayaçların kuvars ve feldispat oranları XRD analizlerinde (Ek A.1-A.6) görüldüğü gibi değişim göstermektedir.

Ayrışmamış numuneler üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre, granodiyorit; % 66.9 SiO₂, % 16.27 Al₂O₃, % 3.20 Fe₂O₃, %1.84 MgO, % 4.33 CaO, % 4.74 Na₂O, % 1.37 K₂O, % 0.45 TiO₂ ve % 0.05 MnO içermektedir. Ayrışmış örnekler üzerinde de kimyasal analizler yapılmış ve tüm analizlerin sonuçları Tablo 3.5, Şekil 3. 6a ve 3.6b 'de sunulmuştur:

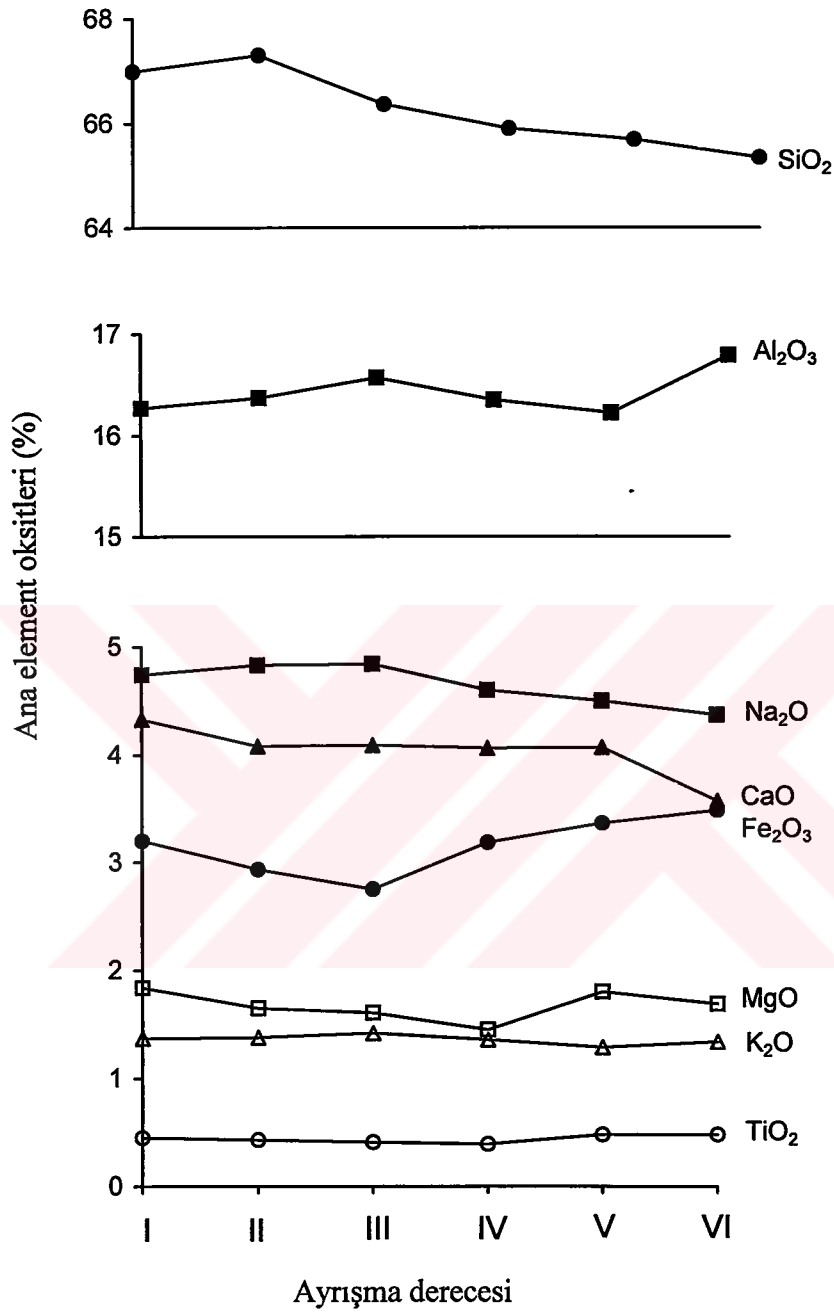
Tablo 3.5: Çeşitli ayrışma derecelerine göre yapılmış kimyasal analiz sonuçları

AYRIŞMA DERECESİ	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	MnO %	Cr ₂ O ₃ %
I	66.99	16.27	3.20	1.84	4.33	4.74	1.37	0.45	0.15	0.05	0.025
II	67.30	16.37	2.93	1.65	4.08	4.83	1.38	0.43	0.14	0.05	0.026
III	66.37	16.57	2.75	1.61	4.09	4.84	1.42	0.41	0.12	0.05	0.011
IV	65.90	16.35	3.18	1.45	4.06	4.60	1.36	0.39	0.15	0.05	0.064
V	65.69	16.22	3.36	1.80	4.07	4.50	1.29	0.48	0.16	0.06	0.034
VI	65.34	16.79	3.48	1.69	3.57	4.37	1.34	0.48	0.14	0.05	0.031

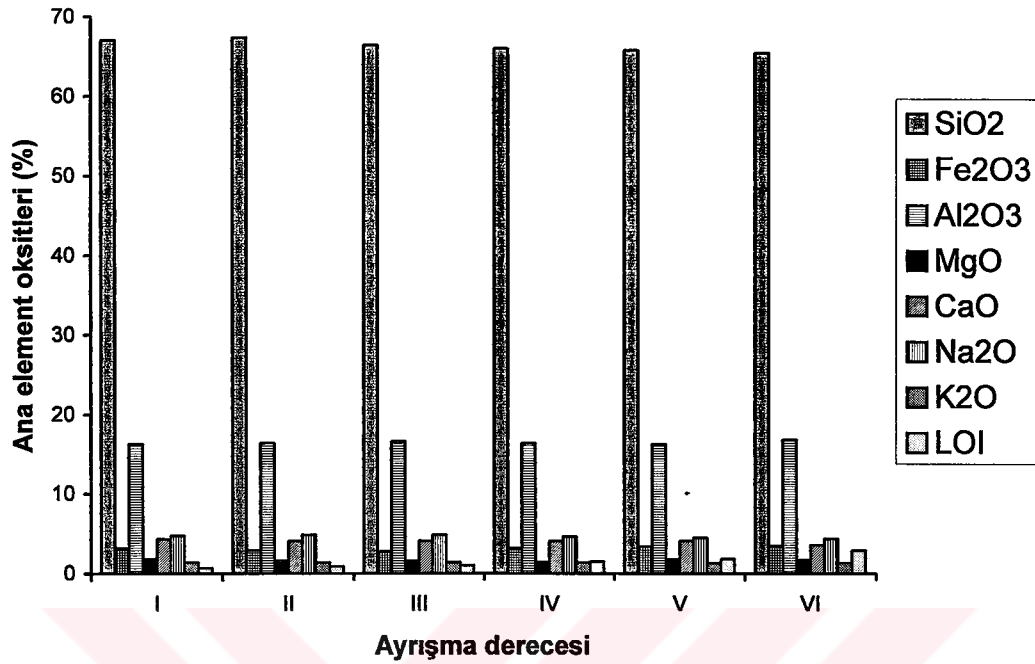
Kimyasal indekslerin yanında, ateş kayıpları yüzdesi de ayrışma derecesini belirlemede kullanılabilir. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi ayrışma derecesi ile ateş kayıpları arasındaki ilişkide görüldüğü gibi; ayrışma derecesi arttıkça ateş kayıplarında belirgin bir yükselme olmuştur.



Şekil 3. 5: Ayrışma derecesi ile ateş kayıpları arasındaki ilişki



Şekil 3.6a: Ayrışma derecesi ile ana element oksitleri arasındaki ilişki



Şekil 3.6b: Ayrışma derecesi ile ana element oksitlerini gösteren histogram

Tablo 3.5 ve Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ayrışma derecesi arttıkça, kayaçtaki SiO₂, Na₂O ve CaO miktarının az oranda azalmasına karşın Al₂O₃, Fe₂O₃ ve MgO miktarı az oranda artmıştır. Kayaçtaki kimyasal değişimleri sayısal olarak ifade etmek amacıyla farklı araştırmacıların geliştirdiği kimyasal indeks formüllerinden yararlanılmıştır. Aşağıda bu çalışmada kullanılmış olan kimyasal indeksler ve formülleri verilmiştir:

(1) Ayrışma potansiyeli indeksi, WPI, (Reiche, 1943)

$$WPI = \frac{[K_2O + Na_2O + CaO + MgO - H_2O] \times 100}{[SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + TiO_2 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O]}$$

(2) Ürün indeksi, PI, (Reiche, 1943)

$$PI = \frac{SiO_2 \times 100}{[SiO_2 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + Al_2O_3]}$$

(3) Ruxton oranı, RO, (Ruxton, 1968)

$$RO = \frac{SiO_2}{Al_2O_3}$$

(4) Parker indeksi, PI, (Parker, 1970)

$$PI = \left[\frac{2Na_2O}{0.35} + \frac{MgO}{0.90} + \frac{2K_2O}{0.25} + \frac{CaO}{0.70} \right]$$

(5) Vogt oranı, VO, (Vogt, 1927 ; Roaldset, 1972)

$$VO = \frac{Al_2O_3 + K_2O}{MgO + CaO + Na_2O}$$

(6) Değiştirilmiş ayrışma potansiyeli indeksi, MWPI, (Vogel, 1973)

$$MWPI = \frac{[Na_2O + K_2O + CaO + MgO] \times 100}{[Na_2O + K_2O + CaO + MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3]}$$

(7) Kimyasal alterasyon indeksi, CIA, (Nesbitt ve Young, 1982)

$$CIA = \frac{Al_2O_3 \times 100}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O}$$

(8) Kimyasal ayrışma indeksi, CIW, (Harnois, 1988)

$$CIW = \frac{Al_2O_3 \times 100}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O}$$

Farklı ayrışma derecesindeki granodiyorite ait kimyasal indeks değerleri ise Tablo 3.6'da verilmiştir:

Tablo 3.6: Farklı ayrışma derecelerine ait kimyasal indeks değerleri

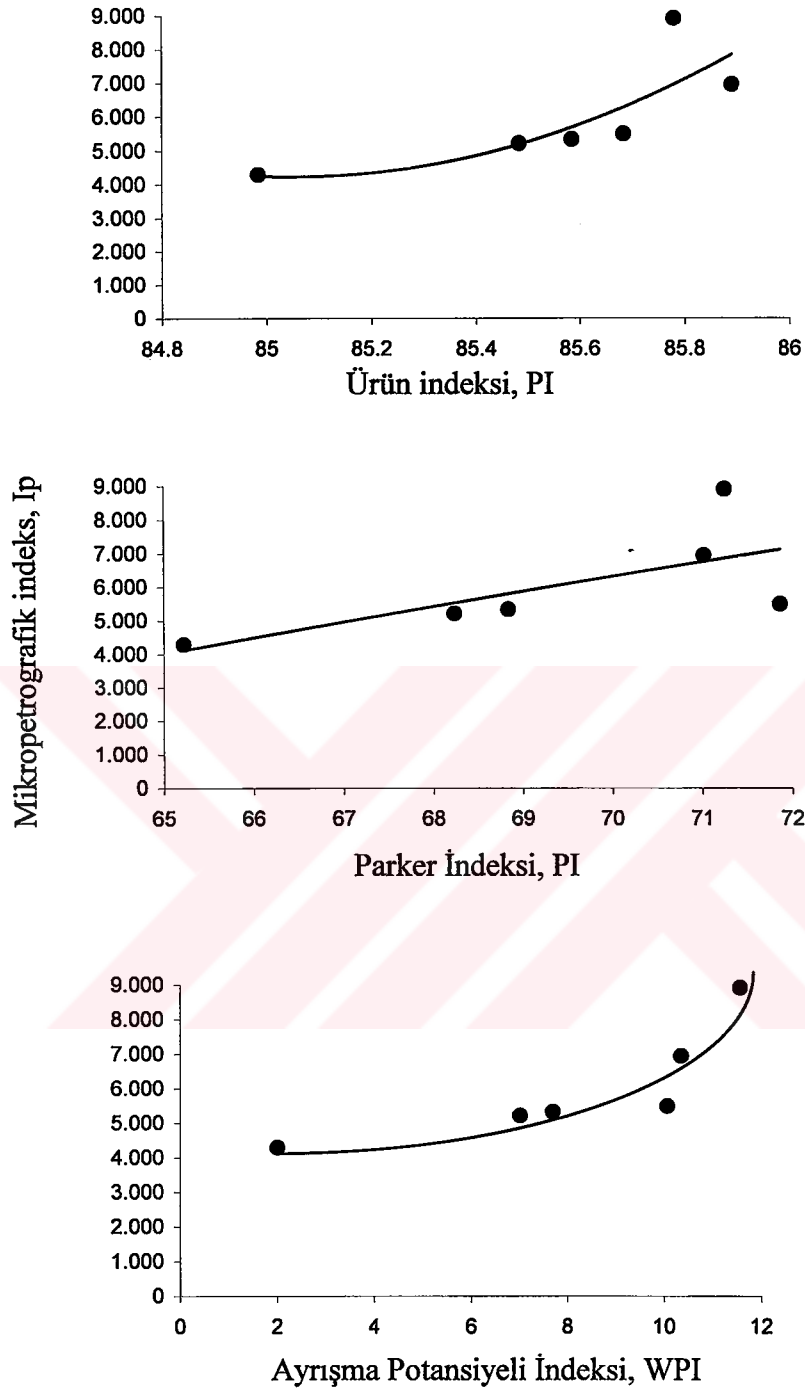
Ayrışma Derecesi	PI	WPI	MWPI	RO	VO	CIW	CIA	Parker İnd.
I	85.78	11.57	14.19	7.00	0.87	50.93	48.67	71.25
II	85.89	10.35	13.71	6.99	0.91	51.56	49.25	71.02
III	85.68	10.07	13.82	6.81	0.93	51.81	49.46	71.86
IV	85.58	7.70	13.38	6.85	0.96	52.22	49.86	68.83
V	85.48	7.02	13.81	6.89	0.91	52.26	49.97	68.23
VI	84.98	2.01	13.01	6.61	1.01	55.09	52.58	65.22

Yukarıdaki tablodan görüldüğü gibi kayacın ayrışma derecesi arttıkça Parker indeksi, ayrışma potansiyeli indeksi, değiştirilmiş ayrışma potansiyeli indeksi, Ruxton oranı ve Parker indeksinde azalmalara karşın, Vogt oranı, kimyasal ayrışma indeksi ile kimyasal alterasyon indeksinde artışlar meydana gelmektedir. Jayawardena ve Isawa (1994) metamorfik kayalar, İrfan (1996) granitler ve Tuğrul (1997) bazaltların kimyasal ayrışma miktarlarını belirlemek amacıyla kimyasal indeks formüllerini uygulamışlar ve sonuçta sürece bağlı olarak bu indeks değerlerinde önemli mertebede değişimlerin olduğunu saptamışlardır. Ancak bu değişim miktarları incelenen granodiyoritte oldukça düşüktür. Bunun nedeni bu kayalarda önemli oranda kimyasal ayrışmanın meydana gelmemesi, diğer bir deyişle kimyasal ayrışma için

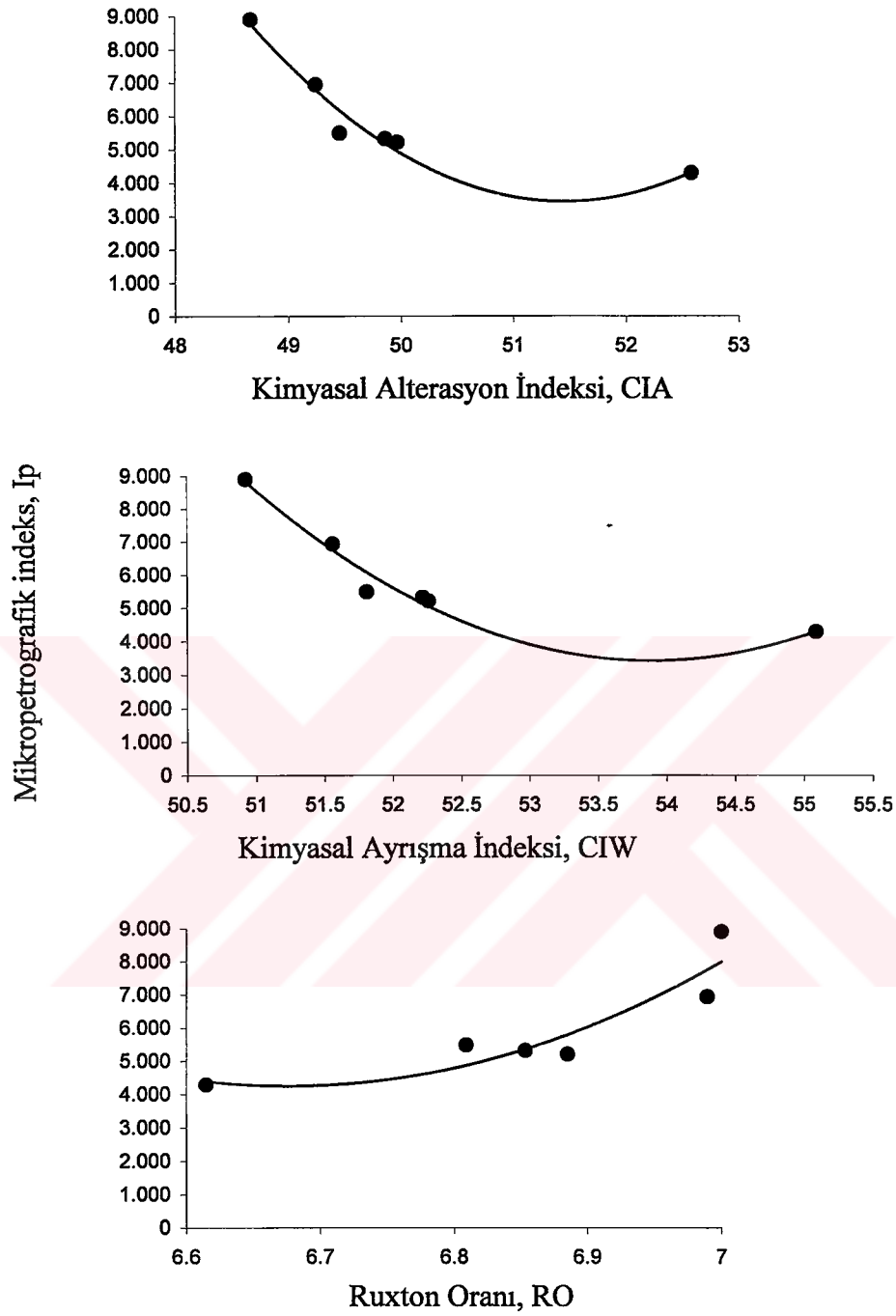
sürecin gelişmemiş olmasıdır. Nitekim bu durum petrografik indeks değerlerinin değişiminde de söz konusudur.

Petrografik ve kimyasal indekslerdeki değişim oranları incelendiğinde PI, WPI, MWPI, RO ve Parker indeksinde azalma gözlenirken, CIW, CIA ve VO değerlerinde belirgin bir artma olmuştur (Şekil 3.7a ve 3.7b). Buradan görüldüğü gibi ayrışma sonucu, granodiyoritin gerek mineralojik gerekse kimyasal bileşimlerinde önemli oranda bir değişimin meydana gelmemesi dikkat çekicidir. Oysa dünyanın birçok yerindeki granitlerin ayrışması sonucu önemli oranda killeşmenin meydana geldiği bilinmektedir (İrfan ve Dearman, 1978; Howat, 1985; İrfan ve Powell, 1985; Raj, 1985; Lee ve Freitas, 1989). Bu nedenle inceleme alanındaki granodiyorit kimyasal ayrışmadan çok fiziksel ayrışmaya uğradığı açıkça belli olmaktadır. Plummer ve McGearry (1988)' a göre de kaya kütlelerinde fiziksel ayrışma oluştuğunda kayaçta kimyasal ayrışmanın çok az veya hiç gözlenmediği saptanmıştır. Nitekim, inceleme alanındaki tektonizma etkileri, topoğrafik koşullar ve bununla ilgili olarak erozyon derecesi, yeraltı suyu şartları ve iklimsel koşullar bu düşünceyi desteklemektedir. Fiziksel ayrışma daha çok kaya kütlelerinde gevşeme sonucu gelişen parçalanma şeklinde gelişmiştir. Öte yandan Türkiye ve dünyanın birçok yerinde yüzeylenen granitik kayaçlarda küresel ayrışma gelişmesine karşılık Çavuşbaşı granodiyoritinde küresel ayrışmaya rastlanılmamıştır. Bunun birinci nedeni, yeraltı suyunun yüzeye çok yakın olması ve yörenin tektonik evrimi ile ilgilidir. Ayrıca oksidasyon zonunun kalın olması, mineral danelerinin (özellikle silisin) yüzeyinin oksidasyon zonunda gelişen demirle sıvanması, mineral danelerinin birbiri ile olan bağlantısının bozulmasına neden olmaktadır.

Bölgedeki tektonik aktivite de granodiyoritteki ayrışma sürecinin hızlanmasına neden olmuştur. Granodiyoritteki gerek birincil çatlaklar (soğuma çatlakları), gerekse ikincil çatlaklar (tektonik aktivite ile gelişenler) suyun kolayca dolaşımına olanak sağlamıştır. Çatlaklarda dolaşan su kayacı kimyasal olarak ayrıştırmasının yanı sıra, suyun donma ve çözünmesi ile de kaya bünyesinde makrokırıkların yanısıra mikrokırıkların artmasına da neden olmuştur. Ayrıca yüzeydeki ıslanma - kuruma



Şekil 3.7a : Petrografik indeks ile kimyasal ayrışma indeksleri arasındaki ilişkiler



Şekil 3.7b : Petrografik indeks ile kimyasal ayrışma indeksleri arasındaki ilişkiler

olayları da makro ve mikrokırıkların dolayısıyla porozitenin artmasına neden olmuştur.

İnceleme alanında öncelikle topoğrafyanın sert olması ile ilgili yoğun erozyon sonucu örtü yükünde azalmalar meydana gelmiş bunun sonucunda da altta açığa çıkan kaya kütlelerinde gevşemeler oluşmuştur. Bu sürecin hızlı gelişmesi nedeniyle yüzeydeki granodiyorit in kimyasal ayrışması için yeterince zaman geçmemiştir. Ayrıca, yüzeydeki bitkisel toprakta gelişen hümik asit de mineral kenetlenmesinin bozulmasını hızlandırmıştır.



BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kayacın ayrışma derecesi arttıkça fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimler gözlenir. Bu değişim miktarının saptanması, kaya-zemin ayırımında önemli kriterler oluşturmaktadır. Bu amaçla, laboratuvarda her ayrışma derecesinden alınan örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılarak, elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

4.1. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Çavuşbaşı granodiyoritlerinin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla TS 699/1987'ye göre birim hacim ağırlık deneyleri, ISRM 1981'e göre görünür porozite deneyleri ve ASTM D 4644-87'e göre suya dayanıklılık deneyleri yapılmıştır.



Fotoğraf 4.1: Granodiyorit farklı ayrışma derecelerindeki örnekleri

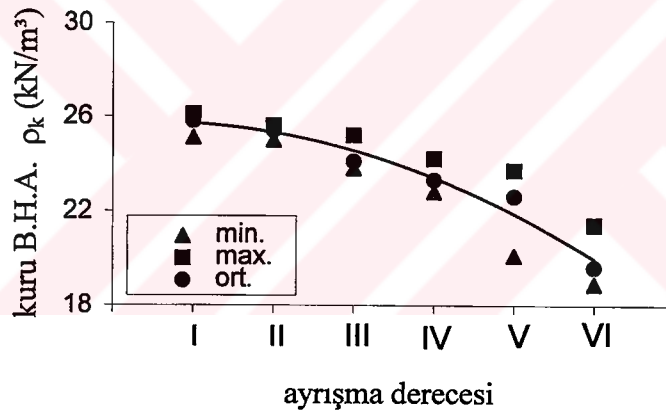
Tablo 4.1: Farklı ayrışma derecesindeki granodiyoritin fiziksel özellikleri

Ayrışma Derecesi	Kuru B.H.A. ρ_k (kN/m^3)			Doygun B.H.A. ρ_d (kN/m^3)			Su emme w_a (%)			Görünür porozite n_a (%)			Toplam porozite n_t (%)			Özgül ağırlık G_s
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	
I	25.10	26.10	25.80	25.80	26.20	26.10	1.12	1.36	1.35	2.78	3.56	3.48	5.36	5.78	5.57	2.72
II	25.00	25.60	25.40	25.40	25.90	25.80	1.33	1.74	1.41	3.32	4.45	3.57	5.60	7.36	6.48	2.71
III	23.80	25.20	24.10	23.90	25.40	24.80	1.53	2.22	1.93	3.65	5.59	4.65	6.20	11.56	8.88	2.71
IV	22.80	24.20	23.30	23.80	24.80	24.50	2.21	2.62	2.33	5.03	6.34	5.42	6.30	14.68	10.49	2.71
V	20.10	23.70	22.60	22.90	24.10	23.70	3.28	4.92	4.02	6.60	11.66	9.08	12.14	16.57	14.36	2.70
VI	18.90	21.40	19.60	21.10	23.20	21.60	6.93	8.89	7.91	13.09	19.02	15.50	15.75	27.04	21.40	2.69

4.1.1. Birim hacim ağırlık deneyleri

Her bir ayrışma derecesinden alınan granodiyorit örneklerinin kuru ve doymuş birim hacim ağırlıklarını belirlemek amacıyla bir seri deneyler yapılarak minimum, maksimum ve ortalama değerleri belirlenmiştir.

Ayrışma derecesi ile kuru birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişkinin saptanması amacıyla minimum, maksimum ve ortalama değerler bir grafik üzerinde (Şekil 4.1) gösterilmiştir. Burada elde edilen sonuç; ayrışma derecesi arttıkça kuru birim hacim ağırlık değerlerinin düşüş gösterdiğiidir. Ancak belirgin ve kesin düşüşün zemine dönüştüğü V. ve VI. ayrışma guruplarında olması nedeniyle ρ_k nın ayrışma göstergesi olamayacağı söylenmelidir.

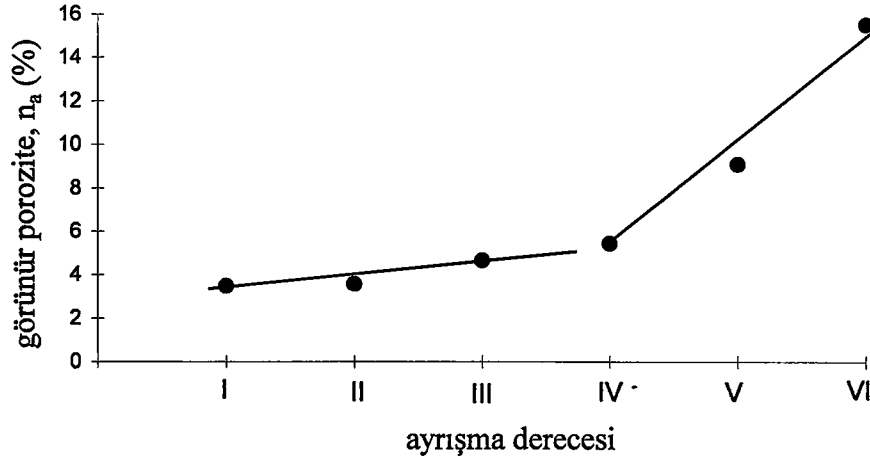


Şekil 4.1: Ayrışma derecesi ile kuru birim hacim ağırlık arasındaki ilişki

4.1.2. Görünür porozite deneyleri

Taze ve ayrılmış granodiyorit örneklerinin görünür (apparent) poroziteleri su emme metodu ile de belirlenmiştir. Su emme metodu, ISRM 1981'e göre örneklerin kaynamış su dolu vakum desikatöründe havası alınıp doyurulduktan sonra ağırlıkça su emme miktarının belirlenmesidir.

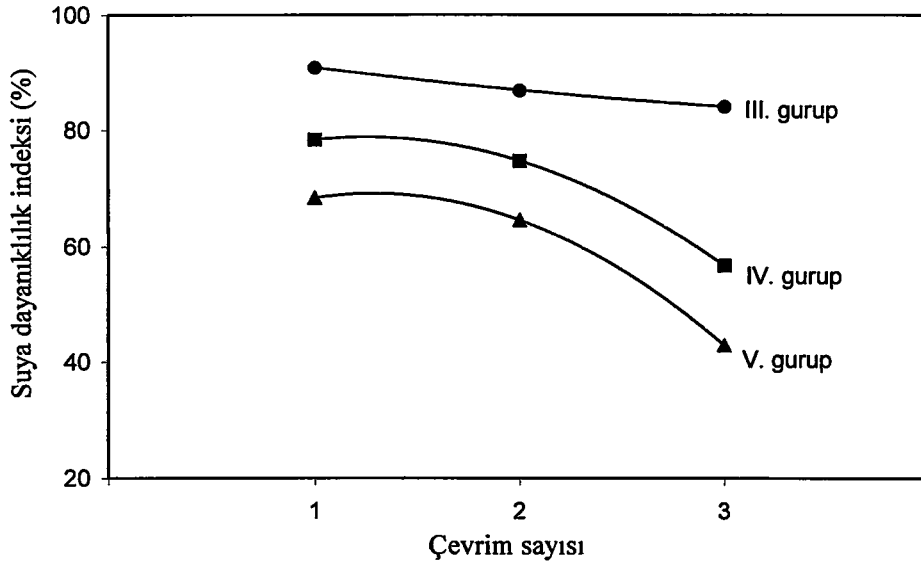
Şekil 4.2 de görünür porozite ile ayrışma derecesi arasındaki bağıntı verilmiştir.



Şekil 4.2: Görünür porozite ile ayrışma derecesi arasındaki ilişki

4.1.3. Suya dayanıklılık deneyi

Suya dayanıklılık deneyi (slake durability index) matrisinde kil minerali bulunan kayalar için geliştirilmiştir (Gamble, 1971; Franklin ve Chandra 1972). Çavuşbaşı granodiyoritine uygulandığında kil minerali içermemesine karşın sonuçların anlamlı farklar gösterdiği bulunmuştur. I ve II ayrışma derecesindeki numuneler hiç dağılma göstermezken üç ıslatma çevrimi sonunda III. grup %84.1, IV. %56.7 ve V. grup %42.9 gibi I_d değerleri vermişlerdir. VI. grup numune ise tamamen dağılmıştır. Şekil 4.3’de suya dayanıklılığın çevrim sayısı ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Suya dayanıklılık indeksinin çevrim sayısına göre değişimi

4.1.4. Porozimetre ölçümleri

Zeminlerde ve kayalarda boşlukların çapı ve dağılımının, mekanik özellikleri dane dağılımından daha etkin olarak yansıttığı belirtilmiştir (Tuğrul 1997). Çalışmanın bu bölümünde bir kayanın değişik ayrışma evrelerinin boşluk geometrisine nasıl yansıdığı araştırılmıştır. Boşluk ölçümleri, bu amaç için en güvenilir yöntem olan cıva porozimetresinde yapılmıştır. Gerek bu deneyden elde edilen sonuçların karşılaştırılması gerekse örneklerdeki boşlukların geometrisi ile birlikte boyutlarını (boşluk çapı dağılımı) belirlemek amacıyla bu deneyde ASTM D 4404-84 (92)' ye uyulmuştur.

Cıva porozimetresinde (mercury intrusion porosimetry: MIP), ıslatma sıvısının numunenin boşluklarına zorlanarak doldurulması yöntemi kullanılmakta ve tüm boşlukların sabit çaplı silindirler olduğu varsayılmaktadır (Smith, 1981). Yarıçapı r_c olan bir boruya cıva gibi ıslatmayan bir sıvıyı sokmak için gerekli basınç,

Tablo 4.2: Her bir ayrışma derecesinden alınan örnekler üzerinde yapılmış porozite deney sonuçları

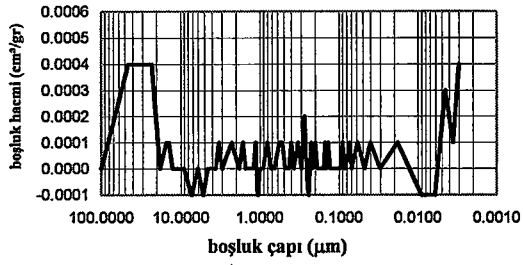
Ayrışma Derecesi	Toplam cıva sokulumu ml/g	Toplam boşluk alanı m ²	Orta boşluk çapı (V) µm	Orta boşluk çapı (A) µm	Ortalama boşluk çapı (4V/A) µm
I	0.003	0.769	0.3181	0.0035	0.0166
II	0.013	1.405	3.3064	0.0036	0.0365
III	0.014	1.278	3.2061	0.0050	0.0452
IV	0.030	3.022	3.1080	0.0037	0.0390
V	0.041	3.090	5.9015	0.0036	0.0535
VI	0.085	6.492	3.9076	0.0044	0.0526

$$p_c = \frac{2\sigma}{r_c} \cos \theta$$

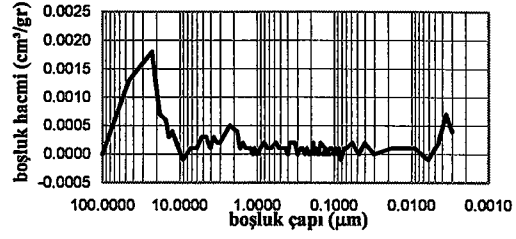
olduğuna göre cıvayı farklı basınçlarda giderek küçülen boşluklara sokmak mümkün olmaktadır. Burada cıvanın kuvarsa yüzey gerilimi $\sigma = 484 \text{ N/m}^2$, ıslatma açısı ise $\theta = 130^\circ$ alınarak boşluk çapları ve bunların dağılımı hesaplanmaktadır. Öte yandan, yöntemin karşılaştığı sorun büyükçe boşlukların diğerlerine çok daha küçük borularla bağlı olması nedeniyle cıvanın önce bu küçük borulardan geçmesi gerekeceğinden ölçümde hatalar belirebilmektedir (mürekkep hokkası benzeşimi). SEM elektron mikroskobunda yapılan incelemeler boşlukların aynı zamanda çok pürüzlü yüzeylere sahip olduğunu da gösterdiğinden MIP ölçümleri boşluk çaplarını eşdeğer silindir olarak vermekte ve bazı hataların olabileceği baştan kabul edilmektedir.

4.1.4.1. Ayrışmanın MIP sonuçlarında yansımaları

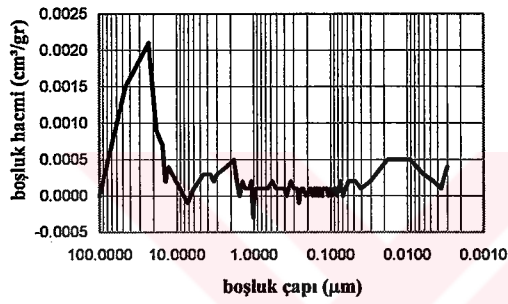
Bu deney programında Autopore II tipi porozimetreden yararlanılmıştır. Deneylerde yaklaşık 30 g. ağırlıkta numune $1.8-59700 \text{ lb/in}^2$ arasında değişen basınçta cıva ile doldurulmuş ve eşdeğer çapı 50-0.0015 mm. olan boşluklar ölçülmüştür. Şekil 4.4 ve Tablo 4.3’de deney sonuçları özetlenmektedir.



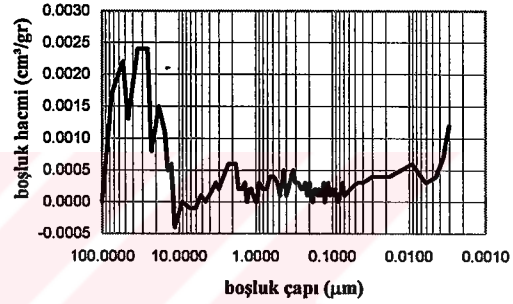
I. Gurup: Taze kaya



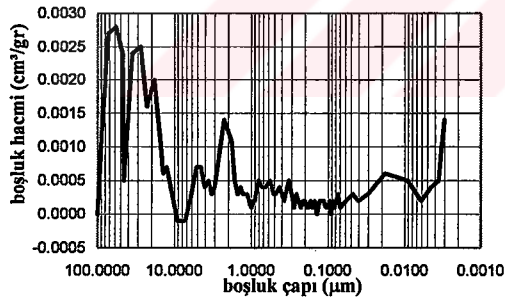
II. Gurup: Az ayrılmış



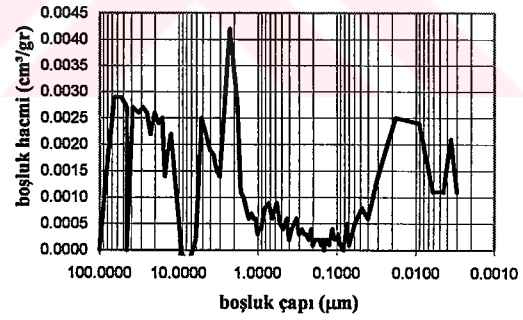
III. Gurup: Orta derecede ayrılmış



IV. Gurup: Yüksek derecede ayrılmış



V. Gurup: Tamamen ayrılmış

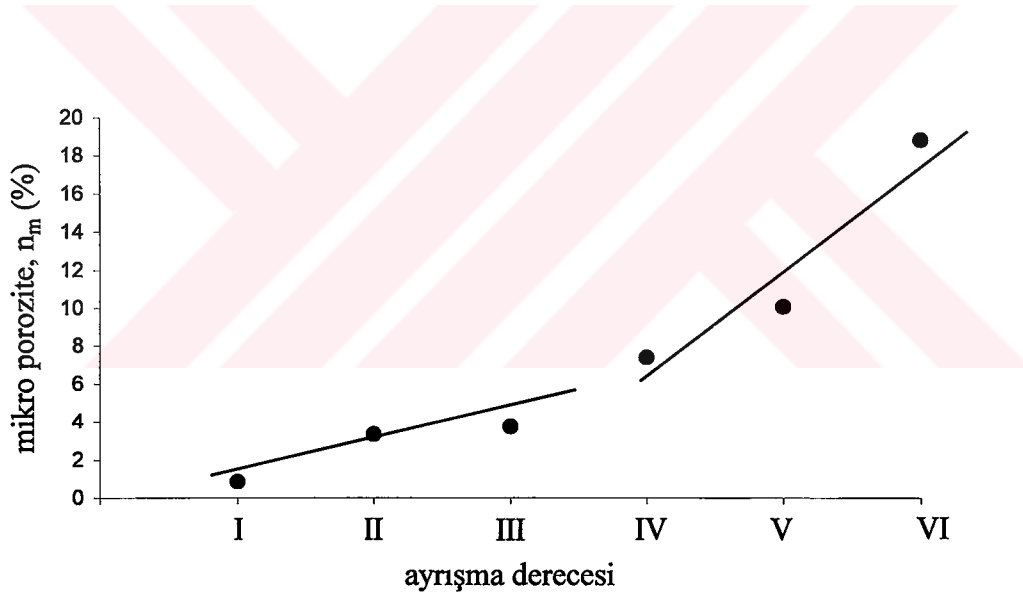


VI. Gurup: Kalıntı zemin

Şekil 4.4: Tüm ayrışma derecelerinden alınmış örneklerin boşluk çapı - boşluk hacmi eğrileri

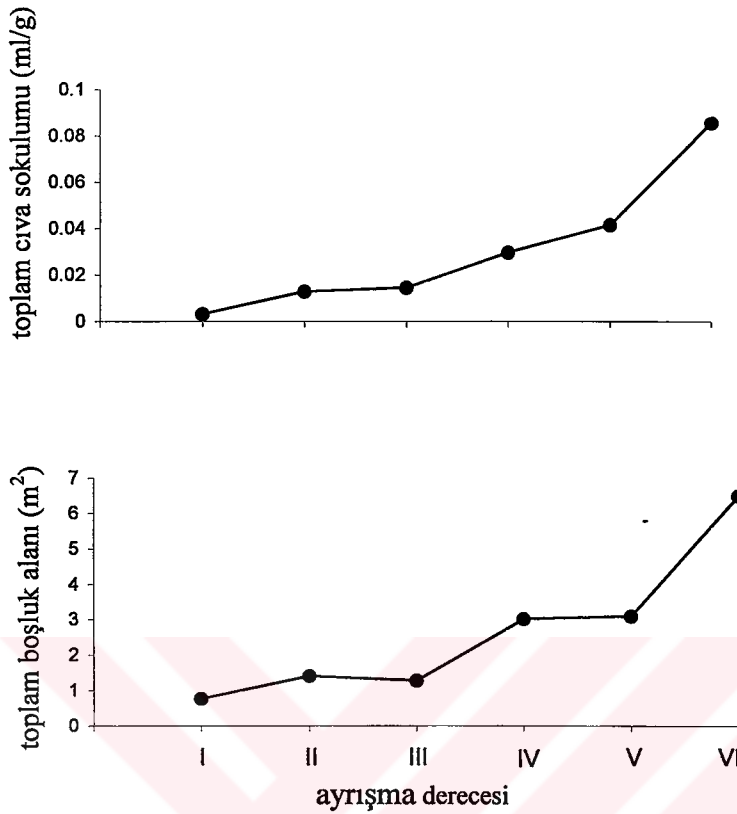
Tablo 4.3: Farklı ayrışma evrelerindeki numunelerde boşluk geometrisi (MIP):

Ayrışma Sınıfı	Görünür porozite n_a (%)	Mikro porozite n_m (%)	Toplam cıva girişi V_{hg} (ml)	toplam boşluk alanı (m^2)	Boşluk çapı indeksi C_p
I	3.48	0.86	0.0105	2.522	0.0010
II	3.57	3.35	0.0411	4.517	0.0050
III	4.65	3.75	0.0311	2.759	0.0057
IV	5.42	7.40	0.0657	6.730	0.0141
V	9.08	10.07	0.1025	7.672	0.0203
VI	15.50	18.80	0.1827	13.873	0.0356

**Şekil 4.5:** Mikro porozite ile ayrışma derecesi arasındaki ilişki

Tablodan bazı önemli bilgiler çıkmaktadır. Cıva porozimetresi ile bulunan sonuçlar Şekil 4.6 de karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, ayrışma derecesi arttıkça toplam boşluk alanı ve toplam cıva girişi değerleri yükselmektedir.

Cıva girişi III. ayrışma gurubundan sonra aniden yükselmekte ve iki katına çıkmaktadır (Şekil 4.7a). Bu fark toplam boşluk alanı türünden daha da belirgindir.



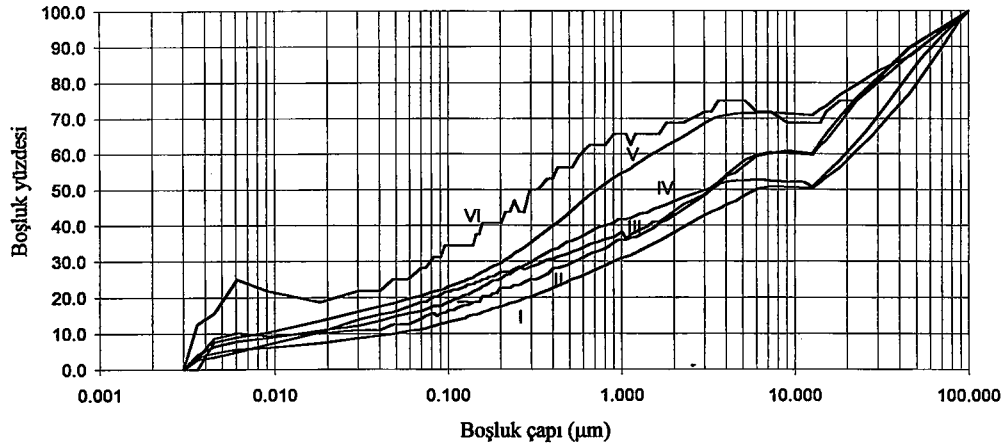
Şekil 4.6: Cıva porozimetresi deney sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.7b'de porozimetre bağıntısı olarak verilen

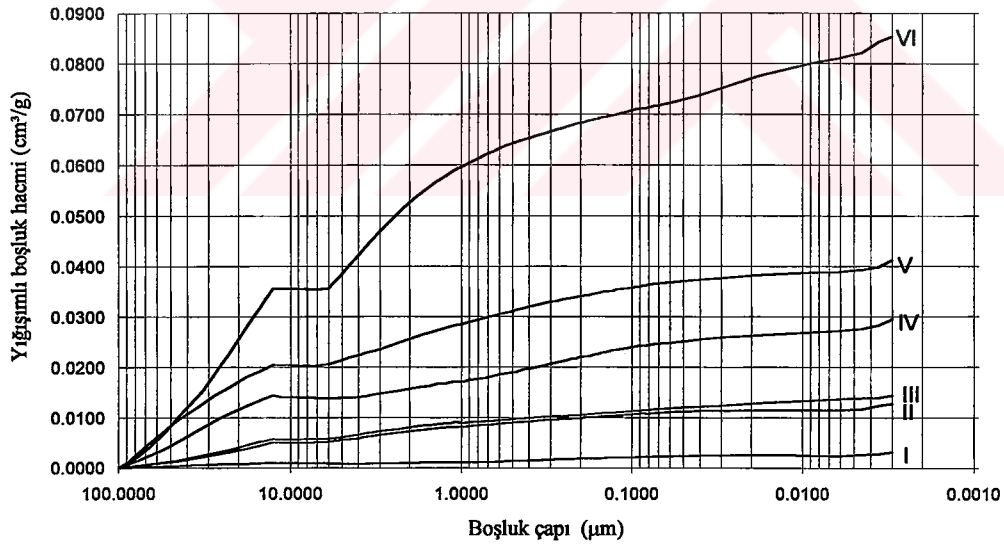
$$\% n_m = \frac{V_{Hg}}{\frac{1}{\rho_s} + V_{Hg}} \times 100$$

bağıntısı kullanılarak; boşluk çapı dağılımı, toplam hacim ve % daha küçük boşluklar olarak yığışımli gösterilmektedir. Şekil 4.7.a'da görülen, uygulanan cıva basınçları aralığında zemin niteliği kazanmış V. ve VI. grup numune dışındakilerin birbirine benzer eğriler vermiştir. Ancak Şekil 4.7.b'de cıva sokulumu eğrileri 100 ve 10 µm boşluk çapları arasında belirgin farklılık göstermektedir. Boşluk çapı dağılım indeksi C_p bu aralıkta ve bir döngü için eğrinin eğimi olarak tarif edildiğinde ayırışma

$$C_p = \frac{\Delta V}{\Delta \log D}$$



Şekil 4.7a : Boşluk çapı dağılımının yüzde küçük olarak gösterimi



Şekil 4.7b : Boşluk çapı dağılımının yığılımlı gösterimi

grupları arasındaki fark daha da belirginleşmekte ve Tablo 4.3'den de izleneceği gibi I, II, III. gruplar diğerlerinden belirgin biçimde ayrılmaktadırlar. Aynı şekilde porozimetre formülünden hesaplanan mikro porozite n_m ayrışma derecesine karşı noktalandığında (Şekil 4.5) doğrusal olarak çizilen bağıntının IV. grupta eğim

değiştirdiğini göstermektedir. Ancak aynı bağıntı görünür porozite için arandığında değişim Şekil 4.7b'de görüldüğü gibi IV.grupta gözlenmektedir. Bu, görünür porozitenin ayrışmanın gerçek göstergesi olmadığı, en azından sonuçların n_a ya duyarlı olmadığını göstermektedir.

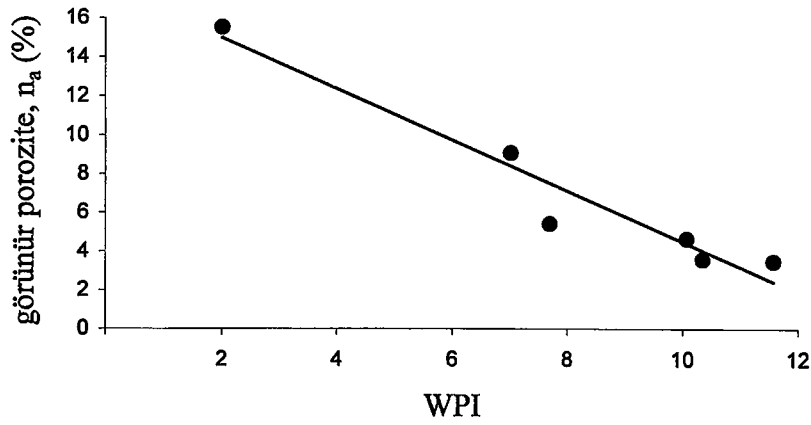
Şekil 4.7a ve 4.7b'de boşluk çapı dağılımı yığışımlı ve yüzde küçük olarak iki şekilde noktalanmıştır. Şekil 4.7b'den deneyde uygulanan basınç aralıklarında en az ayrıışmış (I) numunenin verdiği boşluk çapı dağılımının diğerlerinden çok farklı olduğu görünmektedir. Bu eğriler belirli boşluk çapı aralıkları için çizildiğinden % 0 - 100 arası bir dağılım göreceli olarak alınsa dahi, I. Gurup dışındaki numunelerin kaya niteliğinde olmadıkları gibi bir sonuç görülmektedir.

Yığışımlı eğride göze çarpan fark kesinlikle aynı değildir. Ancak az ayrıışmış olan I, II ve III. ayrışma sınıflarının düşük basınçlarda aldığı cıva hacmi birbirine yakın ve çok düşük iken, ayrışmanın gözle de görülebildiği IV, V ve VI. guruplarda 100 ve 10 mikron aralığında belirgin biçimde yüksek cıva girişi ölçülmüştür. Bu hacim veya eğrinin eğimi, ayrışma sonucu ortamda beliren mikro çatlakların ölçütü olarak alınırsa ilk üç gurup diğerlerinden açık biçimde ayrılmaktadır.

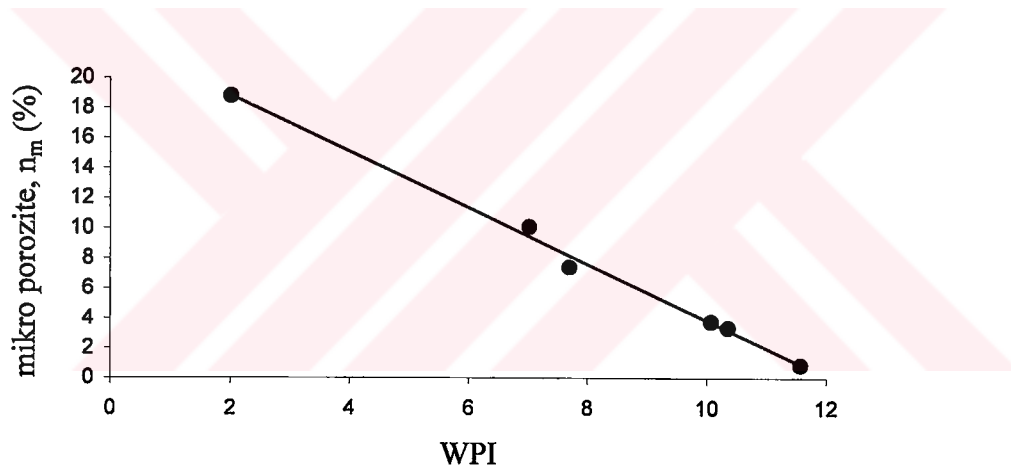
Buradaki bulgular özetlenecek olursa MIP yönteminin granodiyorit ayrışmasının duyarlı biçimde ölçebilir bir deney olduğu ve Çavuşbaşı granodiyoritinde kayadan zemine dönüşümün III. ayrışma gurubunda belirlediğini göstermektedir. Bu da ayrışmayı en duyarlı olarak yansıtan WPI indeksi türünden 10 değerine karşılık gelmektedir.

Buradan çıkan sonuç, bu kayada zemine geçiş evresinin III. ve IV. guruplarda gerçekleşmesi gerekeceği yönünde olmaktadır.

Şekil 4.8a ve Şekil 4.8b'de görünür ve mikro porozite değerleri ile WPI arasındaki ilişki karşılaştırılmıştır. Buradan mikro porozite değerinin görünür poroziteye göre daha anlamlı sonuç vererek korelasyon katsayısının 0.995 gibi yüksek değer verdiği ortaya konulmuştur.

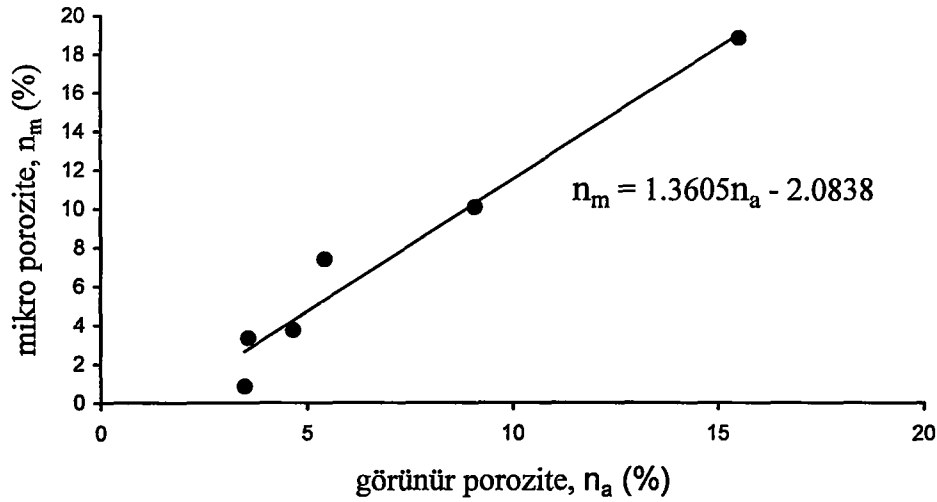


Şekil 4.8a: Görünür porozite ile WPI arasındaki ilişki



Şekil 4.8b: Mikro porozite ile WPI arasındaki ilişki

Her iki deney sistemi karşılaştırıldığında, su emme metodunda örnekteki boşlukların içindeki hava alınarak yerine su doldurulmuştur. Cıva porozimetresi deney sisteminde ise boşluklara basınçlı cıva gönderilerek, küçük basınçla büyük boşluklar, büyük basınçla küçük boşluklar cıva ile doldurulmuştur. Elde edilen görünür ve mikro porozite değerleri Şekil 4.9'da karşılaştırılmıştır. Doyurma yöntemi ile ölçülen görünür porozite ile porozimetrede ölçülen mikro porozite arasında genelde doğrusal bir bağıntı bulunmaktadır. Ancak bu bağıntı, ayrılmamış numunelerde tam geçerlilik taşımamaktadır. Buna rağmen bulunan 0.98'lik korelasyon katsayısı anlamlıdır.



Şekil 4.9: Farklı iki yöntemle yapılmış porozite deney sonuçlarının karşılaştırılması

4.2. Kaya ve Zeminde Mekanik Özellikler

Kaya-zemin ayırımında önemli kriterleri oluşturan mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla, altı farklı ayrışma derecesine ayrılmış örnekler üzerinde tek eksenli basma, nokta yükleme ve üç eksenli hücre kesme deneyleri yapılmıştır. Kayada üç eksenli dayanım (ASTM D 2664-86), serbest basma dayanımı (ASTM D 2938-86), nokta yükleme dayanımı (ASTM D 5731-95), zeminde ise; konsolidasyonlu - drenajsız deneyler CIU (ASTM 4767-88), tek eksenli basma basma deneyleri (UCS, ASTM D 4405)'e göre yapılmıştır.

4.2.1. Kaya - zemin ayırımında tek eksenli basma dayanımı

Tek eksenli basma dayanımı ya da diğer bir adıyla serbest basma dayanımı, örneğe tek eksenle basınç uygulanarak numunenin alabileceği maksimum kesme gerilmesinin bulunmasıdır. Yüksekliği çapının iki katı olarak hazırlanan silindirik örnekler üst ve alt yüzeylerin pürüzsüz olması amaçlanarak her iki yüzeye kükürt başlıklar yapılmıştır. Fotoğraf 4.2 de farklı ayrışma guruplarına ait örnekler karşılaştırılmıştır.

Johnston ve Novello (1993) tek eksenli basma dayanımına göre yaptıkları sınıflandırmada; dayanımı 0.75 MPa'dan küçük olanları zemin, 0.75-30 MPa arasında olanları yumuşak kaya (soft rock) ve 30 MPa'dan yüksek olanları da kaya olarak ayırtlamışlardır. Çavuşbaşı granodiyoritinde ise sonuçlar benzerlikler göstermektedir. Tablo 4.4 ten görüldüğü gibi geçiş IV. gruptan V. guruba inildiğinde belirmektedir.

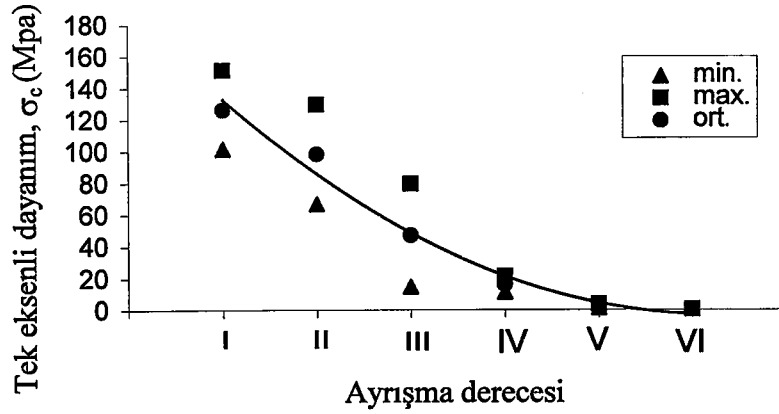
Tablo 4.4: Her bir ayrışma derecesinden alınmış örnekler üzerinde ölçülen tek eksenli basma dayanımları

Ayrışma derecesi	ρ_k (kN/m ³)	Tek eksenli basma dayanımı σ_c (MPa)		
		Min.	Max.	Ort.
I	25.80	101.20	151.30	126.25
II	25.40	66.60	129.50	98.05
III	24.10	14.60	79.40	47.00
IV	23.30	11.10	21.30	16.20
V	22.60	1.20	3.50	2.35
VI	19.60	0.20	0.40	0.30

Ayrışma derecesi arttıkça tek eksenli basma dayanımının düştüğü bilinmektedir. Buna göre Şekil 4.10'da görüldüğü gibi yapılan deney sonuçlarından elde edilen veriler noktalandığında aynı kanıya varılmaktadır.

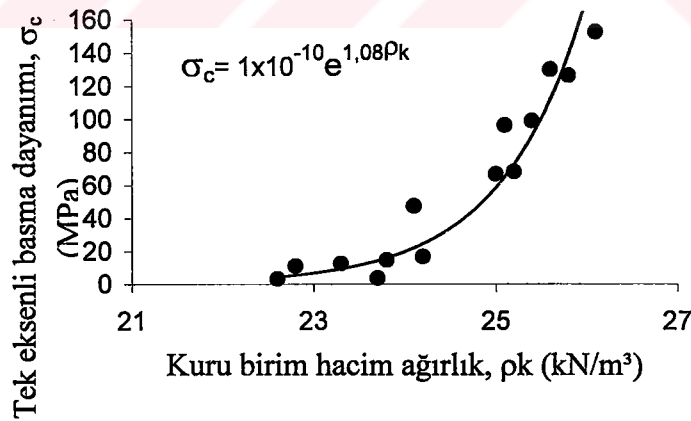


Fotoğraf 4.2: Tek eksenli basma deney/leri için hazırlanmış örnekler (soldan sağa doğru ayrışma derecesi artmaktadır)



Şekil 4.10: Ayrışma derecesi ile tek eksenli basma dayanım arasındaki ilişki

Tek eksenli basma dayanımı ile kuru ve doymun birim hacim ağırlıklar karşılaştırıldığında, kuru ve doymun birim hacim ağırlığın arttıkça tek eksenli dayanımın da arttığı saptanmıştır. Bu sonuçlar kayada tek eksenli basma dayanımının kuru ya da doymun birim hacim ağırlığa bağlı olduğunu ancak geçiş malzemesinde aynı kuralın geçerli olmadığını göstermektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Tek eksenli basma dayanımı ile kuru birim hacim ağırlık arasındaki ilişki

4.2.2 Nokta yük dayanımı

Farklı derecelerde ayrılmış örnekler üzerinde yapılan bir seri deneyler ve sonuçları Tablo 4.5’de sunulmuştur. VI. grup kalıntı zemin örneklerinin tamamen zemine dönüşmesinden dolayı bu grup için nokta yükleme deneyi yapılamamıştır.

Tablo 4.5: Nokta yükleme deney sonuçları

Ayrışma derecesi	Nokta yükleme dayanımı		
	I_s (MPa)		
	Min.	Max.	Ort.
I	4.00	6.30	5.45
II	3.45	5.62	5.15
III	0.50	3.60	2.10
IV	0.40	0.60	0.60
V	0.10	0.50	0.20
VI	-	-	-

4.2.3. Kaya - zemin ayırımında üç eksenli dayanım deneyleri

Taze kaya, az, orta ve yüksek derecede ayrılmış örnekler (grup I, II, III, IV) Hoek hücresinde, tamamen ayrılmış ve kalıntı zemin örnekleri (grup V, VI) ise üç eksenli zemin hücresinde deneye tabi tutulmuştur.

Ayrışma evresinin kayma direnci özelliklerine yansması geleneksel olarak tek eksenli basma dayanımının ölçümü ile incelenegelmiştir. Örnekler kaya özellikleri taşıdığı sürece bu yaklaşım, deneyin kolaylığı nedeniyle kabul edilebilir. Ancak numune, kaya niteliğini yitirmeye başladığında daneler arasında kohezyon (tutunma)

minumuma indiğinden kayma direncinin gerçekten çok düşük düzeyde çıkması nedeniyle tek eksenli basma ile ölçüm gerçekçi olmamaktadır. Bunun nedeni çatlaklı makro-ölçeğe büyümüş örneklerin çevre basıncı yokluğunda çok hızla genel kırılmaya yönelmesidir. Bu nedenle de özellikle geçiş bölgesindeki numunelerin basma dayanımının üç eksenli koşullarda ölçümü yeğlenmiştir. Ayrıca, üç eksenli kesme deneyinde boşluk suyu basınçlarının ölçülebilmesi ek bilgiler sağlaması açısından yararlı olmaktadır.

Deney programının bu bölümünde, numuneler vakum desikatöründe doyurulduktan sonra üç eksenli hücre kesme deneyine tabi tutulmuştur. Tablo 4.6, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 bu deney sonuçlarını özetlemektedir.

4.2.3.1. Örneklerin deneye hazırlanması

Bu amaçla, boyutları ölçülmüş ve ağırlıkları alınmış numunelerin üst ve alt yüzleri düzlendikten sonra bunlar kaynamış su ile dolu vakum desikatörüne konularak doymuş hale getirilmişlerdir. Buradan örneklerin görünür ya da makro porozite değeri n_a bulunmuştur. Sonra, numunenin çevresine 0.3 mm. kalınlıkta bakır sarılarak üzerine kalın lastikten kılıf geçirilmiştir. Bundan amaçlanan kılıf penetrasyonu etkisiyle boşluk basınçlarında aldatıcı yükselmeleri önlemektir.

4.2.3.2. Deney sistemi (düzeni)

Numune yüksek hava girişi basınçlı taşın üzerine konularak hücreye yerleştirildikten sonra alttan yukarı su hareketi sağlanarak sistemde kalan hava üst drenaj borusundan boşaltılmıştır. Sonra hücre basıncı uygulanarak numunenin konsolide olması veya içerideki suyun dışarı atılması için süre tanınmış ve drenaj muslukları kapatılarak numune alttan basınç transdüşerine bağlanmıştır. Deney sırasında tüm okumalar ADU (Autonomous Digital Converter) yardımıyla alınmıştır.

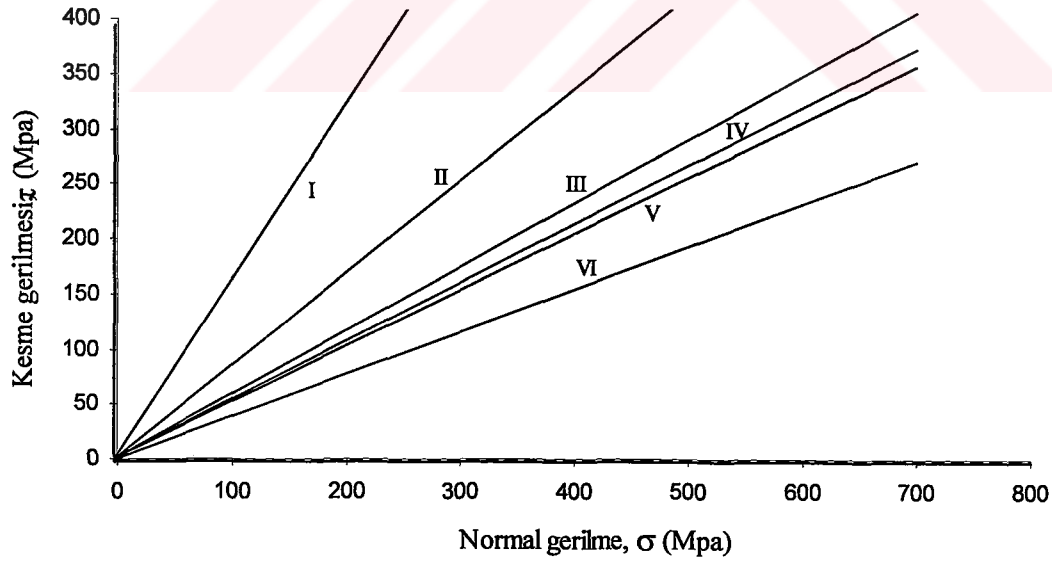
Hoek hücresinde deneye tabi tutulan taze kaya, az ve orta derecede ayrılmış örneklerin sonuçları normal gerilme - kesme gerilmesi ($\sigma - \tau$) eğrisinde (Şekil 4.12)

gösterilmiştir. Burada kullanılan sayısal ifadelerde; kayma direnci parametreleri olan kayma direnci açısı ϕ ve kohezyon c ile gösterilmektedir. Aynı örneklere ait c ve ϕ değerleri Tablo 4.6'da sunulmuştur.

Tablo 4.6: Taze kaya ve ayrılmış örneklerin c ve ϕ değerleri

Ayrışma derecesi	Kohezyon, c (MPa)	Kayma direnci açısı ϕ (°)
I	3.0	58
II	1.2	40
III	1.0	30
IV	1.0	28
V	0.927	27
VI	0.735	21

Tablo 4.6'dan görüldüğü gibi kayma direnci açıları azaldıkça ayrışma derecesi artmaktadır.

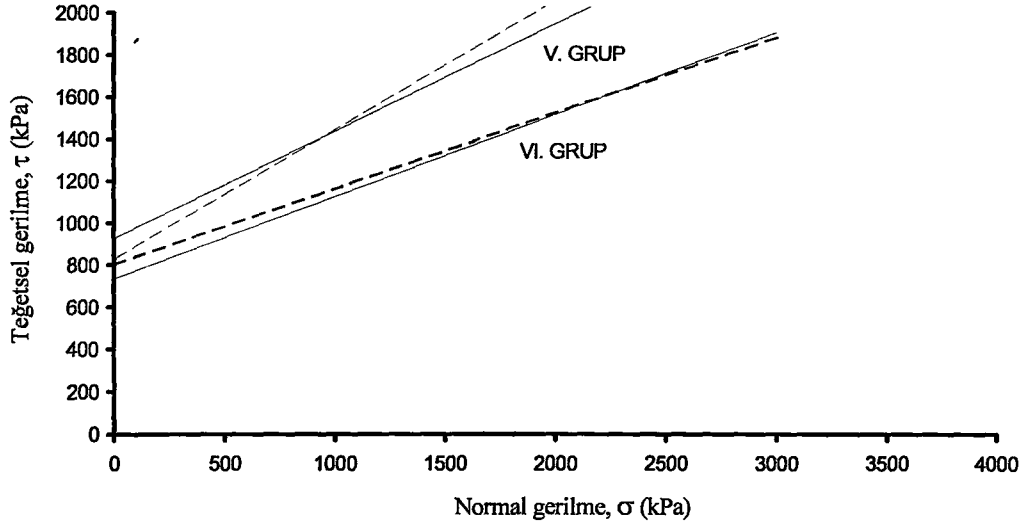


Şekil 4.12: Taze kaya ve ayrılmış örneklerin σ - τ diyagramında gösterimi

I. gruptaki örnekler; 8, 16 ve 20 MPa çevre basıncında ortalama 168 Mpa, II. gruptaki örnekler; 8, 12, 16 MPa çevre basıncında ortalama 46 MPa, III. gruptaki örnekler 8, 11, 14 MPa çevre basıncında, ortalama 33 MPa ve IV. gruptaki örnekler 8, 10, 12 MPa çevre basıncında ortalama 18 MPa dayanım vermişlerdir. Zemin hücresinde denenen daha fazla ayrılmış örneklerde ise uygulanan çevre basınçları; 0.3, 0.5 ve 0.7 MPa değerinde olmuştur. V. gruptaki örnekler ortalama 4.3 ve VI. gruptaki örneklerde dayanımı ortalama 3.1 MPa olarak bulunmuştur. Zeminde yenilme, kırılma veya kayma; ortamın, uygulanan gerimelere dayanma yeteneğinin kaybolması ile tariflenmektedir (Scott, 1987).

Aşağıda verilmiş olan Şekil 4.13'te V. ve VI. guruplardaki örneklerin $\sigma - \tau$ diyagramında toplam ve efektif gerilmelere göre parametrelerin gösterimi sunulmuştur. V. gurupta $c = 927$ kPa, $\phi = 27^\circ$ ve $c' = 831$ kPa ile $\phi' = 32^\circ$, VI. gurupta ise $c = 735$ kPa, $\phi = 21^\circ$ ve $c' = 802$ kPa ile $\phi' = 20^\circ$ bulunmuştur.

Kayaçlar zayıf çimentolu zemine ayrıştıklarında, dane sınırlarının açılmasının yanında mikrokırılma etkisi ile kohezyonlarının oldukça düşmesi ile birlikte kayma direnci açıları da az oranda düşer (Baynes ve Dearman, 1978). Yazarlar, kayma direnci açısındaki bu düşmenin, minerallerin yuvarlıklığı ve daneler ile matrisin kenetlenmesinden çok mineral danelerinin yüzey pürüzlüğünün ayrışma ile azalmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.13: V. ve VI. grupların $\sigma - \tau$ diyagramında gösterimi

Şekil 4.12 ve 4.13'te kayma direnci parametreleri değerlerine bakıldığında ayrışma derecesi arttıkça örneklerin düşüşü giderek artan c ve ϕ değerleri verdiği görülmektedir.

4.2.3.3. B parametresi ile kaya - zemin ayırımı

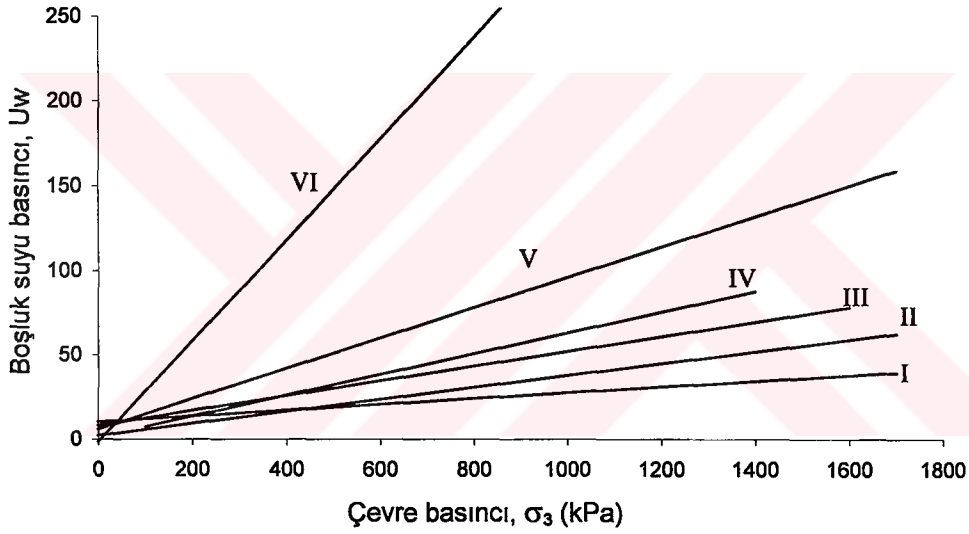
Çalışma konusu olan granodiyoritlerdeki kaya - zemin ayırımı, kesin sınırlarla sayısal olarak belirlemek amacıyla her ayrışma derecesinden alınan örnekler üzerinde çevre basıncı artırılarak boşluk suyu basıncı değerleri okunmuştur. Buradan elde edilen verilerle $\Delta u_w - \Delta \sigma_3$ eğrileri çizilerek B parametresi hesaplanmıştır.

$$B = \frac{\Delta u_w}{\Delta \sigma_3}$$

Tablo 4.7'de taze ve ayrışmış örneklerin B parametresi değerleri verilmiştir:

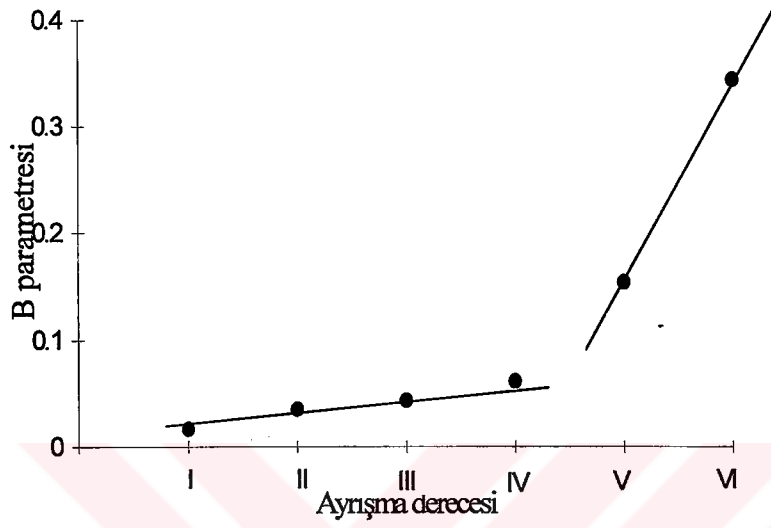
Tablo 4.7: Farklı ayrışma derecelerindeki örneklerin B parametreleri

GRUP NO.	B PARAMETRESİ
I	0.0171
II	0.0355
III	0.0437
IV	0.0616
V	0.1542
VI	0.3436

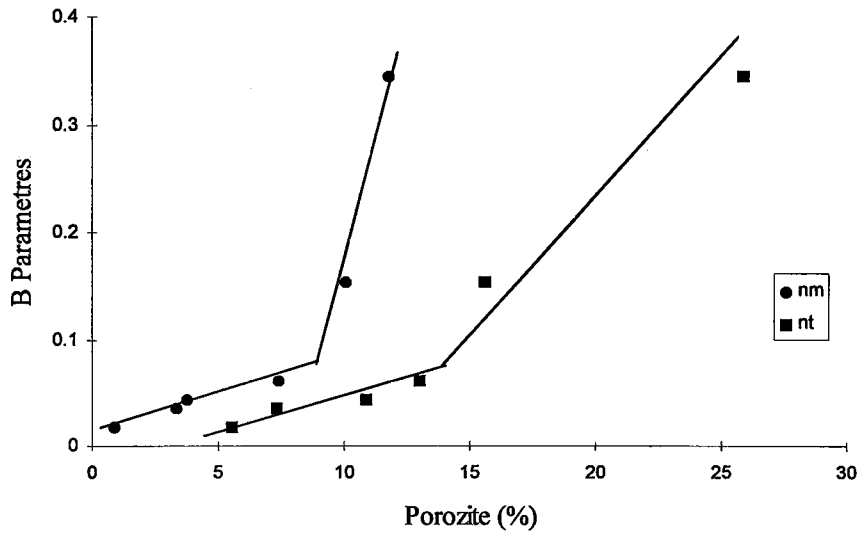
Şekil 4.14: Farklı ayrışma derecelerindeki örneklerin $\sigma_3 - u_w$ diyagramında gösterimi

Tablo 4.7 ve Şekil 4.14'den görüldüğü gibi ayrışma derecesi arttıkça kayaçta yükselen boşluk suyu basıncı değerleri okunmaktadır. Kayada ayrışma derecesi arttıkça B parametresinde de artışların olduğu böylece kanıtlanmıştır. Ancak önceki bulguların aksine, B parametresindeki ani artışın IV. gruptan sonra belirdiği saptanmıştır. Eğer eğim değişikliği matrisin (katı) sıkışabilirliğinin, dolayısıyla kayadan zemine dönüşün bir göstergesi ise bu durumda I, II, III ve IV. ayrışma evresindeki örneklerin “kaya” olarak ayırtlanması gerekecektir. Ayrıca, B parametresi ile ayrışma derecesi arasındaki ilişkiyi, efektif ve toplam porozite değerleri de

desteklemektedir. Şekil 4.16'dan porozitenin artışıyla B de ani yükselme gözlenmektedir. Bu da Şekil 4.15' in belirgin bir kanıtı olmaktadır.

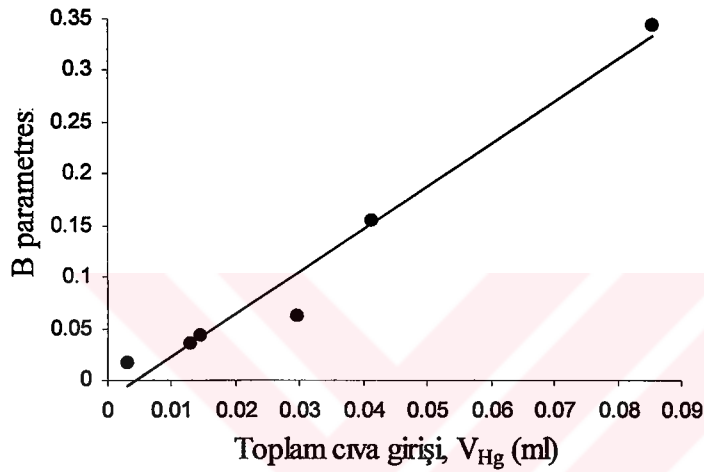


Şekil 4.15: B parametresi ile ayrışma derecesi arasındaki ilişki



Şekil 4.16: B parametresi ile mikro ve toplam porozite arasındaki ilişki

Şekil 4.17’de B parametresinin boşluk hacminden ne denli etkilendiği görülmektedir. Numunede boşluk hacmi arttıkça boşluk suyu okumasının da yükseldiği ve en fazla ayrıışmış numunede 0.35’e ulaştığı izlenmektedir.



Şekil 4.17: B parametresi ile toplam cıva girişı arasındaki ilişki

4.2.3.4. A parametresinin kaya - zemin ayırımına etkisi

Taze ve ayrıışmış örneklerin A parametresini saptamak amacıyla yapılan üç eksenli hücre kesme deneylerinde, farklı çevre basınçları verilerek, deviatör gerilme ($\sigma_1 - \sigma_3$) ve boşluk suyu basıncı değişimleri okunmuştur.

Kesme gerilmeleri alan zemin ve kayada boşluk suyu basınçları oluşan birim boy kısaltmalarına bağlı olarak değişim gösterir. Bu değişim boşluk suyu basıncı parametresi A ile gösterilir.

$$A = \frac{\Delta u_w}{\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)}$$

Zemin mekaniğindeki bulgular, yumuşak kil ve gevşek kumlarda A'nın pozitif değerler aldığı, kesme sırasında hacim artışı gösteren aşırı konsolide killer ve sıkı kumlarda ise önemli düşüşler gösterdiği yönündedir. Deney programında ölçülen u_w değerleri tüm numunelerde düşük, ancak pozitif tarafta kalmıştır.

Tablo 4.8' da verilen sonuçlar bu özelliği kısmen yansıtmaktadır. Kesme sırasında hiç hacim değişimi göstermeyen I. ve II. grupta A parametresi 0.003 te değişmez değerde kalırken III. grup hacim artışı göstermektedir. IV. grupta 0.002 ye düşmektedir (Şekil 4.18). Ayırışmanın ileri evrelerindeki aşamasındaki V. ve VI. grupta ise değer B'deki artışa paralel olarak hızla yükselmektedir.

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden III. ve IV. ayırışma derecelerinden alınmış örneklerde çevre basıncı arttıkça A parametresinde düşüşler gözlenmiştir. Daha fazla ayırışmış örnekler üzerinde aynı deneyler tekrarlandığında tam tersi durumla karşılaşmıştır. Buna göre, çevre basıncı arttıkça A parametresi de artmıştır (Şekil 4.19). Korelasyon katsayısının 0.95 nin üstünde olması, belirlenen ilişkinin kuvvetli olduğunu göstermektedir.

III. Grup ayırışma derecesi için:

$$A = -1 \times 10^{-6} \sigma_3 + 0.0034$$

IV. Grup ayırışma derecesi için:

$$A = -3 \times 10^{-6} \sigma_3 + 0.0065$$

V. Grup ayırışma derecesi için:

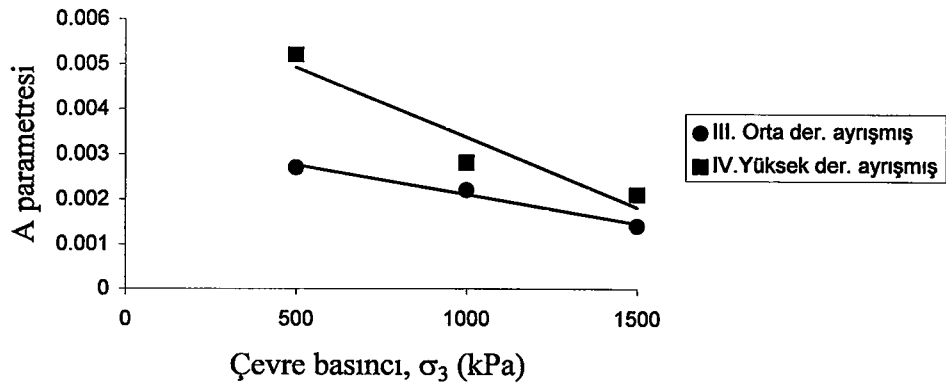
$$A = 7 \times 10^{-5} \sigma_3 - 0.005$$

VI. Grup ayırışma derecesi için:

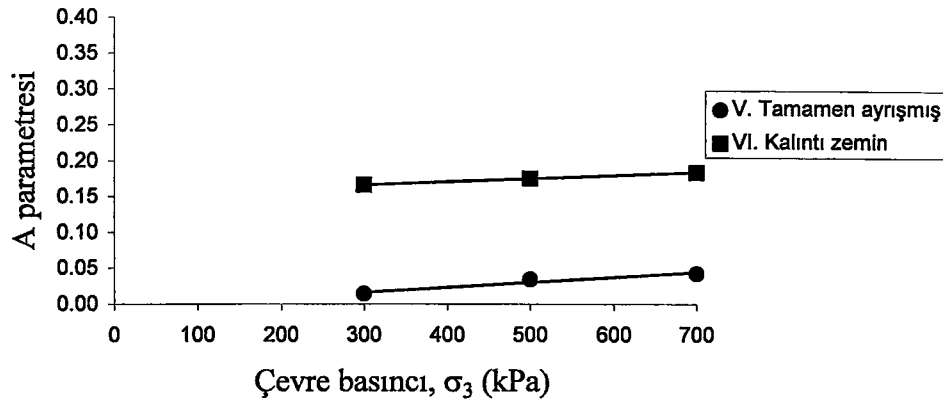
$$A = 4 \times 10^{-5} \sigma_3 + 0.1534$$

Tablo 4.8: Farklı ayrışma derecesindeki örneklerin çeşitli çevre basınçlarında A parametreleri

AYRIŞMA DERECESİ	σ_3 (kPa)	A PARAMETRESİ
I	1500	0.0033
II	1500	0.0030
III	500	0.0027
III	1000	0.0022
III	1500	0.0014
IV	500	0.0052
IV	1000	0.0028
IV	1500	0.0021
V	300	0.0140
V	500	0.0340
V	700	0.0420
VI	300	0.1660
VI	500	0.1750
VI	700	0.1830



Şekil 4.18: Orta ve yüksek derecede ayrışmış örneklerin A parametresi ile çevre basıncı arasındaki ilişki



Şekil 4.19: Tamamen ayrılmış ve kalıntı zemin örneklerinin A parametresi ile çevre basıncı arasındaki ilişki

4.3. Sıkışma Deneyleri

Çavuşbaşı granodiyoritleri üzerinde, ayrışma ve sıkışabilirlik arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla tamamen ayrılmış (V. grup), orta derecede ayrılmış (III. grup) ve taze kaya (I. Grup) örnekleri üzerinde, laboratuvarında ASTM D 2435-90'a göre tek eksenli sıkışma deneyleri yapılmıştır.

Bir cismin izotrop (eşyönlü) veya kesme gerilmeleri etkisi altında göstereceği boşluk suyu basıncı değişimleri cismi oluşturan kristal ve danelerin sıkışabilirliğine bağlıdır (Lade ve Boer, 1997). Doygun bir ortamda $\Delta\sigma$ gibi izotrop gerilme artışı uygulanır ve drenaja izin verilmezse boşluk suyu basıncı Δu_w gibi bir miktarla artacaktır. Bu artış ise boşlukları dolduran sıvının hacminde ΔV gibi bir azalma oluşturmaktadır. Bu artışın açıklaması,

$$\Delta V_w = n \cdot V_0 \cdot C_w \cdot \Delta u_w$$

ile yapılabilir. Burada C_w boşlukları dolduran sıvının sıkışabilirliğini gösteren indistir. Gerilme her üç ortogonal yönden geldiğine göre ortamın göstereceği hacim değişimi yapıyı oluşturan iskeletin sıkışabilirliği C_c den çıkarak

$$\Delta V = 3C_c.V_0.\Delta\sigma = 3C_c.V_0(\Delta\sigma - \Delta u_w)$$

olarak yazılırsa, boşluk suyu basıncı parametresi B bu iki denklem eşitlenerek,

$$B = \frac{\Delta u_w}{\Delta\sigma} = \frac{1}{1 + n \left\{ \frac{C_w}{C_c} \right\}}$$

olarak tariflenir. Kil gibi iskeletin sıkışabilirliğinin suya oranla çok yüksek olduğu durumda B nin 1'e yakın çıkması beklenir. Ancak, beton ve kayada değerin 1 den çok 0'a yakın olması bağıntıda dane ve matrisin çok düşük sıkışabilirliği yanında porozitenin de düşüklüğüne yorumlanabilir. Bir başka deyişle, eğer kayada ayrışma derecesi çok ileri aşamalara gitmişse, iskeletin sıkışabilirliğinin zemininkine yönelmesi beklenir. Daneler arasındaki kilitlenmenin en üst düzeyde olduğu sağlam kayada ise sıkışabilirliğin sadece minerallerin elastik hacim değiştirmesi ile kısıtlı olması gerekir.

Değerlendirilmesi gereken bir başka bakış açısı, ortamın izotrop gerilme altında yenildiği basınç düzeyidir. Oluşumu sırasında aldığı gerilmeleri “ön konsolidasyon basıncı” olarak yansıtan killer σ_c nin aşılması durumunda bunu $e - \log \sigma$ diyagramında çok belirgin bir biçimde göstermektedir. Çalışmanın bu bölümünde, ayrışma dereceleri kesin olarak ayrılan I, III ve V. grup örnekler ödometrede tek eksenli gerilmeye tabi tutularak aşırı konsolide kilde gözlenen davranışa benzer bir özellik araştırılmıştır. Gerilme 10 ile 2000 kPa arasında değiştirildiğinde aletin sıkışması mikrometrede okunan sıkışma değerlerinden çıkartılarak sıkışma eğrileri çizilmiştir (Şekil 4.20, 4.21, 4.22). Ancak çizimle bulunan yenilme gerilmeleri beklenen değişimi göstermemiştir. Bu az ayrışmış örneklerde yeterince yüksek gerilmelere çıkılmamış olmasından kaynaklanmıştır. Bu farkların önemszenmeyecek

düzeyde olduğu, bir başka deyişle σ_c nin ayrışma evresinden bağımsız olduğu gibi bir görüş getirilse bu beklentilerle çelişen bir bulgu olacaktır. Öte yandan Şekil 4.23 ve 4.24'te noktalanın $\sigma - \varepsilon$ bağıntılarından sıkışmanın,

V. Ayrışma derecesi için:

$$\varepsilon_z = 0.0008 \times \sqrt{\sigma} - 0.0010$$

III. Ayrışma derecesi için:

$$\varepsilon_z = 0.0005 \times \sqrt{\sigma} - 0.0010$$

I. Ayrışma derecesi için:

$$\varepsilon_z = 0.0004 \times \sqrt{\sigma} - 0.0013$$

fonksiyonuna uyum gösterdiği saptanmaktadır. Korelasyon katsayılarının 0.99'un üstünde çıkması ilişkinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca $e - \log \sigma$ eğrisinde 1600 - 3200 kPa aralığında hesaplanan sıkışma indisleri:

V. Ayrışma derecesi için:

$$Cc = 0.176$$

III. Ayrışma derecesi için:

$$Cc = 0.130$$

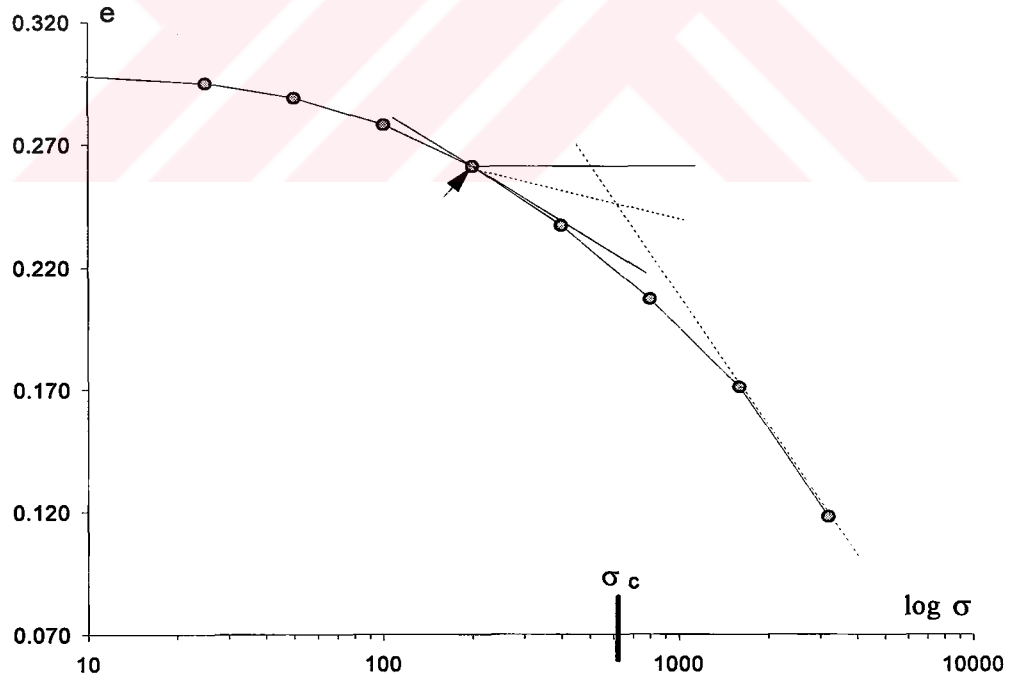
I. Ayrışma derecesi için:

$$Cc = 0.052$$

olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre; ayrışma ile kayadan zemine geçerken sıkışma indisinin arttığı, ancak yenilme gerilmesinde önemli değişim olmadığı belirmektedir.

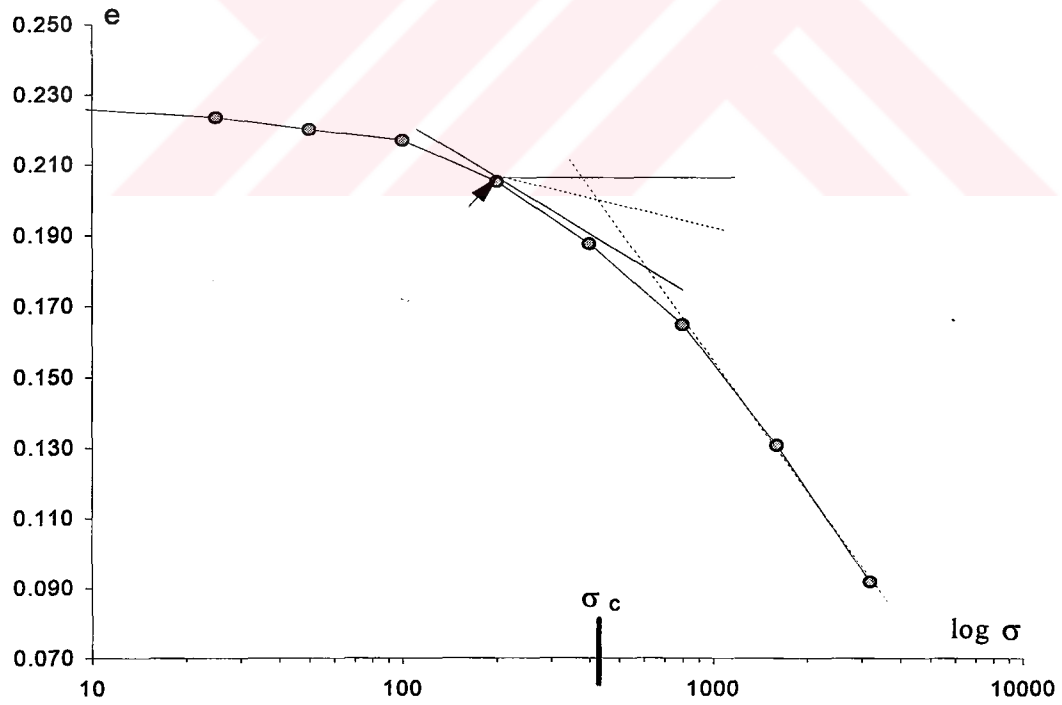
Tablo 4.9: V. grup örneklerin sıkışabilirlik deney sonuçları

OKUMA	σ	ε_z	e	n	$\sqrt{\sigma}$
2500	1	0.0000	0.305	0.234	1.00
2477	25	0.0023	0.295	0.228	5.00
2463	50	0.0037	0.289	0.224	7.07
2437	100	0.0063	0.278	0.218	10.00
2396	200	0.0104	0.261	0.207	14.14
2340	400	0.0160	0.237	0.192	20.00
2271	800	0.0229	0.207	0.171	28.28
2185	1600	0.0315	0.171	0.146	40.00
2061	3200	0.0439	0.118	0.106	56.57

Şekil 4.20: Tamamen ayrılmış örnekte e - $\log \sigma$ eğrisi

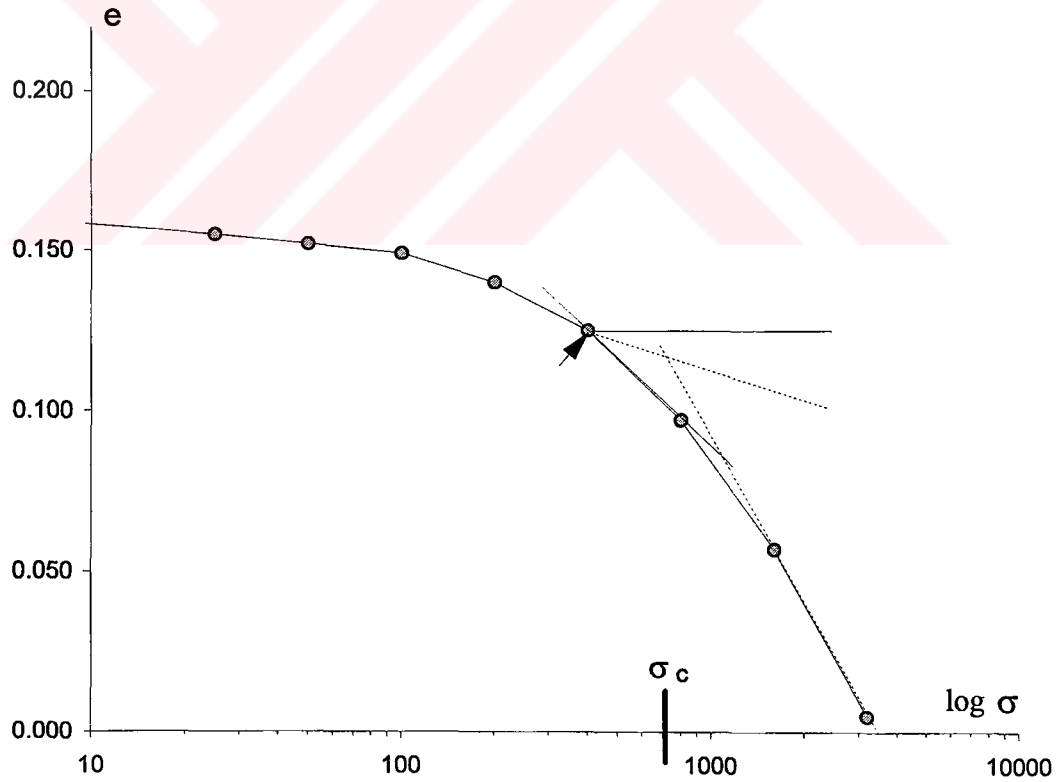
Tablo 4.10: III. grup örneklerin sıkışabilirlik deney sonuçları

OKUMA	σ	ε_z	e	n	$\sqrt{\sigma}$
2500	1	0.0000	0.231	0.188	0.00
2485	25	0.0015	0.223	0.182	5.00
2475	50	0.0025	0.218	0.179	7.07
2469	100	0.0031	0.215	0.177	10.00
2447	200	0.0053	0.203	0.169	14.14
2414	400	0.0086	0.186	0.157	20.00
2371	800	0.0129	0.163	0.140	28.28
2307	1600	0.0193	0.129	0.114	40.00
2234	3200	0.0266	0.090	0.083	56.57

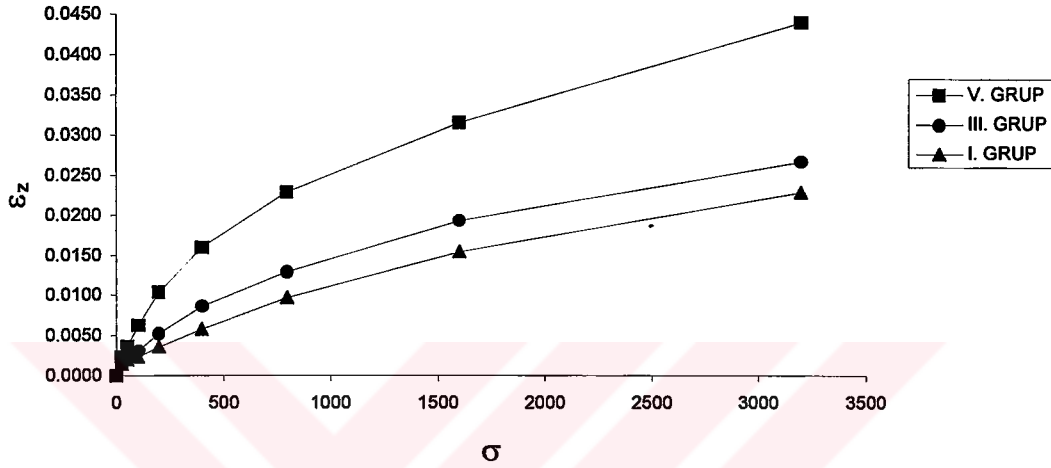
Şekil 4.21: Orta derecede ayrışmış örnekte e - $\log \sigma$ eğrisi

Tablo 4.11: I. grup örneklerin sıkışabilirlik deney sonuçları

OKUMA	σ	ε_z	e	n	$\sqrt{\sigma}$
2500	1	0.0000	0.166	0.142	0.00
2485	25	0.0015	0.155	0.134	5.00
2480	50	0.0020	0.152	0.132	7.07
2477	100	0.0023	0.149	0.130	10.00
2464	200	0.0036	0.140	0.123	14.14
2442	400	0.0058	0.125	0.111	20.00
2403	800	0.0097	0.097	0.088	28.28
2346	1600	0.0154	0.057	0.054	40.00
2272	3200	0.0228	0.005	0.005	56.57

Şekil 4.22: Taze kayadan alınmış örneğin e - $\log \sigma$ eğrisi

Aynı örneklerin sıkışma deney sonuçları ϵ_z ve σ eğrisinde gösterildiğinde düşey yöndeki boy kısalması ile ayrışma derecesi arasındaki ilişki Şekil 4.24'te görülmektedir. Şekile göre sıkışma deneyi sonucunda ayrışma derecesi arttıkça düşey yöndeki boy kısalması artmaktadır.



Şekil 4.23: Taze ve ayrışmış örneklerin ϵ_z - σ eğrileri

ϵ_z - σ eğrisinde elde edilen verilere göre taze kaya ve ayrışmış örneklerden elde edilmiş eğrilerin her biri için regresyon yapıldığında korelasyon katsayılarının 1'e çok yakın olduğu görülmektedir. Buda ϵ_z - σ arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

V. grup için:

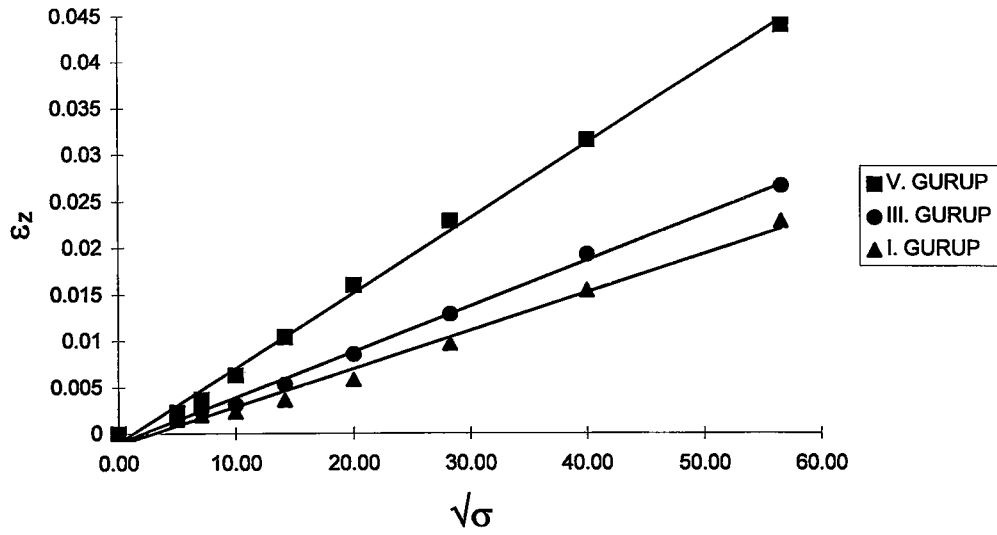
$$\epsilon_z = 0.0008\sqrt{\sigma} - 0.0010 \quad r = 0.9980$$

III. grup için:

$$\epsilon_z = 0.0005\sqrt{\sigma} - 0.0010 \quad r = 0.9980$$

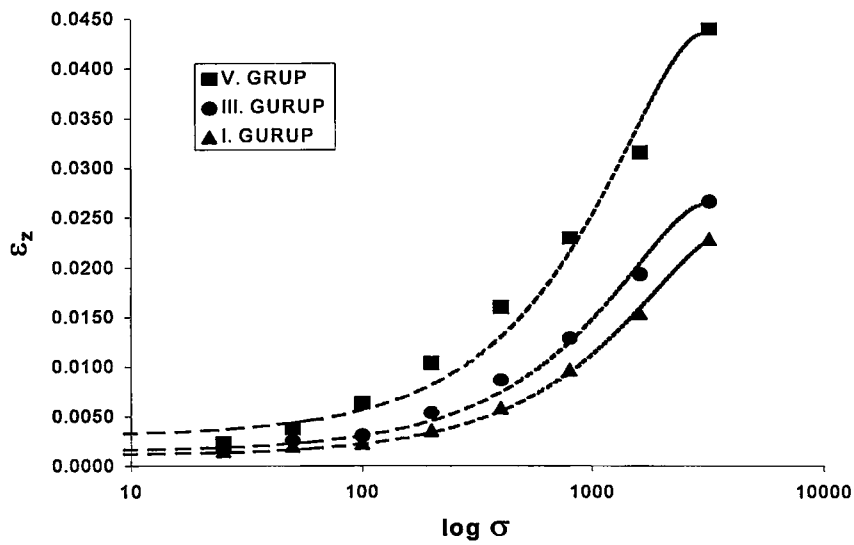
I. grup için:

$$\epsilon_z = 0.0004\sqrt{\sigma} - 0.0013 \quad r = 0.9936$$



Şekil 4.24: Taze ve ayrışmış örneklerin ϵ_z - $\sqrt{\sigma}$ eksenlerindeki doğrusal eğrileri

Sonuçlar ϵ_z - $\log \sigma$ eğrisinde noktalandığında ve bunlara en uygun olan polinom eğriler geçirildiğinde yine korelasyon katsayıları 0.99 gibi yüksek bir değer çıktığından aralarındaki ilişkinin yüksek olduğu bir kez daha (Şekil 4.25) görülmektedir.



Şekil 4.25: Taze ve ayrışmış örneklerin ϵ_z - $\log \sigma$ eksenlerindeki polinom eğrileri

SONUÇLAR

Fiziksel yıpranmanın hakim olduğu, bunun sonucu killeşmenin minimum düzeyde kaldığı saptanan Çavuşbaşı granodiyoritleri üzerinde yapılan incelemeler şu sonuçları vermiştir:

1. Yapılan petrografik incelemeler ve hesaplanan ayrışma potansiyeli indeksi (WPI) sonuçlarına göre, Çavuşbaşı granodiyoritleri önceki araştırmacıların granitik kayalarda saptadığı gibi altı farklı ayrışma gurubuna ayrılmıştır.
2. Granodiyorit bünyesinde beliren ve ayrışma ile yaygınlaşan mikro ve makro çatlakların etkisi ile sağlam kaya karakterini, zemin olarak tanımlanabilecek ancak kil içermeyen bir ortama bırakmaktadır. Daha da ilginç, I - VI ayrışma evrelerinde kayanın rengi ayrışmanın belirtisi olarak kabul edilen beyaz tonlardan sarı - kahverengi tonlara dönüştüğü halde XRD analizinde kil minerallerinin belirmemesidir. Bu renk değişikliğinin yükselen demiroksit miktarına bağlı olduğunu kabul etmek gerekmektedir.
3. Ayrışma / yıpranma ilerledikçe kayanın görünür ve mikro porozitesi beklendiği gibi yükselmektedir. Ayrışmada etkin olan boşluk çaplarının 100 - 10 μ m aralığında olduğu porozimetre ölçümlerinden görülmüştür. Geleneksel kaya - zemin geçiş kriteri uygulandığında 1.5 MPa lık tek eksenli dayanım sınırının gerçekçi olmadığı saptanmıştır. Zira tamamen ayrıışmış kayacın (V. gurup) dahi 2.35 MPa dayanım vermesine karşın boşluk çapı dağılımı indeksinin kayadan zemine geçişin, IV. gurupta belirlediğini göstermesi bu çelişkiyi ortaya koymaktadır.
4. İncelemeler sonucunda “Boşluk Çapı İndeksi” (Cp) kavramı getirilmiş ve bir malzemenin kaya olarak nitelendirilmesi için Cp nin 0.014 veya daha küçük olması gerektiği bulunmuştur.

5. Zeminle kaya arasındaki farkın kaya matrisinin doğasında bulunan mineraller arasındaki kenetlenme olduğu kabul edilirse, doygun durumda izotrop gerilme artışı altında boşluk suyu basıncı parametresi B 'nin 0.04 ün altında olduğu ortamların kaya, bunun üzerindeki ölçüm değerlerinin geçiş malzemesi ve 0.15 nin üstünde olanların zemin olduğu bulunmaktadır.

6. B parametresine benzer olarak numuneler üç eksenli hücrede kesme gerilmelerine tabi tutulduklarında bir ortamın kaya kabul edilebilmesi için ölçülen A parametresi değerinin 0.0030 ın altında olması gerektiğini göstermektedir.

7. Kaya - zemin ayırımı için yapılan drenajsız üç eksenli hücre kesme deneyleri beklenen gidiş (trend) i vermemektedir. Bunun nedeni deneylerde kullanılan Hoek hücresinde uygulanan izotrop (eşyönlü) gerilme artışının III ve yukarı ayrışma sınıflarında zemini pasif olarak yenmiş olması olasılığıdır. Böylece örnekler deviatör gerilme almadan çevre basıncının uygulanması sırasında yenilmiş olabilirler. Bu tür numunelerde Hoek hücresinin kullanımı amaca uygun değildir.

8. Tüm bulgular değerlendirildiğinde granodiyorit in ayrışma indisi WPI ın 10'un üstüne çıktığında kesinlikle kaya niteliği taşıdığı, buna karşın WPI 'nın 7'nin altına inmesi durumunda ortamın zemin karakteri kazandığı söylenebilmektedir.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Zemin - kaya ayırımı akademik gibi görünen ancak ardında önemli teknik problemler getiren bir konudur. Bu tezde öncelikle bir cismin kaya olarak nitelendirilebilmesi ve zemine dönüştüğü evre için gerekli mekanik ve fiziksel özellikler araştırılmıştır. Daha önce ayrıntılı olarak incelenmiş olan boşluk çapları dağılımı ve sıkışabilirlik etkenlerinin bir göstergesi olan boşluk suyu parametresi B nin kayanın ayırımı için uygun bir kriter olabileceği bulunmuştur. Buradan edinilen bilgilerle aynı kriterlerin öncelikle granitik kayaların dışındaki volkanik ortamlara da uygulanabilirliği araştırılmalıdır. Öte yandan, ayrışma sonucu kilin olduğu ortamlarda kaya - zemin ayırımının aynı yaklaşımlarla yapılabilirliğinin araştırılması da gerekmektedir. Yumuşak kaya olarak nitelendirilen marn, tebeşir, tuf, kalkarenit gibi matris sıkışabilirliğinin yüksek olduğu ortamların özelliklerinin ayrışmadan nasıl etkilendiğinin incelenmesi bunu izleyecek adım olarak önerilmektedir.

Eldeki tüm bilgiler değerlendirildiğinde zemin - kaya geçiş sınırının yeterli bilimsel doğrulukta yapılabileceği görüşü bu araştırma programı sonucunda güçlenmiştir.

Önerimiz, bu geçiş malzemeleri için farklı sağlam kayaların basma dayanımları ile ölçülen B ve A parametrelerini karşılaştırmak ve kesin sınırı tariflemektir. Ayrışma ürününün aşırı killeşme olduğu durumlarda ortamın yapı ve dokusu değiştiğinden ayırımın ne şekilde yapılabileceği ise ayrı bir çalışma konusu olmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] ANON: "The description of rock masses for engineering purposes", Geological Society Engineering Working Party Report, QJEG, Vol. 10, pp. 355-388, 1977.

[2] ANON: "Classification of rocks and soils for engineering geological mapping part 1: rock and soil materials", Report on the commission of Eng. Geo. Mapping of the IAEG, Vol. 19, pp. 364-371, 1979.

[3] ANON: "The Engineering Geology of Weak Rock", Geo. Society Eng. Working Party Report, Proceedings of the 26th annual conference of the / Leeds, Engineering Geology Special Publication No. 8 Balkema, 1993.

[4] ANON: "The description and classification of weathered rocks for engineering purposes", Geological Society Engineering Group Working Party Report, QJEG, Vol. 28, pp. 207-242, 1995.

[5] ANTOINE, P., GIRAUD, A., MEUNIER M. and ASCH T.V.: "Geological and geotechnical properties of the "Terres Noires" in southeastern France: Weathering, erosion, solid transport and instability", Eng. Geol., Vol. 40, pp. 223-234, 1995.

[6] ASTM D 2166-91: "Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil", 1991.

[7] ASTM D 2435-90: "Test Method for One Dimensional Consolidation Properties of Soils", 1990.

[8] ASTM D 2664-86: "Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements", 1986.

[9] ASTM D 4404-84 (92): "Standard test method for determination of pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 12.01, 1992.

[10] ASTM D 4644-87: "Slaking Durability test", 1987,

[11] ASTM D 4767-88: "CU Triaxial compression Test on Cohesive Soils in Triaxial Compression", 1988.

[12] ASTM D 5731-95: "Point Load test", 1995.

[13] BAILEY, M.J., LOVELL, C.W. and WOOD, L.E.: "The characterization of shale relative to its mechanical degradability", Bulletin of the Ass. of Eng. Geologists, Vol. 16 No. 2, pp. 241-266, 1979.

[14] BARROSO, E.V., POLIVANOV, H., PRESTES, A., NUNES, A.L.S., VARGAS, E.A. ANTUNES F.: "Basic properties of weathered gneissic rocks in Rio de Janeiro, Geotechnique, Eng. of Hard Soils - Soft Rock", Balkema, Rotterdam, pp. 29-35, 1993.

[15] BATES and JACKSON: "Glossary of Geology", 2nd Edition, American Geological Institute, Falls Church, Virginia, 1980.

[16] BAYNES, J., DEARMAN, W.R.: "Scanning electron microscope studies of weathered rocks: A review of nomenclature and methods", Bulletin of International Association of Engineering Geology, Vol. 18, pp. 199-203, 1978.

[17] BAYNES, J., DEARMAN, W.R.: "The microfabric of a chemically weathered granite", IAEG, Vol. 18, pp. 91-100, 1978.

[18] BAYNES, J., DEARMAN, W.R.: "The relationship between the microfabric and the engineering properties of weathered granite", IAEG, Vol. 18, pp. 191-198, 1978.

[19] BELL, F.G.: "A survey of the engineering properties of some anhydrite and gypsum from the North and Midlands of England", Eng. Geol., Vol. 38, pp. 1-23, 1994.

[20] BELL, F.G., CRIPPS, J.C., CULSHAW, M.G. and ENTWISLE, D.: "Volume changes in weak rocks: Prediction and measurement", Geotechnique, Eng. Of Hard Soils - Soft Rock, Balkema, Rotterdam, pp. 925-932, 1993.

[21] BLOOMFIELD, J.P., BREWERTON, L.J. and ALLEN, D.J.: "Regional trends in matrix porosity and dry density of the Chalk of England", QJEG Vol. 28, pp. 131-142, 1995.

[22] BOWLES, J.E.: "Physical and Geotechnical Properties of Soils", McGraw-Hill, New York, 1989.

[23] BRATTLI, B.: "The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates", Eng. Geol., Vol. 33, pp. 31-44, 1992.

[24] CAMPOS, J.O., PARAGUASSU, A.B., DOBEREINER, L., SOARES, L. and FRAZAO, E.B.: "The geotechnical behaviour of Brazilian sedimentary rocks", Geotechnical Eng. of Hard Soils - Soft Rock, Balkema, Rotterdam, pp. 69-84, 1993.

[25] CARROLL, D.: "Rock Weathering", Plenum Press. New York - London, 1970.

[26] CHIGIRA, M.: "A mechanism of chemical weathering of mudstone in a mountainous area", Eng. Geol., Vol. 29, pp. 119-138, 1990.

- [27] CHIGIRA, M. and SONE, K.: "Chemical weathering mechanisms and their effects on engineering properties of soft sandstone and conglomerate cemented by zeolite in a mountainous area", *Eng. Geol.* Vol. 30, pp. 195-219, 1991.
- [28] COX, K.G., BELL, J.D., PANKHURST, R.J.: "The Interpretation of Igneous Rocks", Allen and Unwin, London, 1979.
- [29] CRAGG, D.G. and INGMAN, J.: "Rock weathering descriptions; current difficulties", *QJEG* Vol. 28, pp. 277-286, 1995.
- [30] CURREY, D.T.: "Deeply weathered rock at Victorian damsites", *Eng. Geol.*, Vol. 11, pp. 344-363, 1977.
- [31] DAS, B.M.: "Advanced Soil Mechanics", McGraw-Hill Editions, New York 511 p., 1987.
- [32] DEARMAN, W.R.: "Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in British Practice", *Bull. Int. Ass. Eng. Geol.*, Vol. 9, pp. 33-42, 1974.
- [33] DEARMAN, W.R.: "Weathering classification in the characterization of rock: A revision", *Bulletin IAEG* Vol. 13, pp. 123-127, 1976.
- [34] DEARMAN, W.R. (1995): "Description and classification of weathered rocks for engineering purposes: the background to the BS 5930:1981 proposals", *QJEG*, Vol. 28, pp. 267-276, 1995.
- [35] DEARMAN, W.R., BAYNES, F.J. and IRFAN, T.Y.: "Engineering grading of weathered granite", *Eng. Geol.* Vol. 12, pp. 345-374, 1978.
- [36] DEERE, D.U. and PATTON, F.D.: "Slope stability in residual soils", reprinted from proceedings of the Fourth Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan, Puerto Rico, 1971.
- [37] DELAGE, P. And LEFEVBRE, G.: "Study of the structure of a sensitive Champlain clay, *Canadian Geotechnical Journal*", Vol. 21, No 1, pp. 21-35, 1984.
- [38] DOBEREINER, L. and FREITAS, M.H. DE.: "Geotechnical properties of weak sandstones", *Geotechnique*, Vol. 36, No 1, pp. 79-94, 1986.
- [39] DOBEREINER, L., DURVILLE, J.L., RESTITUITO, J.: "Weathering of the Massiac gneiss (Massif Central, France)", Vol. 47, pp. 79-96, 1993.
- [40] EARDLEY, A.J.: "Weathering, mass movements, and river erosion", *Science of the earth*, Harper and Row, Publishers, New York, pp. 154-188, 1972.

- [41] ESAKI, T., JIANG K., KOBAYASHI, K. and TAKASHIMA, K.: "Study on physical and chemical properties in weathering process of a rock", Proceedings of the Korea - Japan Joint Symposium on Rock Engineering, Seoul / Korea, 1996.
- [42] FOOKES, P.G.: "Geomaterials", QJEG, Vol. 24, pp. 3-15, 1991.
- [43] FOOKES, P.G., DEARMAN, W.R. and FRANKLIN, J.A.: "Some engineering aspects of rock weathering with field examples from Dartmoor and elsewhere", QJEG, Vol. 4, pp. 139-185, 1971.
- [44] FOOKES, P.G., GOURLEY, C.S. and OHIKERE, C.: "Rock weathering in engineering time", QJEG, Vol. 21, pp. 33-57, 1988.
- [45] FRITZ, S.J. and RAGLAND, P.C.: "Weathering rinds developed on plutonic igneous rocks in the north Carolina piedmont", American Journal of Science Vol. 280, pp. 546-559, 1980.
- [46] GAN, JULIAN K.M. and FREDLUND, D.G.: "Shear strength characteristics of two saprolitic soils", Can. Geotechnique, J. Vol. 33, pp. 595-609, 1996.
- [47] GARY, M., McAFEE, R.Jr and WOLF, C.L.: "Glossary of Geology", Washington, D.C. (American Geological Institute), 1972.
- [48] GAURI, K.L., HAGERTY, D.J. and ULLRICH, C.R.: "Comparative physical properties of weathered impregnated and unimpregnated marble", Eng. Geol., Elsevier Publishing company, Amsterdam, pp. 235-250, 1972.
- [49] GERBER, E. and SCHEIDEGGER, A.E.: "Stress-induced weathering of rock masses", Eclogae Geol., Helv. Vol. 62/2, pp. 401-415, 1969.
- [50] GIDIGASU, M.D.: "The importance of soil genesis in the engineering classification of Ghana soils", Eng. Geol., Vol. 5, pp. 117-161, 1971.
- [51] GIDIGASU, M.D.: "Degree of weathering in the identification of laterite materials for engineering purposes - A review", Eng. Geol., Vol. 8, pp. 213-266, 1974.
- [52] GILLOTT, J.E.: "Fabric of leda clay investigated by optical, electronoptical and x-ray diffraction methods", Eng. Geol., Vol. 4, pp. 133-153, 1970.
- [53] GILLULY, J., WATERS A.C. and WOODFORD A.O.: "Principles of Geology", Chapter 4: Weathering and soils. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1968.

- [54] GRIFFITHS, F.J. and JOSHI R.C.: "Change in pore size distribution due to consolidation of clays", *Journal of Geotech. Eng., ASCE* Vol. 39, No 1, pp. 159-167, 1989.
- [55] HAMROL, A.: "A quantitative classification of the weathering and weatherability of rocks", *Proc. 5th.Int. Cong. Soil. Mech. and Foundation Eng., Paris* Vol. 2, pp. 771-774, 1961.
- [56] HARRISS, R.C.: "Geochemical and mineralogical studies on the weathering of granite rocks", *Ph.D. Thesis., Rica Univ.*, 1965.
- [57] HASKINS, D.R. and BELL, F.G.: "Drakensberg basalts; their alteration, breakdown and durability", *QJEG*, Vol. 28, pp. 287-302, 1995.
- [58] HATCH, F.H., WELLS, A.K., WELLS, M.K.: "The petrology of the igneous rocks", 10. Edition, Murby, London, 1972.
- [59] HEAD, K. H.: "Soil laboratory testing", Vol. 3, *Ele Int. Lim.*, Pentech Press, London, 1986.
- [60] HENCHER, S.R. and McNICHOLL, D.P.: "Engineering in weathered rock", *QJEG*, Vol. 28, pp. 253 - 266, 1995.
- [61] HILL, S.E. and ROSENBAUM,: "Influential factors which determine the engineering profile of basic igneous rocks", *Proc., 7th IAEG Congress*, pp. 4507-4516, 1994.
- [62] HODDER, A.P.W.: "Thermodynamic interpretation of weathering indices and its application to engineering properties of rocks", *Eng. Geol.*, Vol. 20, pp. 241-251, 1984.
- [63] HODGSON, R.L.P., GRAINGER, P. and KALAUGHER, P.G.: "Progressive weathering and degradation of mudstone in a coastal landsliding", *QJEG*, Vol. 29, pp. 57-64, 1996.
- [64] HOLDREN, G.R. and SPEYER, P.M.: "Reaction rate-surface area relationships during the early stages of weathering - I. Initial observations", *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 49, pp. 675-681, 1985.
- [65] HOWARTH, D.F. and ROWLANDS, J.C.: "Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment of intact rock properties", *Geotechnical Testing Journal*, pp. 169-179, 1986.
- [66] HOWAT, M.D.: "Completely weathered granite - soil or rock", *QJEG*, Vol. 18, pp. 199-206, 1985.
- [67] ISRM: "Suggested methods for quantitative description of discontinuities in rock masses", *Int. Journal of rock mechanics, Geomech. Abs.* 5 (6), pp. 319-368, 1978.

[68] ISRM: "Rock Characterization, Testing and Monitoring", ISRM Suggested Methods, Pergamon Pres., Oxford, 211p., 1981.

[69] İRFAN, T.Y., DEARMAN, W.R.: "The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall", England, QJEG, Vol. 11, pp. 233 - 244, 1978.

[70] İRFAN, T.Y.: "Ayrışmış bir granit te agrega niteliğinin mikropetrografik indeksler ve standart agrega deneyleriyle saptanması", Jeo. Müh., s. 17-21, 1979.

[71] İRFAN, T.Y. : "Ayrışma ve ayrışma sınıflamaları", Konferans Dizisi, Türkiye Jeo. Kurumu No 19, 29 sayfa, 1981.

[72] İRFAN, T.Y.: "Aggregate properties and resources of granitic rocks for use in concrete in Hong Kong", QJEG, Vol. 27, pp. 25-38, 1994.

[73] İRFAN, T.Y.: "Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong", QJEG, Vol. 29, pp. 5-35, 1996.

[74] İRFAN, T.Y. and DEARMAN W.R.: "Engineering classification and index properties of a weathered granite", Eng. Geol., Vol. 17, pp. 79-90, 1978.

[75] İRFAN, T.Y. and POWELL G.E.: "Engineering geological investigations for pile foundations on a deeply weathered granitic rock in Hong Kong", IAEG Bulletin, Vol. 32, pp. 67-80, 1985.

[76] JAIN, S.K.: "Drilled in caissons or shafts in soft rock of New York area", Geotechnique, Eng. Of Hard Soils - Soft Rock, Balkema, Rotterdam, pp. 961-967, 1993.

[77] JOHNSTON, I.W.: "Rational determination of the engineering properties of soft rocks", Proc. ICE Geotechnical Eng., Paper 10533, 1995.

[78] JOHNSTON, I.W. and NOVELLO E.A.: "Soft rocks in the geotechnical spectrum, Geotechnical Eng. Of Hard Soils - Soft Rock", Balkema, Rotterdam, pp. 177-183, 1993.

[79] JOHNSTON, I.W. and NOVELLO, E.A.: "Soil mechanics, rock mechanics and soft rock technology", Proc. ICE Geotechnical Eng., Paper 10232, 1994.

[80] JONES, M.J.: "The weathered zone aquifers of the basement complex areas of Africa", QJEG, Vol. 18, pp. 35-46, 1985.

[81] KARPOV, I.K. and SHOBA, V.N.: "Physicochemical modeling of soil formation and weathering processes", Soil Science, Vol. 19, No 1, pp. 19-27, 1987.

[82] KRAUSKOPF, K. B.: "Introduction to Geochemistry", McGraw - Hill, New York, 1989.

- [83] KILIÇ, R.: "The degree of alteration and geomechanical properties of diabase in the Ankara ophiolitic melange", Turkey. Environmental and Engineering Geosciences. Vol. 1, No 3, pp. 341-351, 1995.
- [84] KOMOO, I. And YAAKUB, J.: "Engineering properties of weathered metamorphic rocks in Peninsular Malaysia", Proc, 6th. IAEG Congress, pp. 665-672, 1990.
- [85] KÖKSOY, M.: "Türkiye kayaç bozunma haritası (Teorik bir deneme), H.Ü. Yerbilimleri Enst. Yayın organı", Cilt 2, Sayı 1, s. 71-78, 1976.
- [86] KUDO, Y., SANO, O. and NAKAGAWA, K.: "Regional microstructural features in granite", Proc. of the Korea - Japan Joint Symposium on Rock Engineering, Seoul / Korea, 1996.
- [87] LADE, P.V. and BOER, R.D.: "The concept of effective stress for soil, concrete and rock", Geotechnique, Vol. 47, No 1, pp. 61-78, 1997.
- [88] LAMBE, T. W., WHITMAN R.V.: "Soil Mechanics", John Wiley and Sons, 553 p., New York, 1979.
- [89] LEE, S.G. and FREITAS, M.H.: "A revision of the description and classification of weathered granite and its application to granites in Korea", QJEG, Vol. 22, pp. 31-48, 1989.
- [90] LEROUÉIL, S. and VAUGHAN, P.R.: "The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks", Geotechnique., Vol. 40, No 3, pp. 467-488, 1990.
- [91] LITTLE, A.L.: "The Engineering classification of residual tropical soils", Proc. 7th Int. Con., Soil Mech. and Found. Eng., Mexico, pp. 1-10, 1969.
- [92] LUMB, P.: "The properties of decomposed granite, Geotechnique", Vol. 12 , pp. 226-243, 1962.
- [93] MARQUES, E.A.G. and VARGAS, E.A.: "Weatherability and alteration studies of some shales and siltstones from the Reconcavo sedimentary basin-Northeast Brazil", Proc., 7th IAEG Congress, pp. 729-737, 1994.
- [94] MARTIN, R.P.: "Use of index tests for engineering assessment of weathered rocks", Proc., IAEG Congress, Buenos Aires, pp. 434-450, 1986.
- [95] MARTINI, I.P. and CHESWORTH, W.: "Weathering, Soils and Paleosols", Elsevier, Netherlands, 1992.
- [96] MEIGH, A.C. and WOLSKI, W. : "Design parameters for weak rocks", Design parameters in Geotech. Eng., Vol. 5, pp. 59-79, 1993.

- [97] MERRIAM, R., RIEKE, H.H. and KIM, Y.C.: "Tensile strength related to mineralogy and texture of some granitic rocks", Eng. Geol., Vol. 4, pp. 155-160, 1970.
- [98] MORGENSTERN, N.R. and EIGEBROD, K.D.: "Classification of argillaceous soils and rocks", Journal of the geotechnical eng., ASCE, V. 100 GT 10, pp. 1137-1155, 1974.
- [99] MOYE, D.G.: "Engineering geology for snowy mountain scheme", Jour. Instit. of Engineers, Australia, Vol. 27, pp. 287-298, 1955.
- [100] NEIVA, J.M.C.: "The zoning of granitic rock mass of the Alvarenga dam site", Proc., 7th IAEG Congress, pp. 3869-3877, 1994.
- [101] NOVELLO, E.A. and JOHNSTON, I.W.: "Geotechnical materials and the critical state", Geotechnique, Vol. 45, No 2, pp. 223-235, 1995.
- [102] OLA, S.A.: "Mineralogical properties of some Nigerian residual soils in relation with building problems", Eng. Geol., Vol. 15 pp. 1-13, 1980.
- [103] OLIVEIRA, R.: "Exploration and investigation of rock masses, Engineering in rock masses", Edited by F.G. Bell, Butterworth - Heinemann, Oxford, pp. 134-149, 1992.
- [104] OLLIER, C.D.: "Weathering, geomorphology texts", 2nd Edn., Oliver and Boyd, Edinburgh, 1984.
- [105] ONDRASIK, R., WAGNER, P. and MATEJCEK, A.: "Weak zones - A specific feature of west Carpathian granitic rock masses on the territory of Central Slovakia", Geotechnical Eng. Of Hard Soils - Soft Rock, Balkema, Rotterdam, pp. 223-227, 1993.
- [106] ORDONEZ, S., LOUIS, M., CURA, M.A.G., FORT, R., AZCONA, M.C.L. and MINGARRO, F.: "Physical properties and petrographic characteristics of some Bateig stone varieties", Proc., 7th IAEG Congress, pp. 3595-3603, 1994.
- [107] ÖNALAN, M.: "İstanbul Devoniyen çökellerinin sedimenter özellikleri ve çökelme ortamları", İstanbul Yerbilimleri Dergisi, Cilt 2, s. 92-108, 1998.
- [108] ÖNALP, A.: "Geoteknik Bilgisi I, Zeminler ve Mekaniği", Sakarya Üniv., No 27, Adapazarı, 450 sayfa, 1997.
- [109] ÖZTUNALI, Ö. ve SATIR M.: "Çavuşbaşı kristalin karmaşığının petrografi ve petrolojisi", Yerbilimleri Kongresi, M.T.A., 1973.
- [110] PARKER, A.: "An index of weathering for silicate rocks", Geol. Mag. pp. 501-504, 1970.

- [111] PLUMMER, C.C. and McGEARY, D.: "Physical Geology, fourth edition", W.M.C. Brown Publishers, Dubuque, 535 p., 1988.
- [112] PRICE, D.G.: "A suggested method for the classification of rock mass weathering by a ratings system", QJEG, Vol. 26, pp. 69-76, 1993.
- [113] PRICE, D.G.: "Weathering and weathering processes", QJEG, Vol. 28, pp. 243-252, 1995.
- [114] PUZRIN, A. and BURLAND J.B.: "A logarithmic stress-strain function for rocks and soils", Geotechnique, Vol. 46, No 1, pp. 157-164, 1996.
- [115] PYE, K., GOUDIE A.S. and WATSON A.: "Petrological influence on differential weathering and inselberg development in the Korea area of Central", Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 11, pp. 41-52, 1986.
- [116] PYE, K. and MOTTERSHEAD D.N.: "Honeycomb weathering of Carboniferous sandstone in a sea wall at Weston-super-Mare", QJEG, Vol. 28, pp. 333-347, 1995.
- [117] RAHARDJO, H., LIM T.T., CHANG M.F., and FREDLUND D.G.: "Shear-strength characteristics of a residual soil", Can. Geotechnical Jour., Vol. 32, pp. 60-77, 1995.
- [118] RAHN, P.H.: "Weathering and Soil - Forming Processes", Engineering Geology, An Environmental Approach, Elsevier, Amsterdam, 1986.
- [119] RAJ, J.K.: "Characterization of the weathering profile developed over a porphyritic biotite granite in Peninsular Malaysia", Proc. IAEG, Vol. 32, pp. 121-129, 1985.
- [120] ROBERTSON, I.D. and EGGLETON, R.A.: "Weathering of granitic muscovite to kaolinite and halloysite and of plagioclase-derived kaolinite to halloysite", Clay Minerals Society, Vol. 39, pp. 113-126, 1991.
- [121] ROCHA, M.: "Método para amostragem integral de maciços rochosos", LNEC Memoir N374, Publ, Lisbon, 1971.
- [122] ROZOS, D. and KOUKIS, G.: "Slake-durability and geomechanical behavior of the fine-grained Neogene sediments of the NW Peloponnesus", Greece, Geotechnical Eng. Of Hard Soils - Soft Rock, Balkema, Rotterdam, pp. 261-268, 1993.
- [123] RUSSELL, D.J. and PARKER, A.: "Geotechnical, mineralogical and chemical interrelationships in weathering profiles of an overconsolidated clay", QJEG, Vol. 12, pp. 107-116, 1979.

[124] RUXTON, B.P.: "Measures of the degree of chemical weathering of rocks", J. of Geol., Vol. 76, pp. 518-527, 1968.

[125] RUXTON, B.P., BERRY, L.: "Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong", Bull. Geol. Soci. Amer., Vol. 68, pp. 1263-1292, 1957.

[126] SANCIO, R.F.: "The use of back-calculations to obtain the shear and tensile strength of weathered rocks", Proceedings of the Int. Sym. on weak rock, Tokyo, pp. 647-659, 1981.

[127] SCOTT, R.F.: "Failure, Geotechnique", Vol. 37, No 4, pp. 423, 1987.

[128] SETTERHOLM, D.R. and MOREY, G.B.: "An extensive Pre-Cretaceous weathering profile in east-central and southwestern Minnesota", U.S. Geological survey bulletin, Chapter H, 1989.

[129] SMITH, J.M.: "Chemical engineering kinetics", Mc. Graw - Hill, New York, 3rd Ed. , pp. 327-348, 1981.

[130] SOWERS, G.F.: "Engineering properties of residual soils derived from igneous and metamorphic rocks", Proc. 2nd Panama Cong. Soil Mech. and Found. Eng., Brazil, pp. 39-61, 1963.

[131] STEWARD, H.E. and CRIPPS, J.C.: "Some engineering implications of chemical weathering of pyritic shale", QJEG, Vol. 16, pp. 281-289, 1983.

[132] SUNGUR K.A.: "Kayalar ve ayrışma", Ed. Fak. Matbaası, İstanbul. Yayın No. 2624, 1979.

[133] TATSUOKA, F., KOHATA, Y., MIZUMOTO, K., OCHI, K., SHI, D. and KIM, Y.S.: "Measuring small strain stiffness of soft rocks", Geotechnical Eng. Of Hard Soils - Soft Rock, Balkema, Rotterdam, pp. 809-816, 1993.

[134] TROTTER, C.M., PINKNEY, E.J. and TOD H.G.: "Weathering and strength loss at an earthflow site", Landslides, Bell (ed.), pp. 1489-1495, 1991.

[135] TROTTER, C.M.: "Weathering and regolith properties at an earthflow site", QJEG, Vol. 26, pp. 163-178, 1993.

[136] TS 8543: "Suya dayanıklılık deneyi", Ankara

[137] TUĞRUL, A.: "Change in pore size distribution due to weathering of basalts and its engineering significance", Proceedings, International Symposium on Engineering Geology and Environment, Vol. 1, pp. 419-424, 1979.

- [138] TUĞRUL, A. and GÜRPINAR, O.: "The effect of chemical weathering on the engineering properties of Eocene basalts in Northeastern Turkey", *Env. and Eng. Geoscience*, Vol. 3, No 2, pp. 225-234, 1997.
- [139] TÜRK, N. and DEARMAN, W.R.: "Influence of water on engineering properties of weathered rocks", *Groundwater in Engineering Geology*, London, pp. 131-138, 1986.
- [140] VALETON, I : "Paleoenvironment of lateritic bauxites with vertical and lateral differentiation", In., Wilson, R.C.L. (ed.) *Residual Deposits, Surface Related Weathering Processes and Materials*, Geological Society London, Special Publication Vol. 11, pp. 77-90, 1970.
- [141] VAN DER MERWE, D.H.: "The weathering of some basic igneous rocks and their engineering properties", *Civ. Eng. in S. Africa*, Vol. 6, pp. 213-222, 1964.
- [142] VAUGHAN, P.R. and KWAN, C.W.: "Weathering, structure and in situ stress in residual soils", *Geotechnique*, Vol. 34, No 1, pp. 43-59, 1984.
- [143] VOGT, T.: "Sulitjelmefeltets geologic Petrography", *Nor. Geol. Unders*, Vol. 121, pp. 1-560, 1972.
- [144] WASHBURN, E.: "A note on a method of determining the distribution of pore size in a porous material", *Proc. Nat. Acad. Sci.*, Vol. 7, No 1, pp. 115, 1921.
- [145] WEI, K. and LIU, D.: "The zoning system for assessment of weathering states of granites", *Proc. 6. Int. IAEG Congress*, Balkema, Rotterdam, pp. 657-663, 1990.
- [146] WIELEMAKER, W.G. and WAKATSUKI T.: "Properties, weathering and classification of some soils formed in peralkaline volcanic ash in Kenya", *Geoderma*, Vol. 32, pp. 21-44, 1984.
- [147] WILLIAMSON, D.A. and KUHN, C.R.: "The unified rock classification system, rock engineering systems for engineering purposes", ASTM STP 984, Kirkaldie Ed., American Society for Testing Material, Philadelphia, pp. 7-16, 1988.
- [148] YOKOTA, S.: "Mathematical Models of Weathering Process in Jointed Rock Masses", *Jour. Geol. Soc., Japan* Vol. 98, pp. 155-163, 1992.
- [149] YOKOTA, S.: "Modelling and simulations of weathering process in jointed rock masses", *Proc. 7th IAEG Congress*, pp. 4805-4810, 1994.
- [150] YONGBO, Z., MIYING, Y., GE C. and YUN, Z.: "Research on assessment method of foundation loading capacity of shallow granite residual soil", *30. Int. Geol. Congress*, 1996.

[151] ZHAO, J. And BROMS, B.B.: “Mechanical and physical properties of the weathered Bukit Timah granite of Singapore”, Geotechnical Eng. of Hard Soils - Soft Rock, Balkema, Rotterdam, pp. 883-890, 1993.

[152] ZHAO, J, BROMS, B.B., ZHOU, Y., CHOA, V.: “A Study of the Weathering of the Bukit Timah Granite”, Part B: Field and Laboratory Investigations, IAEG, No. 50, pp. 105-113, 1994.

[153] ZHAO, J., ZHOU, Y., SUN, J., LOW, B.K. and CHOA, V.: “Engineering geology of the Bukit Timah Granite for cavern construction in Singapore”, QJEG, Vol. 28, pp. 153-162, 1995.



EKLER

Ek A

Tablo A.1: I. grup örneğin X-ray analiz sonuçları

*** Basic Data Process ***

Group : Standard
Data : nol

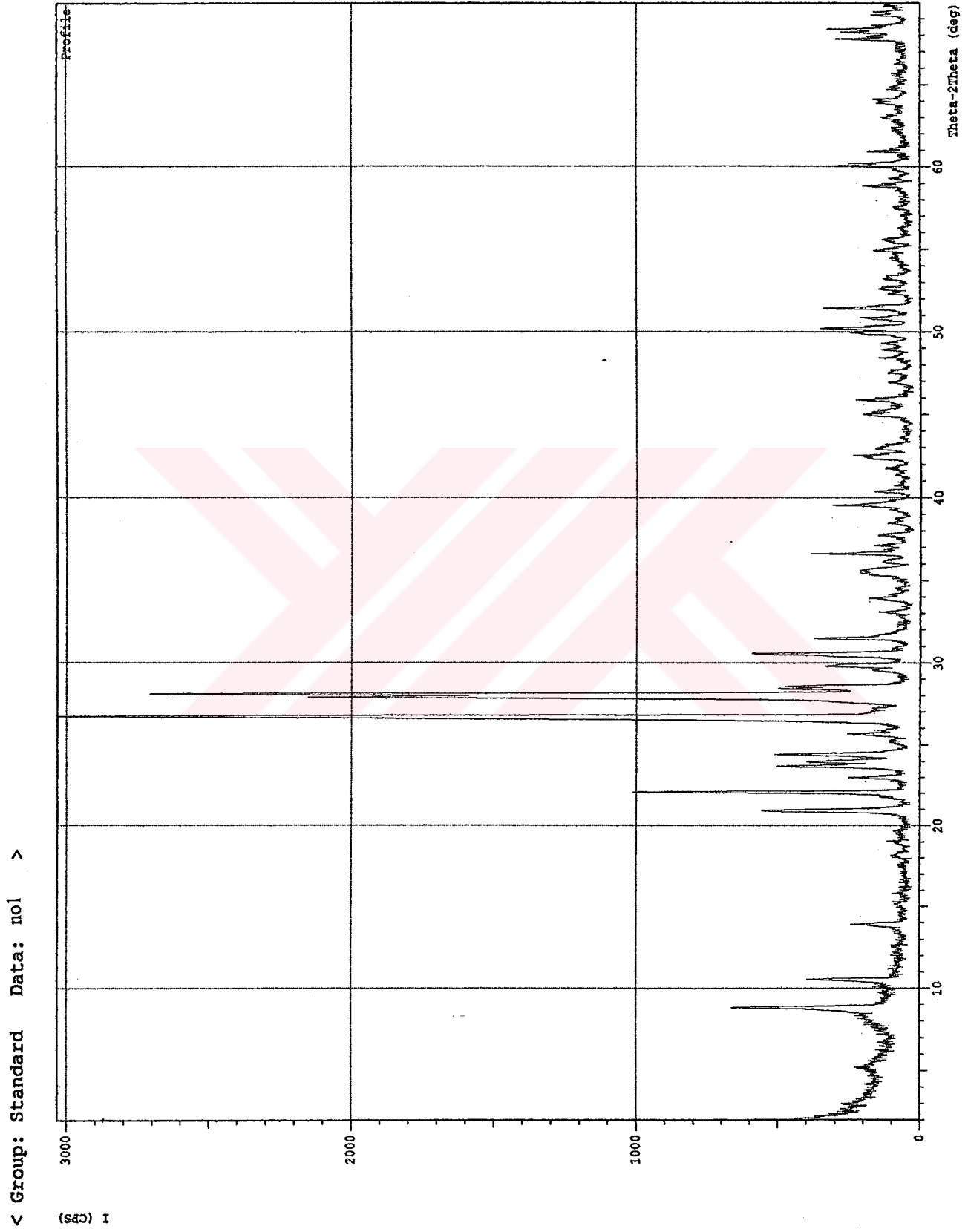
Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	12	26.6514	3.34207	100	0.23280	1156	13586
2	16	28.0600	3.17741	89	0.15960	1029	8449
3	15	27.8600	3.19977	72	0.16300	827	7872

Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	8.8087	10.03064	17	0.21250	198	2968
2	10.5132	8.40789	9	0.18640	105	1196
3	13.8907	6.37019	5	0.22150	59	840
4	20.8972	4.24751	17	0.19450	202	2282
5	22.0468	4.02856	29	0.15380	340	3026
6	22.9658	3.86939	6	0.17170	65	603
7	23.6623	3.75704	15	0.19090	176	1673
8	23.9391	3.71423	12	0.23170	133	1619
9	24.3838	3.64748	14	0.20760	166	1989
10	25.6184	3.47444	5	0.17460	61	750
11	26.3000	3.38592	4	0.08580	44	448
12	26.6514	3.34207	100	0.23280	1156	13586
13	27.0766	3.29054	3	0.32670	39	588
14	27.5400	3.23622	5	0.10580	63	498
15	27.8600	3.19977	72	0.16300	827	7872
16	28.0600	3.17741	89	0.15960	1029	8449
17	28.4676	3.13284	14	0.32060	165	2726
18	29.5260	3.02290	3	0.18800	39	409
19	29.8077	2.99497	10	0.20610	111	1187
20	30.4991	2.92863	18	0.22720	211	2575
21	31.4662	2.84079	11	0.15710	132	1056
22	31.7000	2.82037	3	0.17340	35	483
23	33.0569	2.70764	3	0.14890	36	329
24	33.8755	2.64406	4	0.24100	46	728
25	35.3600	2.53638	5	0.18860	57	597
26	35.6000	2.51983	5	0.29500	54	1078
27	36.6113	2.45251	9	0.14090	105	902
28	37.7415	2.38163	3	0.18810	37	445
29	39.5227	2.27830	9	0.17050	101	1311
30	40.3545	2.23324	4	0.14910	43	350
31	42.4330	2.12853	5	0.32600	61	1221
32	42.9816	2.10262	4	0.32330	47	704
33	44.9549	2.01481	6	0.19870	66	691
34	45.1800	2.00529	4	0.18280	45	470
35	45.8468	1.97766	6	0.19140	66	821
36	48.9006	1.86106	3	0.13470	38	429
37	49.9189	1.82546	7	0.23120	78	1016
38	50.2105	1.81554	12	0.14830	134	1034
39	50.7996	1.79586	5	0.18730	60	585
40	51.4248	1.77548	11	0.15310	129	1078
41	52.6000	1.73855	4	0.16000	50	633
42	53.2400	1.71915	3	0.24000	35	475
43	54.9241	1.67035	4	0.14820	47	528
44	58.8275	1.56848	5	0.13760	63	491
45	60.0321	1.53985	10	0.16430	113	1125
46	60.9347	1.51919	5	0.13850	53	410
47	63.9445	1.45475	4	0.31760	44	779
48	67.7538	1.38193	9	0.16110	104	894

Şekil A.1: I. grup örnek in X-ray analiz grafiği



Tablo A.2: II. grup örnek için X-ray analiz sonuçları

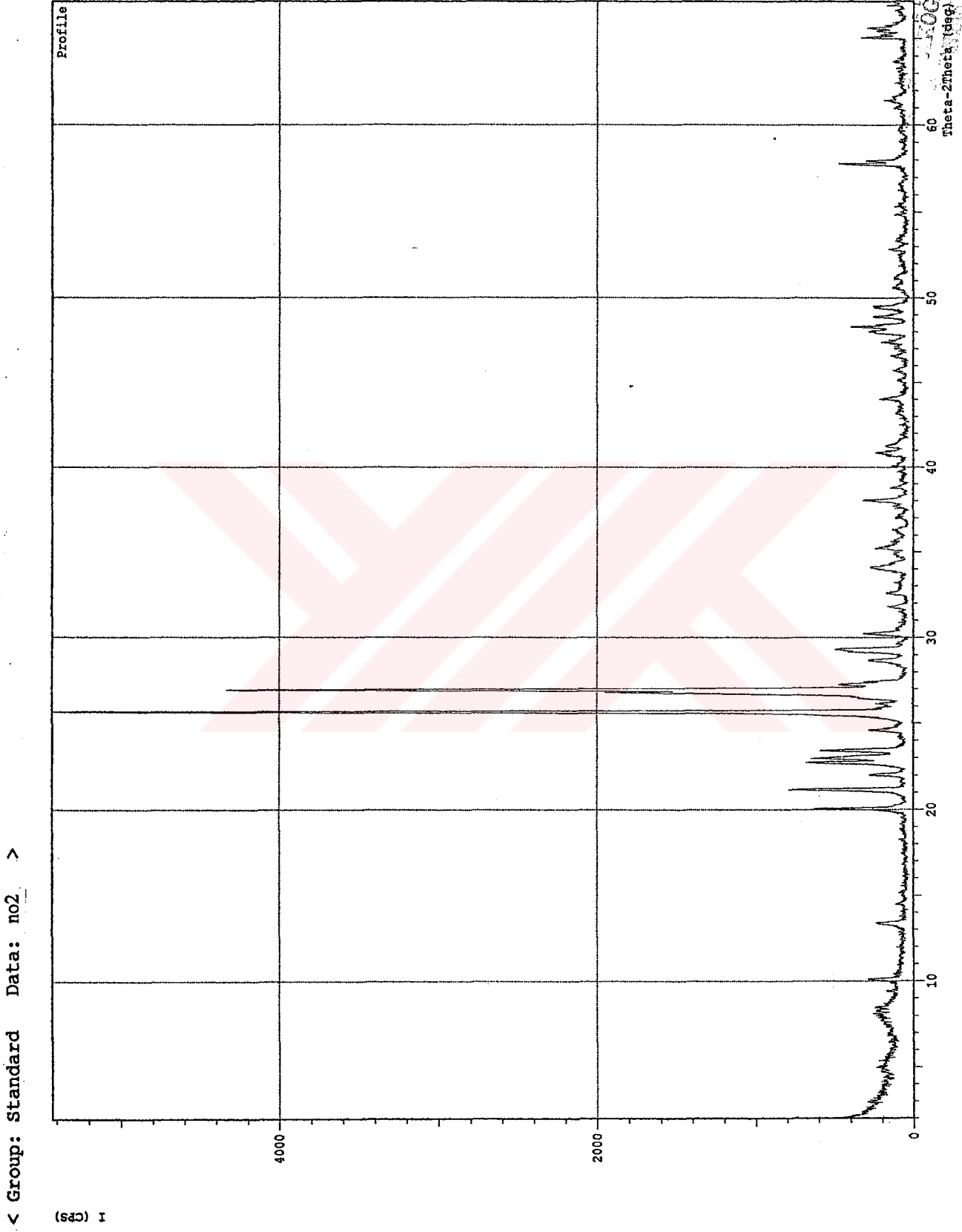
*** Basic Data Process ***

Group : Standard
Data : no2

Peak Data List

Peak no	2Theta	d (Å)	(Cu-Kα) 1.5418
1	20.9	10.45	4.2524
2	22.1	11.05	4.0241
3	23	11.5	3.8687
4	23.75	11.875	3.7482
5	23.9	11.95	3.725
6	24.45	12.225	3.6424
7	25.55	12.775	3.488
8	26.55	13.275	3.3589
9	27.5	13.75	3.245
10	27.9	13.95	3.1993
11	28.4	14.2	3.1441
12	28.55	14.275	3.128
13	29.8	14.9	2.9995
14	30.5	15.25	2.9323
15	31.5	15.75	2.8414
16	33	16.5	2.7156
17	33.9	16.95	2.6456
18	35.5	17.75	2.5299
19	36.5	18.25	2.4629
20	37	18.5	2.4307
21	37.6	18.8	2.3933
22	38.5	19.25	2.3394
23	39.5	19.75	2.2824
24	40.4	20.2	2.2336
25	41.45	20.725	2.1795
26	41.7	20.85	2.167
27	42.5	21.25	2.128
28	42.95	21.4765	2.1068
29	44.5	22.25	2.0369
30	45.9	22.95	1.978
31	46.75	23.375	1.944
32	47.5	23.75	1.915
33	48.4	24.2	1.8815
34	49.15	24.575	1.8445
35	49.95	24.975	1.8267
36	50.1	25.05	1.8216
37	50.8	25.4	1.7981
38	51.45	25.725	1.7769
39	53.2	26.6	1.7225
40	54.95	27.475	1.6717

Şekil A.2: II. grup örneğin X-ray analiz grafiği



Tablo A.3: III. grup örnek için X-ray analiz sonuçları

*** Basic Data Process ***

Group : Standard
Data : no3

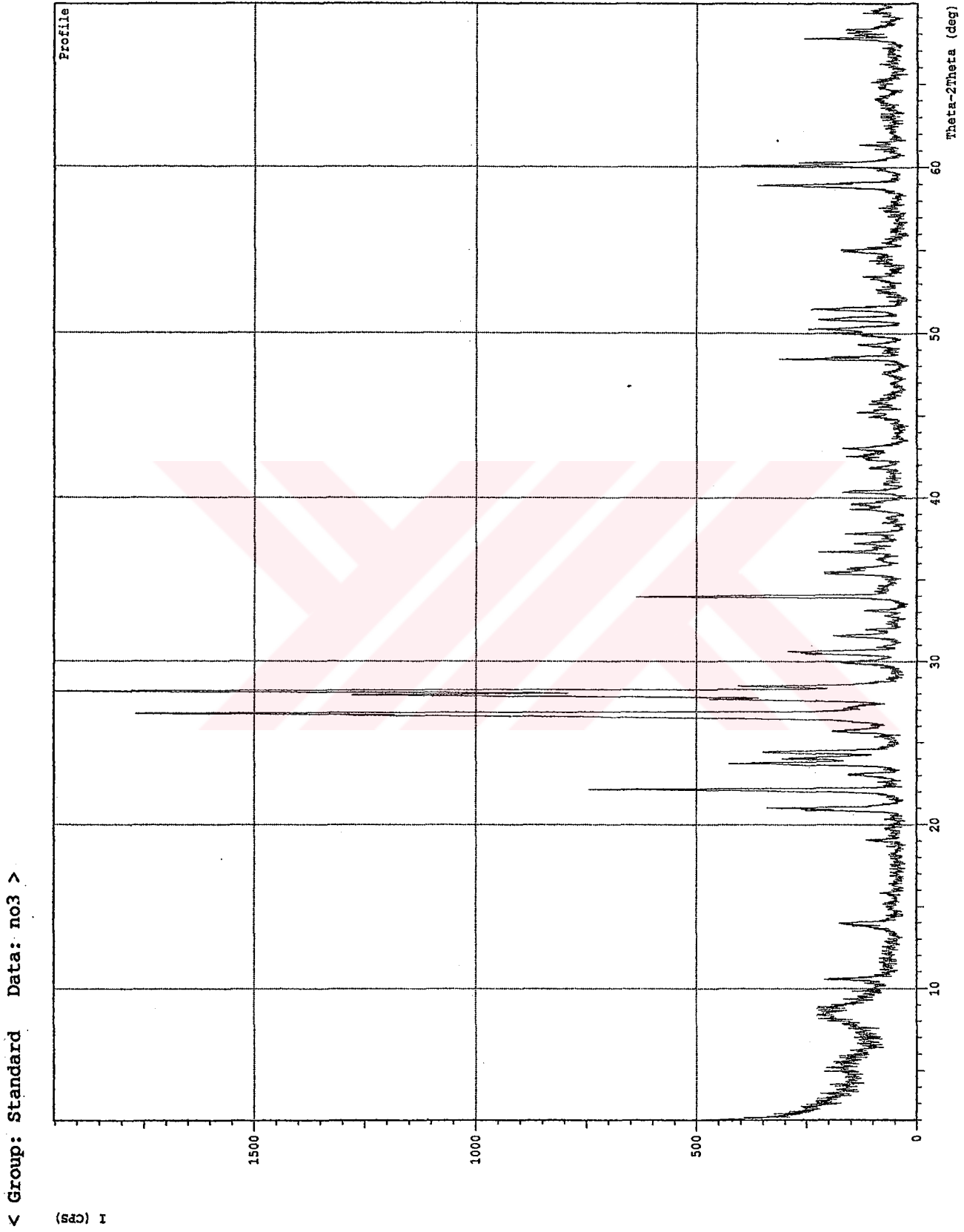
Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	24	28.1290	3.16978	100	0.13700	841	5747
2	21	26.7800	3.32631	82	0.12140	692	4440
3	23	27.9000	3.19527	60	0.19160	502	4708

Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	8.0400	10.98785	3	0.13600	28	433
2	8.2000	10.77381	4	0.00000	31	0
3	8.3800	10.54279	4	0.00000	36	0
4	8.7200	10.13247	4	0.00000	34	0
5	8.8600	9.97267	3	0.41340	28	587
6	10.5764	8.35779	5	0.18050	44	475
7	13.9460	6.34506	6	0.22800	49	795
8	19.0425	4.65682	3	0.12500	27	192
9	20.8600	4.25500	9	0.12000	72	493
10	21.0000	4.22695	13	0.12620	106	852
11	22.0000	4.03702	8	0.07300	67	322
12	22.1401	4.01179	33	0.13740	275	1901
13	23.0630	3.85330	5	0.17400	39	398
14	23.7270	3.74695	16	0.21400	132	1380
15	24.0414	3.69865	11	0.21880	94	1063
16	24.4163	3.64270	14	0.18080	121	1221
17	25.6878	3.46521	6	0.18440	47	536
18	26.2800	3.38845	3	0.10000	26	205
19	26.5000	3.36081	20	0.11120	170	1055
20	26.6400	3.34347	54	0.19840	454	3408
21	26.7800	3.32631	82	0.12140	692	4440
22	27.6600	3.22245	18	0.16580	155	1507
23	27.9000	3.19527	60	0.19160	502	4708
24	28.1290	3.16978	100	0.13700	841	5747
25	28.4473	3.13503	17	0.15910	146	1457
26	29.9307	2.98294	6	0.22150	47	608
27	30.4200	2.93607	6	0.10000	50	382
28	30.6000	2.91921	11	0.13400	96	893
29	31.5530	2.83318	7	0.15610	59	582
30	31.9594	2.79807	4	0.11230	31	235
31	33.1078	2.70359	4	0.10150	36	252
32	33.9579	2.63783	34	0.10390	287	1697
33	35.3792	2.53505	9	0.13490	73	598
34	35.6775	2.51453	5	0.15500	39	391
35	36.7019	2.44667	8	0.10970	68	409
36	37.2087	2.41450	5	0.11750	42	364
37	37.8183	2.37697	6	0.12000	50	379
38	39.2911	2.29119	5	0.14220	42	376
39	39.5733	2.27550	5	0.22670	44	588
40	40.3572	2.23309	8	0.14210	67	535
41	41.8233	2.15814	3	0.11330	27	167
42	42.3687	2.13161	4	0.13750	35	244
43	42.5700	2.12200	5	0.14000	41	351
44	43.0070	2.10144	6	0.15400	54	586
45	45.2282	2.00326	5	0.10980	44	412
46	48.4491	1.87734	16	0.11300	133	847
47	49.2900	1.84727	5	0.15000	39	358
48	49.8600	1.82747	5	0.12000	38	214

Şekil A.3: III. grup örneğin X-ray analiz grafiği



Tablo A.4: IV. grup örneğin X-ray analiz sonuçları

*** Basic Data Process ***

Group : Standard
Data : no4

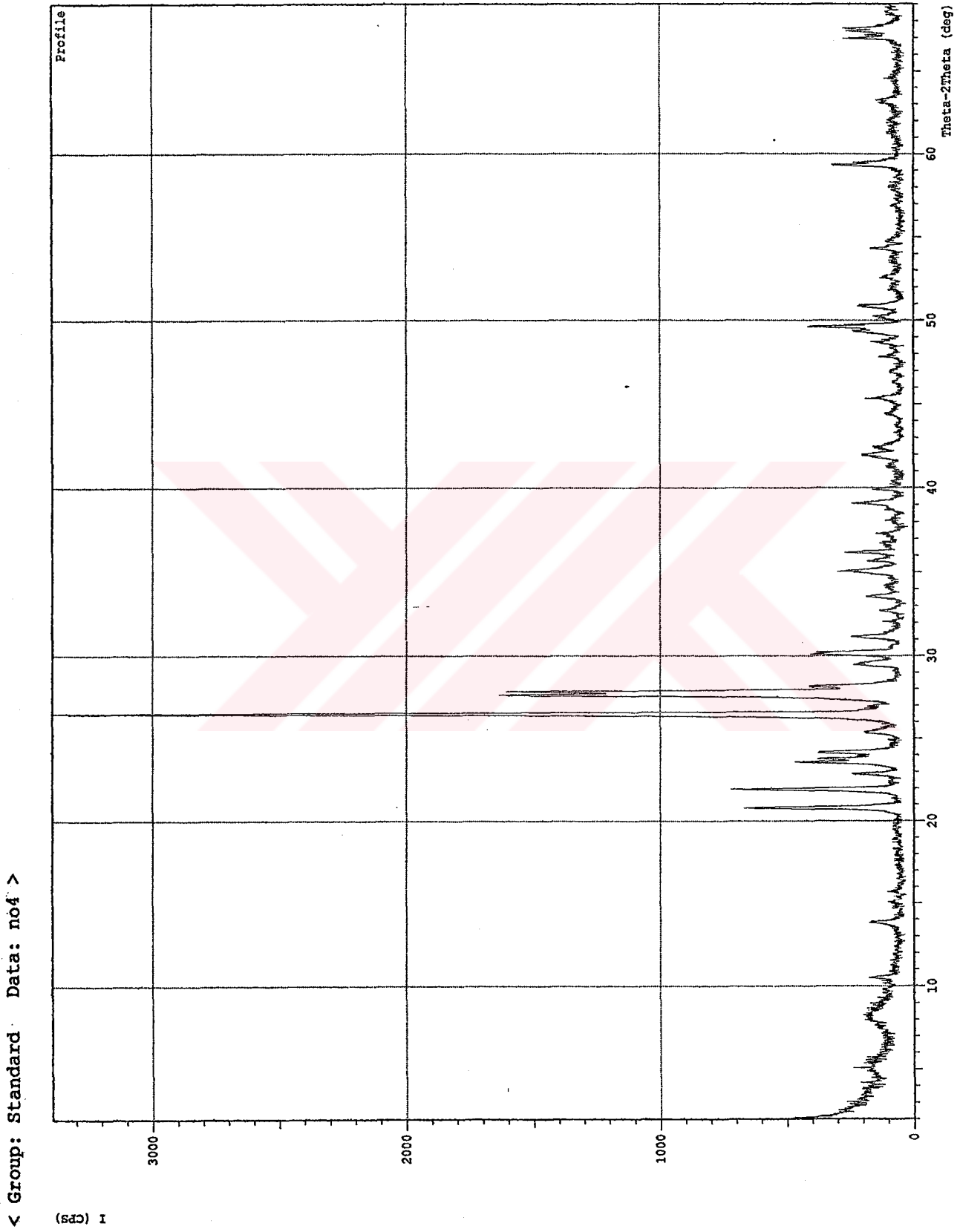
Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	12	26.4735	3.36412	100	0.13360	1397	10056
2	14	27.6200	3.22702	47	0.17240	654	6163
3	15	27.8400	3.20202	45	0.12680	634	4887

Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	13.8242	6.40069	3	0.20040	44	589
2	20.7851	4.27016	18	0.14970	249	2372
3	21.7600	4.08100	4	0.08920	62	398
4	21.9158	4.05234	19	0.16120	265	2168
5	22.8400	3.89041	5	0.15710	65	592
6	23.5470	3.77518	11	0.17980	149	1368
7	23.7609	3.74168	8	0.15240	118	964
8	24.1532	3.68178	9	0.20160	122	1493
9	25.3669	3.50831	3	0.21820	46	605
10	26.1200	3.40884	4	0.08000	53	387
11	26.2800	3.38845	16	0.11540	225	1583
12	26.4735	3.36412	100	0.13360	1397	10056
13	27.3200	3.26177	4	0.12440	55	741
14	27.6200	3.22702	47	0.17240	654	6163
15	27.8400	3.20202	45	0.12680	634	4887
16	28.1491	3.16756	9	0.20900	131	1717
17	29.5039	3.02512	4	0.31720	62	1062
18	30.1384	2.96286	10	0.26540	134	1816
19	31.1275	2.87093	5	0.19000	73	910
20	33.5500	2.66896	4	0.17420	53	608
21	34.9600	2.56448	4	0.19500	56	523
22	35.0800	2.55598	6	0.14580	81	686
23	35.6625	2.51556	4	0.10960	50	372
24	36.1725	2.48125	6	0.12270	83	620
25	39.0737	2.30344	6	0.15750	84	1032
26	39.9103	2.25706	4	0.11660	51	364
27	41.8200	2.15830	3	0.14280	43	355
28	42.0000	2.14947	4	0.14000	62	541
29	45.3415	1.99852	4	0.15110	50	520
30	49.3289	1.84590	5	0.25780	70	974
31	49.6155	1.83591	13	0.12890	177	1224
32	50.8365	1.79464	5	0.18970	73	815
33	54.3252	1.68734	4	0.12680	50	350
34	59.3185	1.55666	11	0.14670	148	1393
35	66.9741	1.39611	7	0.13180	95	771
36	67.4000	1.38832	6	0.17860	90	796
37	67.5600	1.38542	5	0.12920	64	530

Şekil A.4: IV. grup örneğin X-ray analiz grafiği



Tablo A.5: V. grup örneğin X-ray analiz sonuçları

*** Basic Data Process ***

Group : Standard
Data : no5

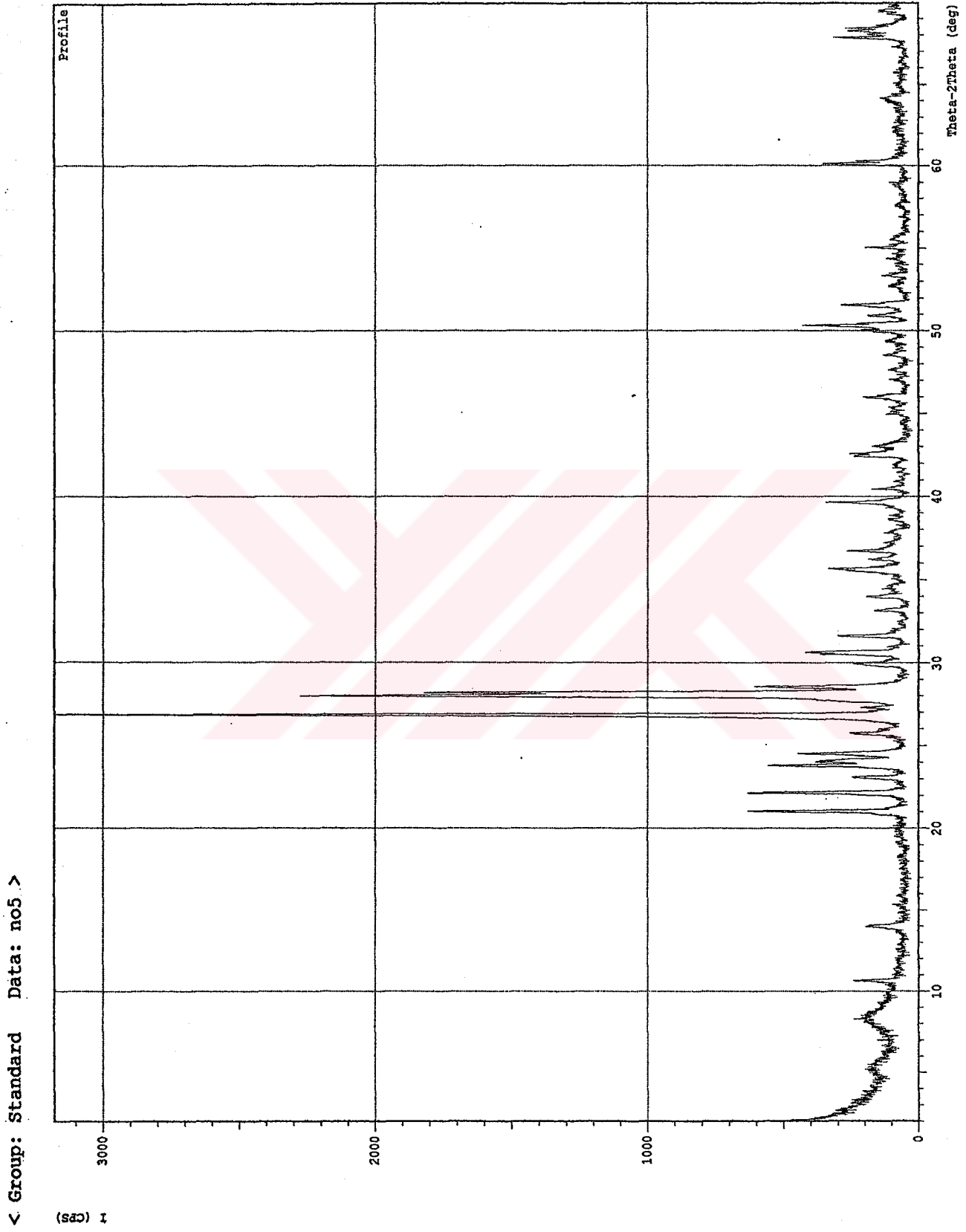
Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	13	26.7982	3.32409	100	0.12600	1386	9210
2	15	27.9738	3.18701	65	0.16530	899	7330
3	16	28.1600	3.16636	52	0.15140	725	5861

Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	10.6364	8.31078	4	0.14710	62	538
2	13.9960	6.32250	4	0.21600	55	740
3	21.0190	4.22317	17	0.14120	235	2046
4	22.1478	4.01041	18	0.13980	246	2153
5	23.0678	3.85251	6	0.15560	79	721
6	23.6400	3.76054	4	0.08800	50	298
7	23.7904	3.73710	15	0.12970	204	1264
8	24.0603	3.69579	9	0.25530	124	1593
9	24.3800	3.64804	5	0.11420	67	386
10	24.5000	3.63045	11	0.15740	149	1224
11	25.7072	3.46263	5	0.18560	71	943
12	26.6000	3.34841	11	0.13200	153	1681
13	26.7982	3.32409	100	0.12600	1386	9210
14	27.6600	3.22245	6	0.12580	77	1000
15	27.9738	3.18701	65	0.16530	899	7330
16	28.1600	3.16636	52	0.15140	725	5861
17	28.5206	3.12714	16	0.14460	226	2121
18	29.8930	2.98662	5	0.23260	73	962
19	30.4800	2.93043	8	0.11300	117	723
20	30.6200	2.91735	10	0.15120	141	1153
21	31.5875	2.83016	8	0.13900	108	947
22	33.1365	2.70132	4	0.14110	53	441
23	33.9577	2.63784	5	0.13080	66	609
24	35.5807	2.52115	7	0.23270	96	1362
25	36.2040	2.47916	4	0.12080	50	344
26	36.7073	2.44632	6	0.11540	90	634
27	39.6244	2.27269	10	0.13110	133	1313
28	40.4590	2.22771	3	0.12200	46	345
29	42.4348	2.12844	7	0.14370	99	670
30	42.6000	2.12057	5	0.15600	63	477
31	43.0190	2.10088	4	0.17400	49	683
32	45.9673	1.97276	5	0.15460	69	789
33	49.9961	1.82282	5	0.20370	67	769
34	50.2995	1.81253	13	0.14050	176	1288
35	50.8978	1.79262	5	0.14570	69	579
36	51.5426	1.77170	8	0.16190	111	1078
37	55.0376	1.66717	4	0.12240	62	398
38	60.1159	1.53791	11	0.13330	152	1257
39	67.8331	1.38050	10	0.13630	133	999
40	68.2389	1.37328	8	0.15790	107	832
41	68.4200	1.37009	3	0.10000	47	421

Şekil A.5: V. grup örneğin X-ray analiz grafiği



Tablo A.6: VI. grup örneğin X-ray analiz sonuçları

*** Basic Data Process ***

Group : Standard
Data : no6

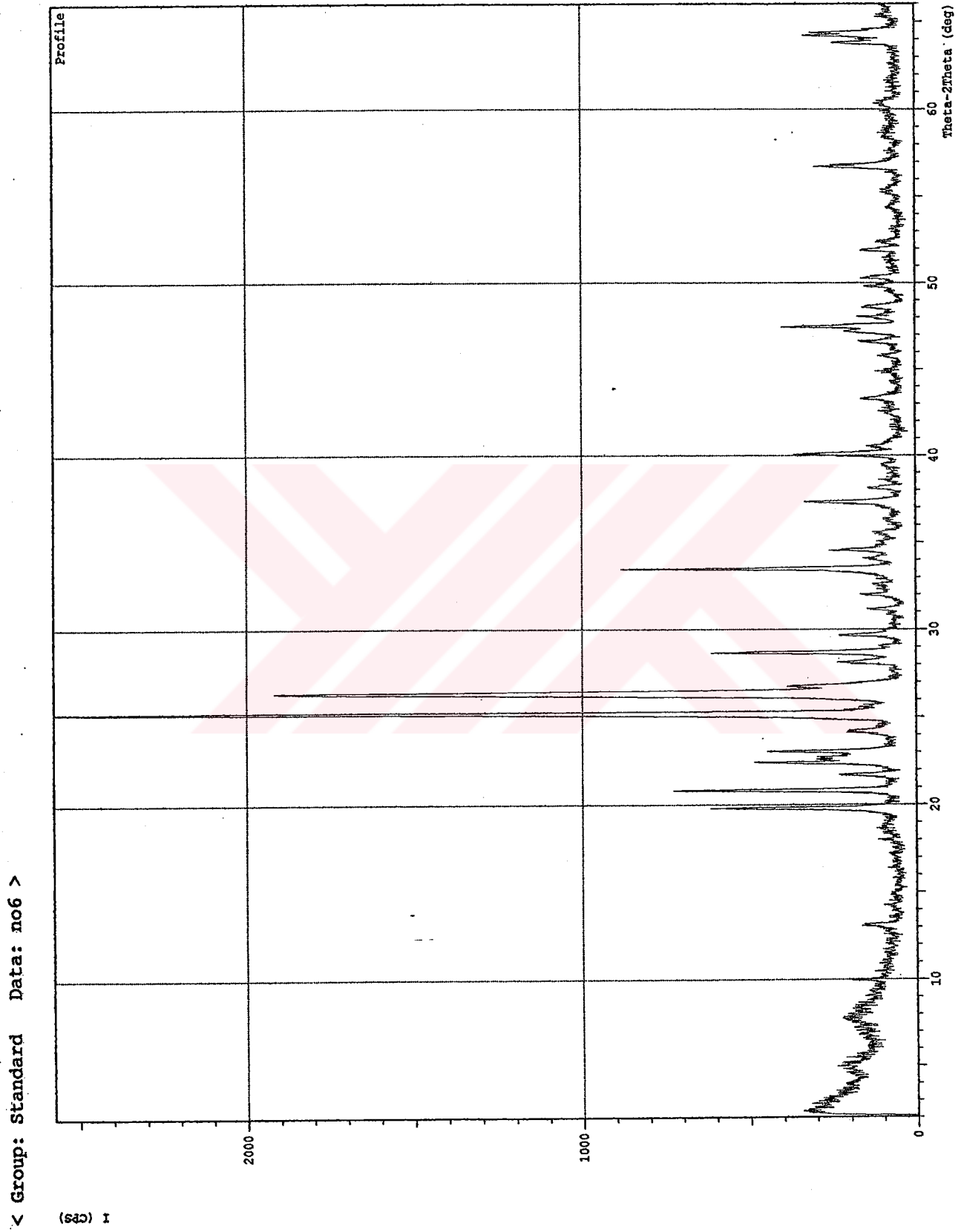
Strongest 3 peaks

no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	16	25.1722	3.53500	100	0.13870	1090
2	18	26.3065	3.38509	69	0.29580	752
3	26	33.4562	2.67623	35	0.11240	379

Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	2.3400					
2	2.6200					
3	2.8000					
4	3.0800					
5	3.2200					
6	13.0856	6.76026	3	0.22470	37	515
7	19.7764	4.48563	19	0.14860	210	1942
8	20.8078	4.26556	24	0.13430	264	2132
9	21.6877	4.09444	6	0.15370	61	577
10	22.3851	3.96843	15	0.14210	164	1660
11	22.5600	3.93806	8	0.00000	88	0
12	22.6800	3.91750	8	0.00000	83	0
13	23.0184	3.86066	14	0.13580	151	1727
14	24.1641	3.68015	5	0.19620	53	686
15	24.8400	3.58152	6	0.08880	63	753
16	25.1722	3.53500	100	0.13870	1090	9042
17	25.9200	3.43469	3	0.07340	33	212
18	26.3065	3.38509	69	0.29580	752	11212
19	26.7400	3.33119	12	0.21800	127	1674
20	26.9600	3.30451	4	0.10660	41	319
21	28.0868	3.17444	6	0.19080	67	813
22	28.6572	3.11254	22	0.13410	240	2076
23	29.6591	3.00964	8	0.12480	82	789
24	31.1170	2.87187	3	0.12600	38	358
25	31.9646	2.79763	4	0.12420	47	453
26	33.4562	2.67623	35	0.11240	379	2556
27	33.6206	2.66352	4	0.07070	44	172
28	34.5324	2.59525	6	0.15370	68	714
29	37.2764	2.41027	11	0.17650	117	1288
30	38.0826	2.36108	4	0.12970	41	314
31	40.0431	2.24988	11	0.20630	118	1513
32	43.2628	2.08961	4	0.16570	47	528
33	46.5552	1.94921	4	0.13580	43	307
34	47.1589	1.92565	6	0.23420	62	752
35	47.4283	1.91534	15	0.13090	162	1069
36	47.9736	1.89483	4	0.14730	43	399
37	48.5600	1.87332	4	0.20000	45	556
38	49.7820	1.83015	4	0.12400	48	354
39	50.2900	1.81285	4	0.14000	46	429
40	51.8984	1.76039	5	0.14150	53	442
41	56.6773	1.62277	11	0.17150	125	1404
42	63.7883	1.45793	9	0.15300	97	770
43	64.2200	1.44917	12	0.19240	132	1138
44	64.3800	1.44595	6	0.10860	63	476

Şekil A.6: VI. grup örneğin X-ray analiz grafiği



ÖZGEÇMİŞ

Ersin AREL, 1964 yılında Diyarbakır'da doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamlamıştır. 1982'de İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi'nde yüksek öğrenimine başlamıştır. Yüksek lisans tezini, yine aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü'nden, 1989 yılında Jeoloji Yük. Müh. olarak bitirmiştir.

1986 yılında Samtaş Abrasiv Sanayi'nde, 1987'de Data Su Sondajı Ltd. Şti.'nde ve 1988-1989 yılları arasında IGL-STFA J.V. (Kınalı-Sakarya Otoyolu)'nda arazi ve laboratuvar çalışmalarında bulunmuştur. 1990 yılında Sakarya Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı na Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. Halen bu görevi sürdürmektedir.