T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL ANADOLU YAKASINDAKİ KAYAÇLARIN İÇYAPI ÖZELLİKLERİ'NİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Buğra Can ÇOBANOĞLU

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından ....., ...nda ..... olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin ..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.
Bu tez, ... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında İstanbul Anadolu yakasındaki farklı türdeki kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri yenilme özellikleri ile birlikte değerlendirilmiş olup kayaların iç yapı özelliklerinin kaya davranışına etkileri değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasının yürütülmesi sırasındaki tüm aşamalarda bilgi ve tecrübesi ile içten yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL'e en derin şekilde teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında arazi ve örnekleme çalışmalarında yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Recep KARATAŞ'a, laboratuvar çalışmalarında bilgi ve tecrübelerini aktararak örnek hazırlama ve deneylerin yapılması sırasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Selman ER'e, karot örneklerinin hassas bir şekilde tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerini ve deformasyon ölçümlerinin yapılmasında laboratuvar alet ve ekipmanlarını kullanmamıza izin veren İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü – Zürih (ETH) Mühendislik Jeolojisi kürsüsünde görevli Prof. Dr. Simon Löw'e ve Dr. Florian Amann'a ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanında, mekanik deneylerde kullandığımız örnekler üzerinde yaptığımız mineralojik ve petrografik çalışmaların her aşamasında her türlü yardımı sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Namık AYSAL'a teşekkür ederim.

Eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi manevi her türlü desteği sağlayan aileme ve bu zor süreçte desteğini esirgemeyen eşim Jeoloji Mühendisi Filiz ÇOBANOĞLU'na da ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2019 Buğra Can ÇOBANOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **i**

İÇİNDEKİLER ..... **ii**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**

TABLO LİSTESİ ..... **viii**

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **ix**

ÖZET ..... **xi**

SUMMARY ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI 1

1.2. ÇALIŞMA ALANININ KONUMU VE COĞRAFİK ÖZELLİKLERİ 3

1.3. İKLİM VE BİTKİ ÖRTÜSÜ 4

1.4. ULAŞIM 4

2. GENEL KISIMLAR **5**

2.1. ÇALIŞMA ALANI İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5

2.2. ARAŞTIRMA KONUSU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 7

3. MALZEME VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ **12**

3.1. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI 12

3.2. ARAZİ ÇALIŞMALARI 12

3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI 20

3.3.1. Örnek Hazırlama 20

3.3.2. Petrografik ve Mineralojik İncelemeler 21

3.3.3. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar 22

3.3.4. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar 22

3.3.4.1. Dayanım ve deformasyon 25

3.3.4.2. Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri 26

3.3.4.3. Gevreklik indisleri 28

4.BULGULAR **33**

4.1. ÖRNEKLEME BÖLGELERİNİN GENEL JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ 33
4.1.1. Kurtköy Formasyonu 33
4.1.2. Tuzla Formasyonu 34
4.1.3. Gözdağ Formasyonu 34
4.1.4. Dolayoba Formasyonu 35
4.1.5. Garipçe Formasyonu 36
4.2. İNCELENEN KAYAÇLARIN İÇYAPI ÖZELLİKLERİ 37
4.2.1. Mineralojik Özellikler 37
4.2.2. Petrografik Özellikler 43
4.3. İNCELENEN KAYALARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE YÜK ALTINDA DAVRANIŞLARI 50
4.4. İNCELENEN KAYAÇLARIN YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI VE YENİLME ÖZELLİKLERİ 53
4.5. YAN KAYA DAYK İLİŞKİSİ 69
4.6. İÇYAPI ÖZELLİKLERİ VE DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 71
5. SONUÇLAR 75
KAYNAKLAR 77
ÖZGEÇMİŞ 84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. 1: İstanbul metropolitan alanında a) mevcut raylı sistemler b) planlanan ve proje aşamasında olan raylı sistemler (http://www.metro.istanbul). 2

Şekil 1. 2: Çevre gerilmesiz koşullarda, kayanın kırılma ve yenilme süreçlerinin gerilme - şekil değiştirme grafiğinde görünümü (Brace vd. 1966; Fairhurst ve Cook 1966; Bieniawski 1967; Scholz 1968, Hallbauer vd. 1973; Lajtai 1974; Tapponier ve Brace 1976'den değiştirilerek) 3

Şekil 3. 1: Çalışma alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası ve örnekleme bölgeleri (Ketin 1995'ten Özgül, 2011'den değiştirilerek) 13

Şekil 3. 2: Ataşehir bölgesi (dayk-1 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görüntü..... 15

Şekil 3. 3: Ataşehir bölgesi (dayk-2 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görüntü..... 15

Şekil 3. 4: Kadıköy bölgesi (dayk-3) örneklerinin alındığı tünel aynasının görünümü 16

Şekil 3. 5: Kartal bölgesi (YMK kodlu) örneklerinin alındığı kazı alanının görünümü 16

Şekil 3. 6: Ümraniye bölgesi (kireçtaşı-1 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görünüm 17

Şekil 3. 7: Ümraniye bölgesi (kireçtaşı-1 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görünüm 17

Şekil 3. 8: Ümraniye bölgesi (Karbonatlı killi-silttaşı) örneklerinin alındığı tünel aynasının görünümü 18

Şekil 3. 9: Kadıköy bölgesi (kireçtaşı-2 kodlu) örneklerinin alındığı kazı alanının görünümü 18

Şekil 3. 10: Kadıköy bölgesi(kireçtaşı-2 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görünüm 19

Şekil 3. 11: Şile bölgesi örneklerinin alındığı mostradan bir görünüm..... 19

Şekil 3. 12: Karotiyer ile alınan büyük karot örneklerinden a) tek eksenli sıkışma dayanımı ve brazilyan dolaylı çekme dayanımı testlerinde kullanılacak örneklerin hazırlanmasına ait şematik gösterim b) ince kesit ve öğütülmüş örnek hazırlanması için ayrılan kısımların şematik görünümü 21

Şekil 3. 13: Tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde kullanılan şekil değiştirme ölçümlü test düzeneği 23
Şekil 3. 14: Tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde şekil değiştirme ölçümü yapılmayan ve brazilyan çekme deneyinde kullanılan bilgisayar kontrollü deney aleti 24
Şekil 3. 15: Sonik hızların bulunmasında kullanılan Pundit Plus deney düzeneğine ait görüntü 25
Şekil 3. 16: Äspö Kolon Duraylılık Deneyinde açılan kuyuda meydana gelen kavlaklanma (Andersson, 2007) 27
Şekil 3. 17: σ_{ci}'ın tespitinde kullanılan gerilme-şekil değiştirme diyagramları a) Brace vd. (1966) tarafından önerilen yöntem b) Lajtai (1974) tarafından önerilen yöntem 28
Şekil 3. 18: 1.8m çaplı Äspö sütun dayanım deneyi sırasında meydana gelen kavlaklanmalar (Martin ve Christiansson, 2009) 31
Şekil 3. 19: Gevrek kaya ortamında süreksizlikten bağımsız olarak gelişen yenilme (Kaiser 2010) 32

Şekil 4. 1: Kurtköy formasyonunun İstanbul il sınırlarındaki yayılımı (Özgül 2011' den alınmıştır) 33
Şekil 4. 2: Tuzla formasyonunun İstanbul il sınırlarındaki yayılımı (Özgül 2011' den alınmıştır) 34
Şekil 4. 3: Gözdağ formasyonunun İstanbul il sınırlarındaki yayılımı (Özgül 2011' den alınmıştır) 35
Şekil 4. 4: Dolayoba formasyonun İstanbul il sınırları içindeki dağılımı (Önalan, 1982, Özgül, 2011'den değiştirilerek) 36
Şekil 4. 5: Garipçe formasyonunun İstanbul il sınırlarındaki yayılımı (Özgül 2011'den alınmıştır) 37
Şekil 4. 6: Dayk-1 kodlu örneğe ait XRD grafiği 38
Şekil 4. 7: Dayk-2 kodlu örneğe ait XRD grafiği 38
Şekil 4. 8: Dayk-3 kodlu örneğe ait XRD grafiği 39
Şekil 4. 9: Şile-1 kodlu örneğe ait XRD grafiği 39
Şekil 4. 10: Şile-2 kodlu örneğe ait XRD grafiği 40
Şekil 4. 11: Şile-3 kodlu örneğe ait XRD grafiği 40
Şekil 4. 12: YMK kodlu örneğe ait XRD grafiği 41
Şekil 4. 13: Ihlamurkuyu örneğine ait XRD grafiği 41
Şekil 4. 14: Necip Fazıl örneğine ait XRD grafiği 42
Şekil 4. 15: Dayk 1 kodlu lamprofir daykın mikroskop altındaki görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü 43
Şekil 4. 16: Dayk 2 kodlu lamprofir daykın mikroskop altındaki görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü 44

Şekil 4. 17: Dayk 3 kodlu lamprofir daykın mikroskop altındaki görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü 44
Şekil 4. 18: Şile 1 kodlu örneğin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü..... 45
Şekil 4. 19: Şile 3 kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü 45
Şekil 4. 20: Şile 2 kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü 46
Şekil 4. 21: YMK kodlu örneğin mikroskop altındaki görüntüsü..... 47
Şekil 4. 22: Ihlamurkuyu kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü 47
Şekil 4. 23: Necip Fazıl kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü 48
Şekil 4. 24: Çekmeköy bölgesi kumtaşlarının genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü..... 48
Şekil 4. 25: Çekmeköy bölgesi kumtaşlarının genel görünümü içinde sparti damarın görünümü a) tek nikolde görüntü b) çift nikolde görüntü..... 49
Şekil 4. 26: Kireçtaşı 1 kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü 49
Şekil 4. 27: Kireçtaşı 1 kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü 50
Şekil 4. 28: Dayk 1 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 54
Şekil 4. 29: Dayk 2 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 54
Şekil 4. 30: Dayk 3 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 55
Şekil 4. 31: Bazalt 1 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 55
Şekil 4. 32: Bazalt 2 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 56
Şekil 4. 33: Bazalt 3 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 56
Şekil 4. 34: Kartal bölgesi YMK örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 57
Şekil 4. 35: Ümraniye Çakmak bölgesi örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 57
Şekil 4. 36: Ümraniye Necip Fazıl bölgesi örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri 58
Şekil 4. 37: Çekmeköy Bölgesi (Kumtaşı) 58
Şekil 4. 38: Ümraniye bölgesi (Kireçtaşı 1)..... 59
Şekil 4. 39: Kadıköy bölgesi (Kireçtaşı 2)..... 59
Şekil 4. 40: Dayk 1 kodlu örnekler için tipik gerilme – şekil değiştirme grafiği..... 60

Şekil 4. 41: Dayk 2 kodlu örnekler için tipik gerilme – şekil değiştirme grafiği..... 60
Şekil 4. 42: Şile 1 kodlu örnekler için tipik gerilme – şekil değiştirme grafiği..... 61
Şekil 4. 43: YMK kodlu örnekler için tipik gerilme – şekil değiştirme grafiği..... 61
Şekil 4. 44: Çakmak bölgesi örneklerine ait tipik gerilme şekil - değiştirme grafiği..... 62
Şekil 4. 45: Kireçtaşı 1 kodlu örneklere ait tipik gerilme - şekil değiştirme grafiği..... 62
Şekil 4. 46: Lamprofir dayklar için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 64
Şekil 4. 47: Andezit dayklar için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 64
Şekil 4. 48: Şile bölgesi mikrogranodiyoritleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 65
Şekil 4. 49: Şile bölgesi mikrogranodiyoritleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 65
Şekil 4. 50: Tüm mikrogranodiyoritleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 66
Şekil 4. 51: Tüm magmatik kayaçlar için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 66
Şekil 4. 52: Kireçtaşı 1 kodlu örnekler için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 67
Şekil 4. 53: Kireçtaşı 2 kodlu örnekler için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 67
Şekil 4. 54: Tüm sedimenter kayaç örnekleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 68
Şekil 4. 55: Tüm kayaç örnekleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki..... 68
Şekil 4. 56: YMK örneğinin el örneğinde iç yapının görüntüsü. Pirit fenokristalleri oldukça belirgindir..... 69
Şekil 4. 57: Andezit dayk ve yankayacı olan kumtaşlarının düşey yük altındaki davranış farklarının gösterimi..... 70
Şekil 4. 58: Lamprofir dayk ve yankayacı olan yumrulu kireçtaşlarının düşey yük altındaki davranış farklarının gösterimi..... 70
Şekil 4. 59: Kireçtaşı örneklerinde, uygulanan tek eksenli yüke bağlı gelişen kırıkların (mavi parlak çizgi) dolomitçe zengin bir damara geldiğinde dolomit dilinimlerine paralel bir şekilde ilerlemesi (Ündül vd. 2016'dan değiştirilerek)..... 71
Şekil 4. 60: Tek eksenli gerilmeler altında gelişen kırığın (mavi parlak çizgi) bir kavkı boyunca değişen yönelimi (Ündül vd. 2016'dan değiştirilerek)..... 72
Şekil 4. 61: Eksenel düşey gerilme altında kireçtaşlarında gelişen kırığın (mavi parlak çizgi) grafitli seviye boyunca yön değiştirmesi(Ündül vd. 2016'dan değiştirilerek)..... 72
Şekil 4. 62: Kumtaşlarında tane sınırlarını takip eden kırık gelişimi..... 73

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3. 1: Örnek yerlerine ait koordinatlar, kayaç türü, örneğin ait olduğu formasyon bilgileri ve örnekleme yerinin durumunu 13

Tablo 3. 2: Diederichs (2007) tarafından gevreklik ve kaya kütle sınıflamalarından Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) arasındaki ilişkiye ait genelleştirilmiş sınıflama 30

Tablo 4. 2: XRD çalışmalarında elde edilen mineral bollukları 42

Tablo 4. 3: İncelenen dayklar ve diğer magmatik kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri .. 51

Tablo 4. 4: İncelenen sedimanter kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri 52

Tablo 4. 5: Çalışılan tüm kayaç örneklerinin çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki orantılar 69

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
km - m - cm - mm	: Kilometre - Metre - Santimetre - Milimetre
kg	: Kilogram
lt/sn	: litre/ Saniye
Gpa - MPa	: Gigapascal - Megapascal
Is	: Nokta Yük İndisi
σ_c	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
D – L	: Çap - Uzunluk
t	: Kalınlık
kN	: Kilonewton
s - dk - sn	: Saat – Dakika – Saniye
F	: Örneğin Yenilmesi Anında Uygulanan Yük
$\varepsilon_{eksenel}$	: Eksenel Şekil Değiştirme
$\varepsilon_{çapsal}$	: Çapsal Şekil Değiştirme
ε_{hacim}	: Hacimsel Şekil Değiştirme
σ_t	: Brazilyan Çekme Dayanımı
$\sigma_{cı}$	: Tek Eksenli Deneylerde Çatlaklanma Başlangıcı Gerilme Seviyesi
σ_c	: Tek Eksenli Deneylerde Sıkışma Dayanımı
σ_t	: Tek Eksenli Deneylerde Çekme Dayanımı
T	: Çekme Gerilmesi
V_p	: P-Dalga Hızı
E	: Elastisite Modülü
BTS	: Brazilyan Çekme Dayanımı

n_{eff} : Etkin Porozite

υ : Poisson Oranı

Kısaltmalar **Açıklama**

ISRM : International Society for Rock Mechanics

XRD : X Işını Kırınımı

ETH : İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü

GSI : Jeolojik Dayanım İndeksi

NATM : Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi

TBM : Tünel Açma Makinesi

KA : Kavlaklanma Analizi

YMK : Yakacık Magmatik Kompleksi

KÇT : Kireçtaşı

Ol : Olivin

Px : Piroksen

Pl : Plajioklas

Cu : Bakır

vb – vd : ve benzeri – ve diğerleri

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL ANADOLU YAKASINDAKİ KAYAÇLARIN İÇYAPI ÖZELLİKLERİ'NİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Buğra Can ÇOBANOĞLU

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL

Laboratuvar ağırlıklı bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Araştırmada, İstanbul Anadolu yakasındaki farklı lokasyonlardan kayaç örnekleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bilindiği gibi İstanbul'da 1900'lü yılların sonundan itibaren yoğun bir yapılaşma söz konusudur. Altyapı ve üstyapı çalışmalarını kapsayan bu inşaat faaliyetleri İstanbul'un çeşitli jeolojik özelliklerinden etkilenmektedir. İnşaat faaliyetleri sırasında İstanbul'un jeolojisinde önemli bir yer tutan kaya birimleri sık sık temel ve/veya malzeme olarak kullanılmaktadır. Ancak söz konusu bu kayaların yük altındaki davranışları ile içyapı özelliklerine bağlı yenilmelerini kapsayan çalışmalar bilimsel literatürde oldukça sınırlıdır. Bunun yanında bölgede sıkça rastlanan dayklar ve diğer magmatik kayaçlar ile yan kayalarının dayanım ve deformasyon özelliklerindeki farklılıkları içeren çalışmalar çok sınırlıdır. Bu nedenle, bu tez çalışması kapsamında İstanbul'un Anadolu yakasındaki farklı formasyonların belirli seviyelerinden ve bunları kesen dayklardan ve diğer magmatik kayaçlardan örnekler derlenmiştir. Örnekler derin kazılardan, yeraltı kazılarından, sığ temel kazılarından,

tünellerden ve sondajlardan elde edilmiştir. Elde edilen örneklerin içyapı özellikleri mineralojik ve petrografik araştırmalar ile ortaya konmuş ardından aynı örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca örneklerin yük altındaki davranışları da incelenmiştir. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik deneyler ile elde edilen veriler mensubu olduğu formasyonun tümünü temsil edecek nitelikte olmadığı gerçektir. Ancak çalışmada kullanılan taşların iç yapı özellikleri ve ayrışma durumları ile alındıkları derinlikler gözetildiğinde bundan sonra yapılacak çalışmalarda ilk değerlendirmeler için önemli bir veri tabanı sunacağı aşikardır. Bu yönüyle bu çalışmada sunulan sonuçlar araştırmacılara ve uygulayıcılara ilk değerlendirme için önemli ön bilgiler sunmaktadır.

Temmuz 2019, 93 sayfa.

Anahtar kelimeler: Dayk, İstanbul, kumtaşı, kireçtaşı, mekanik özellikler

SUMMARY

M.Sc. THESIS

THE EFFECT OF MICROSTRUCTURAL PROPERTIES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE ROCK FROM ANATOLIAN SIDE OF ISTANBUL

Buğra Can ÇOBANOĞLU

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ömer ÜNDÜL

This laboratory based study was conducted as a Master Thesis in İstanbul University-Cerrahpaşa, Graduate Education Institute. In this research, studies on rock samples compiled from different localities in the Anatolian side of İstanbul. As generally known, the dense construction facilities incerased in İstanbul since late 1900's. These construction facilities which covers infrastructural and superstructures were effected by geological conditions. Rock units being an important member in the geology of İstanbul are used as foundation and/or construction material. But the studies related with the failure mechanisms of these rocks and micro-textural properties under loads are very limited. Besides, studies investigating the strength and deformation contrasts of dikes, other magmatic rocks (which are very common in the study area) and the host rocks for the region are also very limited. For these reasons in this research, sedimentary rock samples were gathered from different formations, with dikes and other magmatic rocks. Samples were obtained from deep excavations, subsurface excavations,

shallow excavations, tunnels and boreholes. The microtextural properties of rocks samples were determined by mineralogical and petrographic studies before physical and mechanical tests on the same sample groups. Furthermore, the deformation characteristiks of rock samples under loads were investigated. It is obvious that the data obtained from this study can not be valid for the enite formations of each sampling region. But the micro-textural properteis and weathering characteristics with depth of samples provide very useful data for preliminary investigations for both the researchers and engineers.

July 2019, 93 pages.

Keywords: Dike, İstanbul, sandstone, limestone, mechanical properties

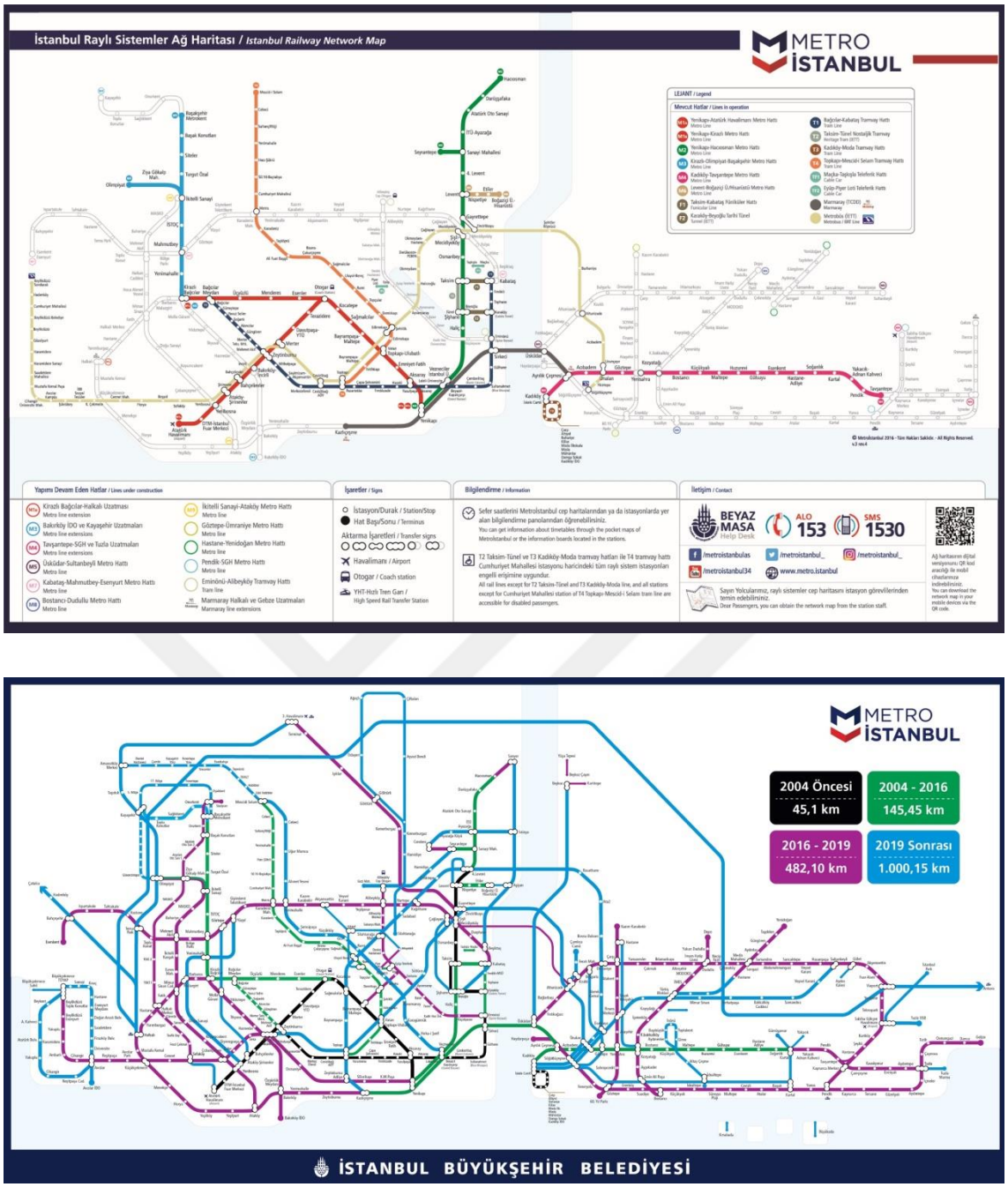
1. GİRİŞ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan laboratuvar ağırlıklı bu çalışmada, İstanbul Anadolu yakasındaki farklı lokasyonlardan kayaç örnekleri derlenmiştir. Örneklerin alındıkları bölgelere ait özellikler aşağıda tanıtılmıştır.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

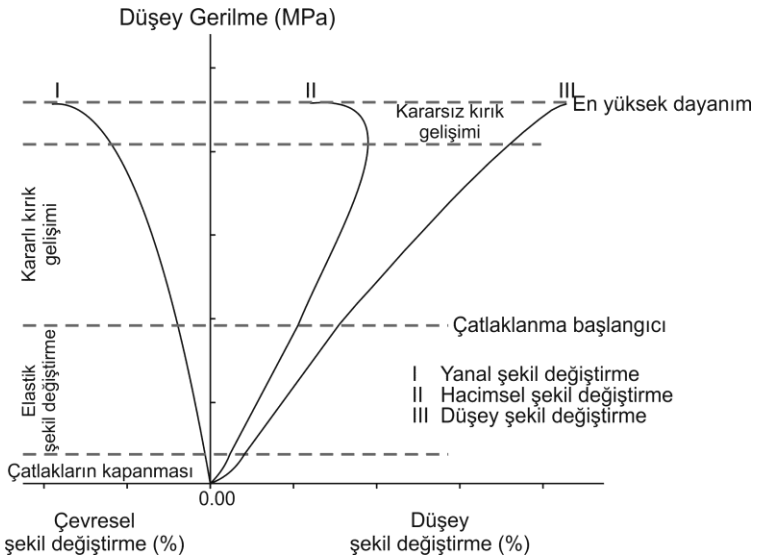
İstanbul ilinde sürekli artan nüfusa bağlı olarak farklı tür ve boyutlarda mühendislik yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapımı halen devam etmekte olan çalışmalar ile proje aşamasında olan pek çok mühendislik yapısı kaya ortamları üzerinde veya içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1.1). Şekil 1.1'de İstanbul metropolitan alanında yapılmakta olan ve yakın gelecekte yapılması planlanan metro, tünel ve benzeri çalışmaların bir kısmı görülmektedir. Bunun yanında yapımı tamamlanan Avrasya tüneli ile 3. Köprü ve yapımları devam eden 3. Köprü bağlantı yolları ve pek çok diğer mühendislik yapıları da yapım ve planlama aşamasındadır.

İstanbul'un jeolojik yapısı incelendiğinde, farklı kaya türleri ve bu kaya türlerinin de değişik fasiyeslerinin olduğu bilinmektedir (Önalan 1982; Özgül 2005). Mühendislik yapıları kaya ortamları üzerinde veya içerisinde inşa edildiğinden, kaya ortamının gerilmeler altındaki davranışlarının bilinmesi maliyet ve güvenlik anlamında belirsizliklerin ortadan kaldırılmasına olanak sağlayacaktır. Tüm bunların yanında birkaç on yıldır İstanbul'da daha derin ve daha büyük kazılar yapılmaktadır. Bu bağlamda, mühendislik yapılarının inşa edileceği alanlardaki kaya ortamlarındaki farklılıklar, kayanın; fiziksel, mekanik ve içyapı özelliklerini daha ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 1. 1: İstanbul metropolitan alanında a) mevcut raylı sistemler b) planlanan ve proje aşamasında olan raylı sistemler (http://www.metro.istanbul).

Kayaların yük altındaki davranışları çatlakların kapanması, çatlaklanma başlangıcı gelişimi ve bu çatlakların kritik seviyeye gelip artan yükler ile birleşmesi ve kayanın yenilmesi şeklinde açıklanmaktadır (Brace vd. 1966, Hallbauer vd. 1973; Scholz 1968; Martin ve Chandler 1994; Nicksiar ve Martin, 2013) (Şekil 1.2).



Şekil 1. 2: Çevre gerilmesiz koşullarda, kayanın kırılma ve yenilme süreçlerinin gerilme - şekil değiştirme grafiğinde görünümü (Brace vd. 1966; Fairhurst ve Cook 1966; Bieniawski 1967; Scholz 1968, Hallbauer vd. 1973; Lajtai 1974; Tapponier ve Brace 1976'den değiştirilerek)

Bu tez çalışmasında, İstanbul Anadolu yakasının farklı bölgelerinden sedimanter ve magmatik kaya örnekleri derlenmiştir. Elde edilen kaya örneklerinin, mineralojik, petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda bölgedeki sedimanter ve magmatik kökenli kayaların tek eksenli yükler altındaki dayanımlarının, elastik özellikerinin (Young modülü ve poisson oranı), ve gevreklik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen verilerin içyapıyı oluşturan mineralojik ve petrografik özellikler ile ilişkilendirilmesine çalışılmıştır. Bunun yanında özellikle daykların ve yan kayaçların dayanım ve deformasyon özelliklerindeki değişimler ortaya konmaya çalışılmıştır.

1.2. ÇALIŞMA ALANININ KONUMU VE COĞRAFİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanı İstanbul ili Anadolu yakasında bulunan Ümraniye, Üsküdar, Kadıköy, Şile, Kartal ve Pendik ilçelerini ve yakın çevresini kapsamaktadır.

1.3. İKLİM VE BİTKİ ÖRTÜSÜ

Çalışma alanının bulunduğu bölge iklim yönünden Marmara Bölgesi'nin karakteristik ılıman havası ile Balkanlar'dan gelen soğuk hava etkisi altında kalmaktadır. Yazları sıcak ve kurak, ilkbahar, sonbahar ve kış ayları ise genelde yağmurlu geçer. Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 15^0C' dir. Yıllık ortalama yağış miktarı metrekare başına 650-700 kg'dır. Bölgede ortalama bağıl nem %75' tir.

1.4. ULAŞIM

Üsküdar, Kadıköy, Ümraniye, Pendik ve Kartal ilçelerine ulaşım son derece kolaydır. D-100 Karayolu, çevreyolu ve raylı ulaşım sistemleri bölgenin her noktasına ulaşımı kolay kılmaktadır. Çevreyolu ise Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve Şile otobanına bağlantı sağlamaktadır.

Çalışma alanının tamamına yaz-kış ulaşım mümkün olup kırsal kesimlerde yağışlı mevsimlerde çalışmakta güçlük çekilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

İstanbul Anadolu yakasındaki kayaların oluşumları pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ayrıca bu kayaların farklı mühendislik özelliklerinin değerlendirildiği farklı boyutlarda araştırmalar da yapılmıştır. Bu bölümde, çalışma alanının jeolojik özellikleri ile ilgli daha önce yapılmış araştırmalardan örnekler ile bu tez kapsamında araştırılan mühendislik özellikleri ile ilgili önceki çalışmalara yer verilmiştir.

2.1. ÇALIŞMA ALANI İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında araştırılan İstanbul Anadolu yakasının, jeolojik özelliklerinin tanımlandığı çalışmalara ait bilgilere kısaca aşağıda değinilmiştir.

Tchihatcheff (1867), İstanbul bölgesindeki ilk çalışmaları yapan araştırmacılardandır. Araştırmacı, Gebze'nin doğusundaki Kretase birimler ile Devoniyen – Triyas birimlerin ilişkileri üzerine yorumlarda bulunmuştur. Trakya Formasyonu olarak bilinen birimi ilk olarak Devoniyen yaşlı Trakya serisi olarak adlandırmıştır.

Penck (1919), İzmit Körfezi kuzeyi ve güneyinin jeomorfolojik evrimini araştırmış ve bölgedeki kuvarsarenitlerin, diskordansla fosil kapsayan Devoniyen yaşlı grovak ve şistlerin üzerinde durduğunu söylemiştir. "Kieselschiefer Horizona" adı altında "Thrazicshe Serie" olarak isimlendirdiği Trakya formasyonunun, Boğaziçi ve Pendik'te görülen fosilli seviyelerin karşılığı olduğunu ifade etmiştir.

Erentöz (1949), şist, grovak ve kireçtaşından oluşan Trakya serisininin yaşını Orta-Üst Devoniyen olarak tanımlamıştır. Devoniyen yaşı verdiği birimler içerisindeki andezit dayklarının Kretase yaşlı olduğunu belirtmiştir.

Ketin (1958), Çamlıca tepelerinde yaptığı çalışmada, bölgedeki en yaşlı birimlerin arkozlar ve grovakşistler olduğunu ve bu birimler üzerine kuvarsitlerin geldiğini ifade ederek bu birimileri Üst Silüriyen'e dahil etmiştir.

Akartuna (1963), İstanbul Boğazı'nın iki yakasında yaptığı incelemelerde şariyajın varlığından bahsetmiş ve bu şariyajın Boğaz'ın kuzey yakasındaki devamını araştırmıştır. Söz konusu şariyaj için İpresiyen ile Lutesiyen yaş aralığını vermiştir.

Abdüsselamoğlu (1963), İstanbul' un doğu kesimlerindeki Paleozoyik birimlere dair önemli stratigrafik ve paleontolojik yenilikler getirmiştir. Kuvarsit, grovak ve feldispatik kuvarsitin Silüriyen yaşlı olduğunu, Halysites'li kireçtaşlarının Silüriyen ve Devoniyen sınırında olduğunu ve bol fosil içerikli Alt Devoniyen biriminin görüldüğünü söylemiştir.

Önalan (1981), Kurtköy ve Aydos formasyonlarını incelemiştir. Yayalar formasyonunu "Gözdağ ve Aydınlı formasyonu" olmak üzere iki farklı formasyona ayırmıştır. Pelitli formasyonunu daha detaylı olarak Dolayoba, Sedefadası, İstinye ve Kaynarca formasyonları başlıkları altında incelemiştir.

Önalan (1982), İstanbul'da Paleozoyik yaşlı birimler arasında uyumsuzluğun olmadığını söyleyen ilk araştırmacıdır. Birimlerin transgresif bir seri oluşturduğunu belirtmiş ve bölgedeki çökel istifi detaylı araştırarak birimlerin çökelme ortamlarını belirtmiştir.

Özgörüş (2003), İstanbul'un çeşitli bölgelerinden elde edilen daykların konumlarını ve özelliklerini kullanarak Batı Karadeniz'in açılması sırasındaki gerilme rejimin ortaya koymaya çalışmıştır. Çalışma sırasında pekçok farklı dayk tipi hakkında mineralojik ve petrografik bulgular sunmuştur.

Özgül (2011), İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından, İstanbul kent alanının planlanması, olası depremde jeolojik faktörlerin bilinmesi ve önlemlerin alınması amacıyla başlatılan projenin bir parçası olarak gerçekleştirilen çalışmada yazarın dışında pek çok çalışmacı görev almıştır. Çalışma sırasında İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakasındaki litostratigrafik birimleri ayırtlanmış ve el verdiği ölçüde detaylı ve faydalı bir jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Fatih Şen (2012), İstanbul Kadıköy - Kartal hattında yaptığı çalışmada, İstanbul Paleozoyik istifini kesen daykların minerolojik petrografik, jeokimyasal olarak incelenmesiyle birlikte bu kayaların tektonik ortamlarını belirlemeye çalışmıştır. Farklı kökenli ve konumlu pekçok dayk tipi hakkında mineralojik ve petrografik bulguları oldukça kullanışlı görsel ifadeler ile birlikte sunmuştur.

Aysal ve diğ., (2017), İstanbul zonundaki mafik ve ortaç bileşimli dayklar üzerinde U-Pb zirkon yaşlandırma, iz element, mineral kimyası ve Sr-Nd analizleri gerçekleştirmişlerdir. Mafik daykların kalk-alkalinden alkali lamprofir ve diyabaz bileşimde olduğu, ortam daykların ise andezitik ve dasit bileşiminde olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca bazı sığ derinlik kayalarınında granodiyoritik ve diyoritik bileşimde olduğu ortaya konmuşlardır. Yeni yaşlandırma verilerine göre ortaç bileşimdeki daykların 72.49±0.79 (Üst Kretase -

Kampaniyen) ile 65.44±0.93 Ma (Alt Paleosen - Daniyen) yaş aralığında, sığ magmatiklerin ise 58.9±1.8 Ma (Üst Paleosen) olduğunu belirtmişlerdir.

2.2. ARAŞTIRMA KONUSU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında tez konus ile ilgili yapılan çalışmalara benzer olarak literatürde daha önce yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Brace vd. (1966), granit, mermer ve aplit üzerinde 8kb çevre gerilmesi altında üç eksenli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda gerilme - şekil değiştirme özellikleri araştırılmıştır. Elastik davranış sonrası kırık gelişiminin hacimsel değişim grafiğinden tespit edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Lajtai (1974), çalışmasında sıkışma altında mikroçatlakların başlamasını, gelişmesini ve bunların kayanın yenilmesine etkilerini tartışmıştır. Gerilme şekil değiştirme diyagramında yanal yönde yenilmenin başladığı noktanın mikroçatlakların başladığı nokta olarak ifade edilebileceğini belirtmiştir.

Martin (1997), süreksizliklerin az olduğu kaya ortamlarında, mekanik etkilere bağlı gerilme koşulları altında, süreksizliklerden bağımsız olarak kayada çatlak gelişmesi ve laboratuvarda belirlenen en yüksek dayanım değerinin altındaki gerilme seviyelerinde kayanın sorun çıkartabileceğini belirtmiştir.

Hajiabdoulmajid ve Kaiser (2003), gevrekliğin zamana ve boyuta bağlı olduğununun altını çizdiği çalışmasında, özellikle yeraltı kazılarında dayanımı değiştiren önemli bir unsur olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca gevrekliğin, kısa ve uzun dönemdeki sökülmelerin şekli ve derinliği buna bağlı olarak ta destek sisteminin çözümünde önemli bir kaya parametresi olduğunu belirtmişlerdir.

Lee vd. (2004), Kore'de su tüneli amacıyla yapılan ve TBM ile açılan tünelde meydana gelen kaya patlamaları, kaya gevrekliği ve tek eksenli sıkışma dayanımlarının birlikte değerlendirilmesi ile yorumlanmıştır. Çalışmada, belirli derinlikte ki tünellerde kaya patlama olaylarının gevreklik, kaya kütle özellikleri ve dayanım parameterlerinin birlikte değerlendirlimesi ile yorumlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Hudyma vd. (2004), Amerika Nevada'da ki bazı tüfler ile ilgili yaptıkları çalışmada, tüflerdeki makroporozitenin dayanım, deformasyon ve kırılma şekillerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Ayrıca yapay olarak ürettikleri kaya benzeri ve boşluk oranları bilinen silindirik malzemede de makroporozitenin deformasyon ve yenilme şekillerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonunda, boşluk oranının artışına göre kavlaklanma (spalling), eksenel kırıklar, makaslama kırıkları ve ağsı kırıkların geliştiği gözlenmiştir. Ağsı kırıkların oluştuğu en yüksek makro poroziteye sahip örneklerde örneğin dağılmadığı, örnek içindeki boşlukların etkisi ile kırıkların geliştiği ve örneğin dağılmadan yenildiği ifade edilmiştir.

Tercan vd. (2005), yaptıkları çalışmada, kumtaşlarının mekanik, indeks ve petrografik özellikler arasındaki ilişkileri eşlenik ilişki analizi yöntemi ile incelemiş ve bu yöntem ile P dalga hızının kumtaşları üzerinde önemli bir faktör olduğunu ifade etmiştir.

Diederichs (2007), derin yeraltı kazılarında deformasyonun ve kavlanlanma türü yenilmelerin önceden kestirilmesi üzerine yapılan çalışmada, farklı madencilik faaliyetleri, derin tünelclik ve şaftlarda meydana gelen kaya patlamaları ve kavlaklanmaların önemi tartışılmıştır. Ayrıca tek eksenli sıkışma testlerinden elde edilen verilerin çekme dayanımı ile kaya kütlesi özellikleri bir arada nasıl değerlendirilebileceği üzerine tartışma başlatılmıştır. Ayrıca kayaların uzun dönem davranışlarının öngörülebilmesi için teknikler sunulmuştur.

Szwedzicki (2007), kayaların tek eksenli yükler altındaki yenilme şekillerini makro boyutta tanımlayarak tek eksenli sıkışma deneylerinde yenilen kaya örneklerinin yenilme şekillerini değerlendirmiş ve bunları sınıflandırmıştır. Kaya yenilme şeklinin kayanın dayanımı ve kaya içindeki gerilme dağılımı hakkında bilgi vereceğini belirtmiş olup çalışmasında, en yüksek dayanım değerlerinin, çoklu kırıklanma (multiple fracturing) ile sonuçlandığını, daha düşük gerilmelerin sırasıyla çok sayıdaki düzlemli makaslama yenilme şeklinde ve tek düzlemli makaslama yenilmesi şeklinde geliştiğini ifade etmiştir.

Martin ve Christiansson (2009), yaptıkları çalışmada silindirik kaya örneği üzerinde yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde elde edilen çatlaklanma başlangıcı değerinin, kaya kütlesinin kavlaklanması, kopması, düşmesi vb davranışları için alt limit olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. Böylelikle tek eksenli sıkışma dayanımında bulunacak çatlaklanma başlangıcı değerinin önemini vurgulamışlardır.

Andersson ve Martin (2009), Äspö Kolon Duraylılık Deneyi (Äspö Pillar Stability Experiment) çalışmaları kapsamında açılan düşey kuyularda meydana gelen kavlaklanmaların

hangi gerilme koşullarında meydana geldiğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda, açılan kuyu içinde oluşan kavlaklanmalar esnasında yerinde gerilmeler (in-situ) ölçülmüştür. Yerinde ölçülen bu gerilmelerin kaya örneğinin laboratuvarda ölçülen tek eksenli sıkışma dayanımlarının % 59'u seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca aynı kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı deneyinde elde edilen çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerininde yine tek eksenli sıkışma dayanımlarının %45'i seviyelerinde olduğunu bulmuşlardır. Böylece pek çok sonucun değerlendirildiği çalışmada, masiften orta çatlaklı kayalara kadar olan kaya kütlelerinde, laboratuvarda elde edilen çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin kaya kütlesinin yerindeki dayanımınn alt limiti olabileceğini ortaya koymuşlardır

Heidari vd. (2012), araştırmalarında, kuvars içeriği yüksek olan kumtaşlarının mühendislik özellikleri ile petrografik karakteristikleri arasındaki ilişkiyi lineer regresyon ve korelasyon analizi kullanılarak belirlemeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda kuvars içeriği yüksek kumtaşlarında mineral birlikteliği ve yoğunluğu ile dayanıklılık, porozite ya da tanjant modülü arasında hiçbir ilişki bulamamıştır.

Gupta ve Sharma (2012), kuvarsitlerde dokusal, petro-fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi saptamaya çalışmışlardır. Çalışmada, doku katsayısı, tane şekli ve derecelenmesi ve matriks oranı ön planda tutulmuş ve bunlar P-S dalga hızlarıyla ve tek eksenli basınç dayanımı ile korole edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, dalga hızlarının doku parametreleri için önemli bir fonksiyon olduğu ve tanenin büyüklüğü ve şekli arttıkça dalga hızlarınında arttığı saptanmıştır. Ancak doku katsayısı artıkça P-S dalga hızlarının azaldığı ama tek eksenli basınç dayanımının arttığını ortaya koymuşlardır.

Heidari vd. (2013), gevrek kayalarda porozitenin etkisini araştırmışlardır. Araştırmaya konu olan kayaçlar (jips, kumtaşı, traverten, mermer, monzogranit, tüf ve hornfels) üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deney verilerinin sonucuna göre tek eksenli sıkışma dayanımı arttıkça gevreklik indeksinin de arttığını ancak gevreklik indeksi ile porozite arasında herhangi bir korelasyon oluşmadığını saptamıştır.

Basu vd. (2013), çalışmalarında, kayaların tek eksenli sıkışma testleri, brazilyan çekme dayanımı testleri ve nokta yük testleri sırasında oluşan yenilme şekillerini incelemişlerdir. Araştırmacılar yük arttıkça granit ve kumtaşı örneklerinde yenilme şekillerinin eksenel ayrılmadan tek doğrultuda makaslamaya doğru geliştiğini şist örneklerinde ise yenilmelerin foliasyon düzlemleri boyunca gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca şist örneklerinde

foliasyonun nispeten daha az belirgin olduğu durumlarda eksenel kırılma ve makaslama şeklinde yenilmelerin görüldüğünü ifade etmişlerdir.

Meng vd. (2014), kayaların gevrek davranışlarının önemi belirtilen bu araştırmada, kayaların gevreklik değerlerinin belirlenmesi için önceki araştırmacılar tarafından önerilmiş olan yöntemler değerlendirilmiştir. Ayrıca gevrekliğin bulunabilmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde, tek eksenli sıkışma deneyinin yenilme sonrasında da devam ettirilerek yenilme sonrası davranışın gerilme-şekil değiştirme diyagramında gösterilmesi ve buradan elde edilen bağıntılar ile gevrekliğin tanımlanabileceği bir yöntem önermişlerdir.

Amann ve diğ., (2014), İsviçre'nin kuzeyinde bulunan Belchen tünellerindeki sülfatça zengin killi kayalarda yaptıkları çalışmada tünel içinde meydana gelen şişme ve kabarma olaylarını sayısal mineralojik veriler ve jeomekanik parametreler yardımıyla tanımlamışlardır.

Arora ve Mishra (2015), Amerika'da pekçok yeraltı maden işletmesinde tavan kayası olarak bulunan ve çok sayıda göçme ve tavan yenilmesi olayının yaşandığı şeyl ve kireçtaşlarında, bu istenmeyen durumların nedenlerini bulmak için yapılan bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu bağlamda, siyah şeyl, laminalı şeyl ve kireçtaşları üzerinde iki ve üç eksenli sıkışma deneyleri yaparak farklı kayaların yenilme türlerini incelemiştir. Yeni bir test düzeneği de geliştirilen çalışmada, iki eksenli gerilme koşullarında, siyah şeyllerin çok gevrek bir şekilde yenildiği, laminalı şeyllerin lamina boyunca yenildiği ancak makaslama yenilmelerinin gözlenmediği, kireçtaşlarında ise örneklerin orta kısımlarının sağlam dışa yakın kısımlarında ise önemli miktarda yenilme gözlendiği belirtilmiştir. Ayrıca laminalı şeyllerde çevre gerilmeli (üç eksenli) ortamda, laminalanmanın etkisi kaybolmaktadır. Bu koşulda laminalı şeyl örneklerinde makaslama türü yenilmeler gözlenmiştir. Çalışmada üç yönde farklı gerilme seviyelerinin uygulanabileceği test koşullarının gerçeği daha iyi yansıtacağı önemle vurgulanmıştır.

Ündül vd. (2015), andezit bileşimli kayalar üzerinde yaptıkları çalışmada iç yapının kayanın çatlaklanma başlangıcı ve çatlak gelişimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, içyapıyı oluşturan mineral tanelerinin türleri, birbirleri ile ve hamur malzemesi ile alansal oranlarının çatlak oluşumu ve gelişimine etki ettiğini ortaya koymuşlardır.

Ündül (2016), yaptığı çalışmada farklı volkanik kayaların içyapı özellikleri ve petro-fiziksel özelliklerinin dayanım ve deformasyon özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışma

sonusunda sayısal petrografik ve mineralojik verilerin kayanın dayanım ve deformasyon özelliklerinin anlaşılmasındaki önemini vurgulamıştır.

Taz ve Ündül (2017), Çamlıca Tepesi Ulaşım tünellerindeki jeo-mühendislik problemleri değerlendirdikleri çalışmalarında, Gözdağ, Aydos ve Kurtköy formasyonlarına ait kırıntılı kayaları detaylı olarak incelemişlerdir. Yaptıkları sayısal analizler, yerinde gözlemler ve labotauvar verileri ile kayaların belirli ayrışma seviyelerinden sonra ve orta çatlaklıdan daha fazla çatlak içerdikleri durumda bölgedeki tünellerde değişik hacimlerde aşırı sökülme olayının geliştiğini ortaya koymuşlardır.

3. MALZEME VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

Yüksek Lisans tez çalışması arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk çalışmalar literatürün araştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Ardından arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında elde edilen veriler büro çalışmaları sırasında birlikte değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar aşağıda sırayla özetlenmiştir.

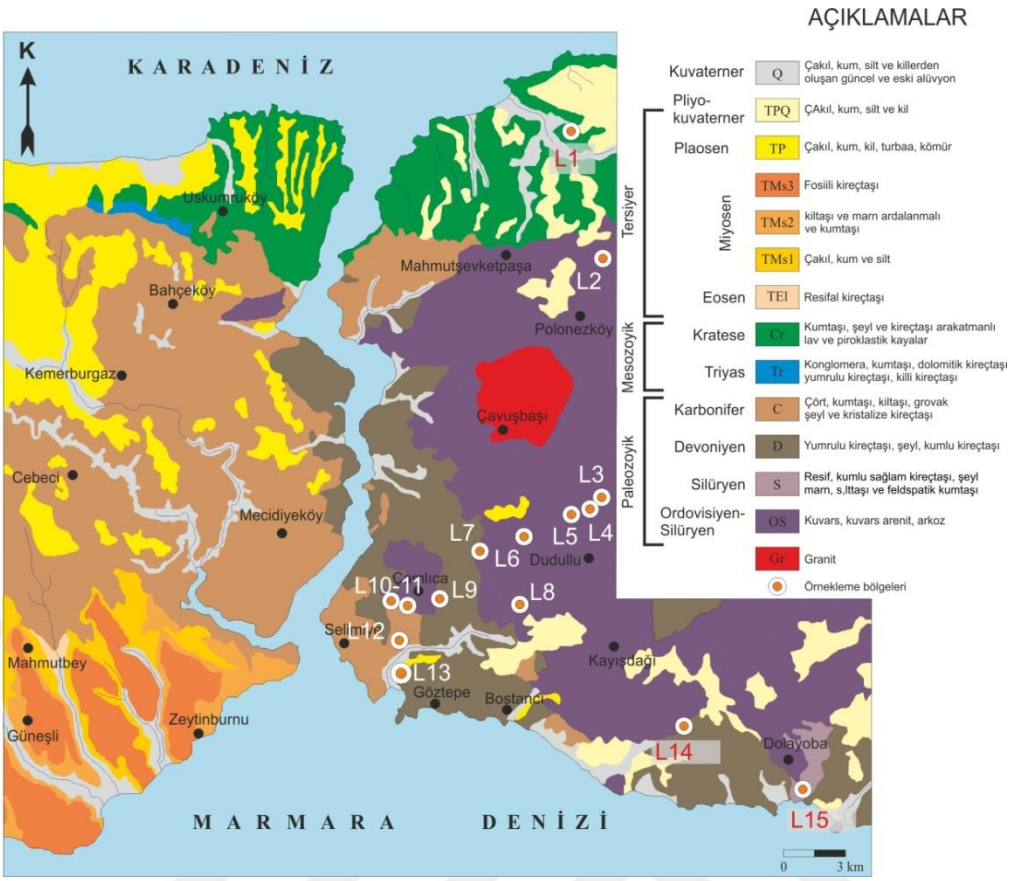
3.1. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Tez konusunun belirlenmesinden sonra literatür çalışmalarına başlanmış olup, çalışma alanının genel jeolojik özellikleri ve çalışma konusu ile benzer çalışmaları hakkında araştırmalar yapılmıştır. Arazi ve büro çalışmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için literatür çalışmalarına tez süresince devam edilmiştir.

3.2. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Literatür çalışmalarından sonra, belirlenen çalışma alanlarından blok örneklerin alınabileceği bölgeler saptanmış ve örnekleme bölgeleri ve çevresinde şehirleşmenin elverdiği ölçüde saha gözlemleri ve çalışmaları 2013 Ekim- 2014 Eylül ayları arasında çeşitli dönemlerde yapılmıştır. Bu dönemde, İstanbul'un Anadolu yakasındaki farklı bölgelerden (Ümraniye, Şile, Üsküdar, Kadıköy, Kartal) blok örnekler alınmıştır.

Örneklerin alındığı noktalar Şekil 3.1'de verilmiştir. Tablo 3.1'de örnek yerlerine ait koordinatlar, kayaç türü, örneğin ait olduğu formasyon bilgileri ve örnekleme yerinin durumunu gösteren bilgiler paylaşılmıştır. Şekil 3.2 ve 3.11 arasında ise örneklerin alındığı mostralara ait görüntüler sunulmuştur.



Şekil 3. 1: Çalışma alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası ve örnekleme bölgeleri (Ketin 1995'ten Özgül, 2011'den değiştirilerek)

Tablo 3. 1: Örnek yerlerine ait koordinatlar, kayaç türü, örneğin ait olduğu formasyon bilgileri ve örnekleme yerinin durumu

Örnek Yeri	Kayaç Türü	Koordinat ve mevki	Formasyon ve litoloji	Örnekleme şekli
Ataşehir Bölgesi (Dayk 1 ve 2)	Dayk	35T 677482 D 4541163 K ve 35T 677689 D 4540746 K – Ataşehir Finanskent Bölgesi	Kurtköy formasyonu, kumtaşı	Derin kazı
	Dayk		Kurtköy formasyonu, kumtaşı	Derin kazı
	Dayk		Kurtköy formasyonu, kumtaşı	Derin kazı
	Dayk		Kurtköy formasyonu, kumtaşı	Derin kazı
Kadıköy Bölgesi	Dayk	35T 669696 E 4541273 N -	Trakya formasyonu,	Avrasya Tüneli

(Dayk 3)		Kadıköy-Acıbadem	kumtaşı - şeyl	
Şile Bölgesi (Bazalt 1, 2 ve 3)	Volkanik kayaç	35T 699174 E 4559686 N	Garipçe formasyonu	Taş ocağı ve yol yarması
Kartal Bölgesi – Yakacık Magmatik Kompleksi (YMK)	Volkanik kayaç	35T 687143 E 4532968 K	Yakacık magmatik kompleksi	Sığ temel kazısı
Ümraniye bölgesi – Çakmak (İri kumlu Çakıllı çakıltaşı 1)	Sedimenter	35 T 679203.08D 4543104.05K	Kurtköy formasyonu	Tünel
Ümraniye bölgesi – Ihlamurkuyu Çakmak (İri kumlu Çakıllı çakıltaşı 1)	Sedimenter	35 T 676905.19D 4542876.60K	Kurtköy formasyonu	Tünel
Ümraniye bölgesi – Necip Fazıl (Karbonatlı killi-silttaşı)	Sedimenter	35 T 683277.77D 4542800.74K	Gözdağ formasyonu	Tünel
Çekmeköy Bölgesi (Kumtaşı)	Sedimenter	35T 683569.04 D 4543339.41 K	Gözdağ formasyonu	Sondaj
Ümraniye bölgesi (Kireçtaşı 1)	Sedimenter	35 T 675294.79 D 4542705.85 K	Dolayoba formasyonu	Sığ temel kazısı
	Sedimenter	35 T 675294.79 D 4542705.85 K	Dolayoba formasyonu	Sığ temel kazısı
	Sedimenter	35 T 675403.14 D 4542677.53 K	Dolayoba formasyonu	Sığ temel kazısı
Kadıköy bölgesi (Kireçtaşı 2)	Sedimenter	35T 672919.87 D 4540449.61 K	Tuzla Formasyonu	Derin kazı
	Sedimenter	35T 672919.87 D 4540449.61 K	Tuzla Formasyonu	Derin kazı



Şekil 3. 2: Ataşehir bölgesi (dayk-1 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görüntü



Şekil 3. 3: Ataşehir bölgesi (dayk-2 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görüntü



Şekil 3. 4: Kadıköy bölgesi (dayk-3) örneklerinin alındığı tünel aynasının görünümü



Şekil 3. 5: Kartal bölgesi (YMK kodlu) örneklerinin alındığı kazı alanının görünümü



Şekil 3. 6: Ümraniye bölgesi (kireçtaşı-1 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görünüm



Şekil 3. 7: Ümraniye bölgesi (kireçtaşı-1 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görünüm



Şekil 3. 8: Ümraniye bölgesi (Karbonatlı killi-silttaşı) örneklerinin alındığı tünel aynasının görünümü



Şekil 3. 9: Kadıköy bölgesi (kireçtaşı-2 kodlu) örneklerinin alındığı kazı alanının görünümü



Şekil 3. 10: Kadıköy bölgesi(kireçtaşı-2 kodlu) örneklerinin alındığı mostradan bir görünüm



Şekil 3. 11: Şile bölgesi örneklerinin alındığı mostradan bir görünüm

Blok örneklerinin yanısıra bölgede yapılan sondajlardan çok sayıda karot örneği çalışma kapsamında değerlendirilmek üzere toplanmıştır. Karot örneklerinin sondaj sırasında zarar görmemiş olmasına dikkat edilmiş ve sondaj derinliğindeki koşullarını muhafaza etmesi için hava geçirmez plastik torbalara konarak İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarına getirilmiştir.

Çalışma alanına dair yeni bir genel jeoloji haritası yapılamamıştır ancak önceki çalışmalardan edinilen bilgiler doğrultusunda ve yerinde gözlemlerden yararlanılarak özellikle örnekleme bölgelerini gösterecek şekilde bir jeoloji haritası bu çalışmada kullanılmıştır (Şekil 3.1).

3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Laboratuvar çalışmaları 2014 yılı Mart ayı ile 2016 yılı Ocak ayları arasında gerçekleşmiştir. Blok ve sondajlardan alınan karot örneklerinin laboratuvara getirilmesi ile laboratuvar çalışmaları başlatılmıştır. Laboratuvar çalışmaları, örneklerin istenen mekanik ve fiziksel deneyler için örnek hazırlama aşamasından, mineralojik ve petrografik özelliklerin belirlendiği çalışmalara kadar geniş bir alanda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

3.3.1. Örnek Hazırlama

Laboratuvara getirilen blok örneklerinden tek eksenli sıkışma dayanımı testlerinde kullanılmak üzere boyu çapının en az iki katı olacak şekilde karot örnekleri İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Bölümü örnek hazırlama laboratuvarlarında hazırlanmıştır. Ayrıca sondajlardan elde edilen karot örnekleri de yine boyları çaplarının iki katı olacak şekilde kesilmiştir. Blok örneklerinden ve sondajlardan alınan karotların her iki yüzeylerinin paralelliği karot düzeltme aleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karotların boy, çap ve birbirine paralel iki yüzeyinin özellikleri ISRM (1981 ve 2007) tarafından önerilen sınırlamalara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Brazilyan çekme deneyi için ise boyu ile çapı eşit olan silindirik örnekler ISRM (1981 ve 2007)'nin önerdiği yöntemlere göre hazırlanmıştır. Bu örnekler daha önce hazırlanan karot örneklerinin üst/alt kısımlarından elde edilmiştir.

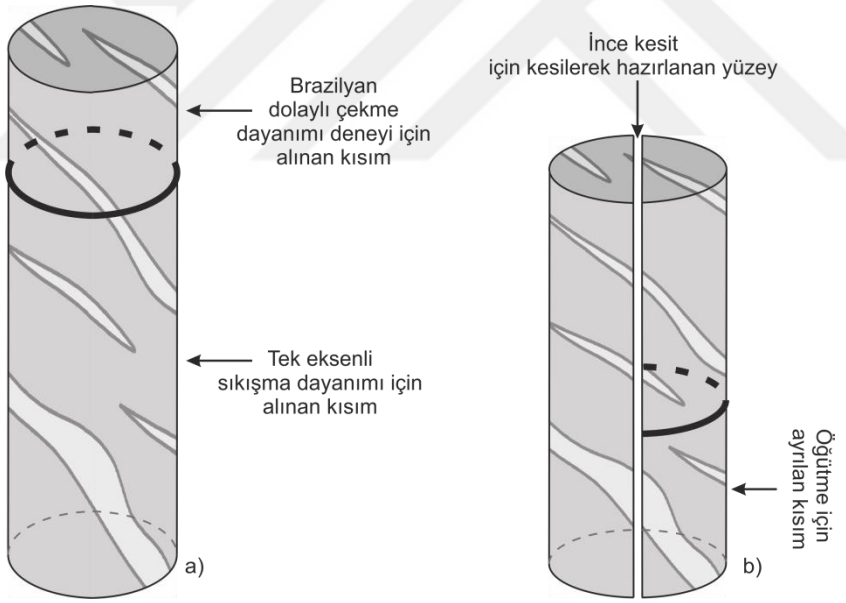
Etkin porozite, birim hacim ağırlık, su emme gibi fiziksel deneyler de mekanik deneyler gerçekleştirilen aynı karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bloklardan laboratuvarda elde edilen karot örneklerinin çapları 43 ve 54 cm'dir. Sondajlardan alınan örneklerin çapları

ise 54 ve 64 cm'dir. Tek eksenli sıkışma dayanımı için 137 adet karot örneği, brazilyan çekme deneyi için ise 130 adet silindirik örnek hazırlanmıştır.

Mekanik deneylerde kullanılan karot örneklerinin bir kısmı mineralojik ve petrografik incelemelerde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Ayrılan bu temsilci parçaların bir kısmı öğütülmüş diğer kısımlarından ise petrografik amaçlı ince kesitler hazırlanmıştır.

3.3.2. Petrografik ve Mineralojik İncelemeler

Petrografik özelliklerin incelenmesi için ince kesit örnekleri fiziksel ve mekanik deneylerin öncesinde ve/veya sonrasında, her örnek grubuna ait olmak üzere hazırlanmıştır. Ayrıca mineralojik özelliklerin belirlenmesi için toz örnekler ince kesitlerin hazırlandığı aynı karot örneklerinden temsilci olacak şekilde hazırlanmıştır. Örneklerin öğütülmesinde ilk önce çeneli kırıcıda örnekler 2mm çapa indirilmiş ardından agat havanda öğütme işlemleri yapılmıştır (Şekil 3.12 b). Tez çalışması sırasında değerlendirilmek üzere 118 ince kesit ve 60 parça öğütülmüş toz örnek hazırlanmıştır.



Şekil 3. 12: Karotiyer ile alınan büyük karot örneklerinden a) tek eksenli sıkışma dayanımı ve brazilyan dolaylı çekme dayanımı testlerinde kullanılacak örneklerin hazırlanmasına ait şematik gösterim b) ince kesit ve öğütülmüş örnek hazırlanması için ayrılan kısımların şematik görünümü

Araziden alınarak fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutulan örneklerden ince kesitler hazırlanmış olup polarizan mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. Petrografik incelemeler İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalı Optik İnceleme Laboratuvarında yapılmıştır. Bu

incelemelerde kayanın mineral bileşimi, dokusu, mineral boyutu, minerallerin birbirleri ile olan ilişkisi ve mikroçatlakların durumu araştırılmıştır. Mekanik deneylerde kullanılan örneklerden hazırlanan ince kesitlerin elde edildiği yerler şematik olarak Şekil 3.12'de gösterilmektedir.

Mineralojik incelemeler yine Şekil 3.12'de gösterilen örnek kısımlarından alınan parçalardan hazırlanan toz örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mineralojik analizler için yapılan XRD ölçümleri İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalında tamamlanmıştır. Analizler sırasında GNR APD PRO2000 marka cihaz kullanılmış olup, Cu kaynaklı X ışını tüpüne sahip cihazda örnekler 5° ile 65° 2Theta açılarında analiz edilmiştir.

3.3.3. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar

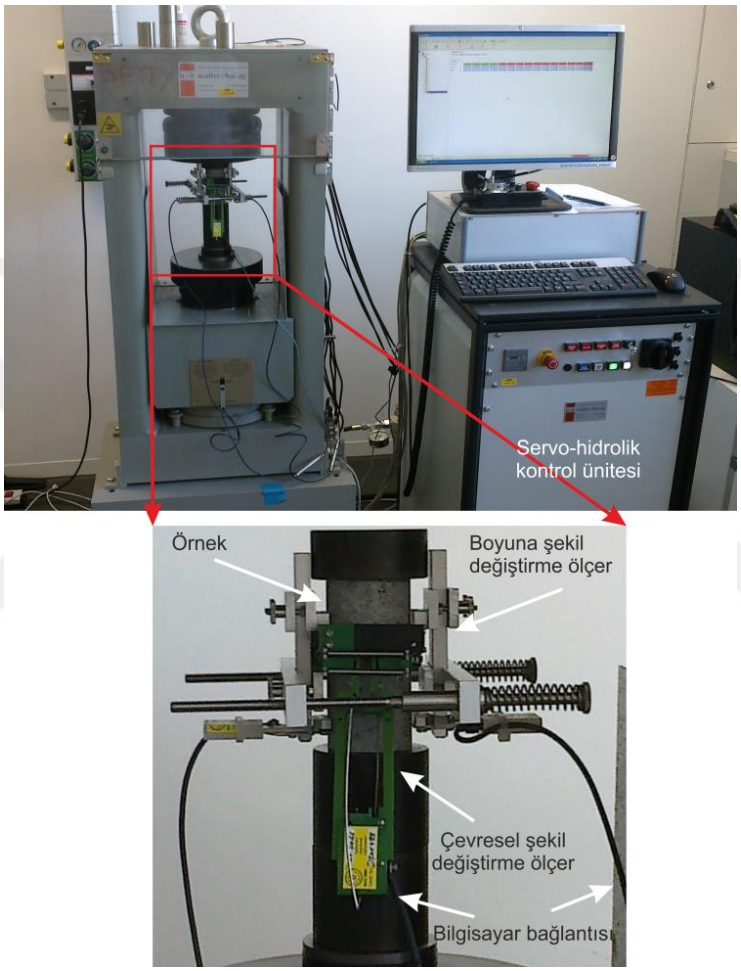
Araziden elde edilen bloklardan ve sondajlardan alınan ve standartlarda belirtilen yöntemlere göre hazırlanan karot örnekleri üzerinde, birim hacim ağırlık, etkin porozite, boşluk oranı ve su emme deneyleri ile Schmidt çekici deneyi ISRM (1981 ve 2007) tarafından önerilen yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Bölümü Doğal Yapı Malzemesi Laboratuvarı ve Kaya Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.3.4. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Fiziksel özellikleri belirlenmiş olan karot örnekleri üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı, dolaylı çekme (brazilyan) deneyi ve sonik hız deneyleri (V_p) gerçekleştirilmiştir.

Tek eksenli sıkışma dayanımı testleri iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü – Zürih (ETH) Mühendislik Jeolojisi kürsüsünde 2000 kN kapasiteli servo-hidrolik kontrollü test cihazında hassas şekil değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Eksenel ve çevresel deformasyon ölçerler şekil değiştirme ölçümlerinin örnek kenarlarındaki değişimlerden etkilenmemesi için örnek boylarının yarısı seviyelerine yerleştirilmiştir. Eksenel deformasyon ölçerler karşılıklı olarak örneğin her iki tarafına sıkıca yerleştirilmiştir. Çevresel şekil değiştirmeler (ε_{rad}) ise örneğin etrafına sarılan zincire bağlı deformasyon ölçerler yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 3.13). Test sırasında dijital geri bildirim çevresel şekil değiştirme ile sağlanmıştır ve kullanılan kontrol değeri 0.05 mm/dk olarak belirlenmiştir. Örneklerin tamamının bu sistem ile deneye tabi tutulması ekonomik açıdan mümkün olmadığından, örnek gruplarından temsilci olanları bu şekilde deneye tabi

tutulmuştur. Tek eksenli sıkışma deneyleri bu sistem ile gerçekleştirilemeyen örnekler ise, bilgisayar kontrollü 3000kN kapasiteli bilgisayar kontrollü test cihazı ile test edilmiştir. Bu yöntemde zaman probleminden dolayı şekil değiştirmeler pek çok örnekte tespit edilememiş olup sadece tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenmiştir (Şekil 3.14). Bu sistemde yükleme hızı 0.1 MPa/s olarak belirlenmiştir. Bu hızda yüklenen karot yörnekleri yaklaşık olarak 5-10dk içerisinde yenilmişlerdir.



Şekil 3. 13: Tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde kullanılan şekil değiştirme ölçümlü test düzeneği



Şekil 3. 14: Tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde şekil değiştirme ölçümü yapılmayan ve brazilyan çekme deneyinde kullanılan bilgisayar kontrollü deney aleti

Brazilyan dolaylı çekme deneyleri Şekil 3.14'de gösterilen deney düzeneğinde gerçekleştirilmiş olup deneyin yaklaşık 15 ila 30 saniye arasında bitecek şekilde yükleme hızı (yaklaşık 0.2kN/s) ayarlanmıştır. Deney test cihazının üst kısmı gelen yükün örneğin orta eksenine paralel şekilde gelmesini sağlayacak şekilde hareket edebilir olmasından dolayı herhangi bir ek örnek tutucu kullanılmamıştır.

P dalga hızının tespiti için Sonik hız deneyleri, CNS Farnell Pundit Plus test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu tahribatsız deneyde, tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde kullanılan örnekler tek eksenli sıkışma deneyi öncesinde kullanılmıştır (Şekil 3.15). Sonik hız deneylerinde 50mm çaplı 1MHz'lik dönüştürücüler (transducer), ±0.1 μs hassasiyette çalıştırılmış olup 500V'luk atımlarla sensörler çalıştırılmıştır.



Şekil 3. 15: Sonik hızların bulunmasında kullanılan Pundit Plus deney düzeneğine ait görüntü

Fiziksel ve mekanik deneylerden elde edilen veriler başlıca, kayaların tek eksenli sıkışma ve çekme kuvvetleri karşısındaki dayanım ve deformasyon özellikleri, tek eksenli ve çekme gerilmeleri altında kaya örneklerinin yenilme şekilleri ve gevreklik indislerinin belirlenmesine yönelik olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen mekanik parametreler ile iç yapı arasındaki ilişki ise petrografik çalışmalar yardımıyla gözlemsel olarak tariflenmiştir.

3.3.4.1. Dayanım ve deformasyon

Karot örneklerine ait tek eksenli sıkışma dayanımları kırılma anındaki yükün silindirik karot örneğinin alanına bölünmesiyle elde edilmiştir. Boyda ve çapta meydana gelen şekil değiştirmeler ise, elektro-mekanik olarak ölçülmüştür. Hacimsel şekil değiştirme, aynı gerilme altında boydaki şekil değiştirme ile çaptaki şekil değiştirmenin iki katının toplamı ($\varepsilon_{eksenel} + 2\varepsilon_{çapsal}$) ile elde edilmiştir.

$\varepsilon_{hacim} = \varepsilon_{eksenel} + 2\varepsilon_{çap}$.....Eşitlik 1

Brazilyan çekme deneylerinde elde edilen yük değerleri aşağıda verilen ve ISRM (1981) tarafından önerilen formülde yerine konarak dolaylı çekme dayanımı değerleri tespit edilmiştir (Eşitlik 2).

$\sigma_t = (0{,}636 * F)/Dt$.....Eşitlik 2

- σ_t : Brazilyan Çekme dayanımı

- F : Örneğin yenilmesi anında uygulanan yük (kN)
- D: Örnek çapı(mm)
- t : Örnek kalınlığı(mm)

3.3.4.2. Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri

Tez çalışması sırasında kullanılan örneklerin temsilci olan bir kısmından çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri tespit edilmiştir. Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri Şekil 1.2'de gösterildiği gibi genel olarak doğrusal elastik bölgenin sonlandığı yerden hesaplanan bir değerdir.

Son yıllardaki çalışmalarda, süreksizliklerin az olduğu kaya ortamlarında, mekanik etkilere bağlı gerilme koşulları altında, süreksizliklerden bağımsız olarak kayada çatlak gelişmesi ve laboratuvarda belirlenen en yüksek dayanım değerinin altındaki gerilme seviyelerinde kayanın sorun çıkartabileceği belirtilmektedir (Martin 1997; Diederichs 2007; Amann vd 2011; Steiner vd 2011; Nicksiar ve Martin 2013a).

Andersson (2007) ve Andersson ve Martin (2009)'da yaptıkları çalışmalarda, Äspö Kolon Duraylılık Deneyi (Äspö Pillar Stability Experiment) çalışmaları kapsamında açılan düşey kuyularda meydana gelen kavlaklanmaların hangi gerilme koşullarında meydana geldiğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda, açılan kuyu içinde oluşan kavlaklanmalar esnasında yerinde gerilmeler (in-situ) ölçülmüştür (Şekil 3.16). Yerinde ölçülen bu gerilmelerin kaya örneğinin laboratuvarda ölçülen tek eksenli sıkışma dayanımlarının % 59'u seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca aynı kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı deneyinde elde edilen çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinde yine tek eksenli sıkışma dayanımlarının %45'i seviyelerinde olduğunu bulmuşlardır. Böylece pek çok sonucun değerlendirildiği çalışmada, masiften orta çatlaklı kayalara kadar olan kaya kütlelerinde, laboratuvarda elde edilen çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin kaya kütlesinin yerindeki dayanımının alt limiti olabileceğini ortaya koymuşlardır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar düşük çevre gerilmelerinde çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyesinin (Hajiabdolmajid vd. 2002; Carter vd. 2008; Martin ve Christiansson, 2009; Nicksiar ve Martin, 2013a ve b), yüksek çevre gerilmeli ortamlarda ise kararsız çatlak gelişimi eşik gerilme seviyelerinin (Kaiser ve Kim 2008) kaya kütleleri için alt limit değerleri olarak kullanılabileceği şeklinde belirtilmiştir.

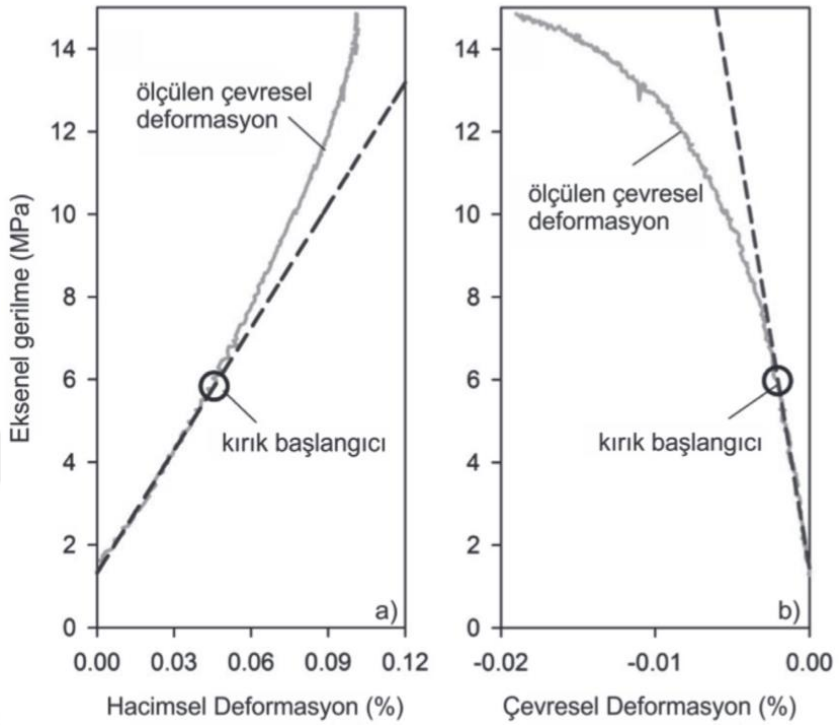


Şekil 3. 16: Äspö Kolon Duraylılık Deneyinde açılan kuyuda meydana gelen kavlaklanma (Andersson, 2007)

Önceki çalışmalar göstermektedir ki, inşaa edilen yeraltı kaya açıklıklarının bulunduğu ortamdaki gerilmeler, laboratuvarda tek eksenli deneylerin analizi ile bulunan çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin altında olması halinde, gerilmeye bağlı duraylılık sorunu olmamaktadır. Ancak yeraltı kaya yapısının bulunduğu derinlikteki gerilmelerin, laboratuvarda tek eksenli deneylerin analizi ile bulunan çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerin üstünde olması halinde gerilmelere bağlı farklı tipte kaya davranışlarına (kavlaklanma, düşme vb.) yol açacaktır.

Bu bulgular ile, çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri bilinen süreksizliğin az olduğu kaya ortamlarında yapılacak mühendislik girişimlerinde ölçülen yerinde gerilmeler yardımıyla kavlaklanmanın olup olmayacağı ve bu kavlaklanmaların derinliği belirlenebilmektedir.
Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri bu tez çalışmasında araştırılan kayalar için aşağıda belirtilen yöntemlere göre tanımlanmıştır. Çevre gerilmesiz tek eksenli testlerde çatlaklanma başlangıcının (σ_{ci}) belirlenmesi için ölçülen deformasyon değerlerine göre değerlendirme esasına dayalı ve güvenilirlikleri Nicksiar ve Martin (2012) ve Amann vd. (2011) tarafından değerlendirilmiş iki yöntemden yararlanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki Brace vd. (1966) tarafından önerilen ve temel olarak gerilme ve hacimsel deformasyon eğirisinin çizgisellikten saptığı andaki en düşük eksenel gerilme değeridir (Şekil 3.17 a).

Kullanılan ikinci yöntem ise, Lajtai (1974) tarafından önerilen ve benzer prensiplerin çevresel şekil değiştirme eğrisine uygulanmasına dayanmaktadır (Şekil 3.17 b). Bu yöntemde mikro-kırıklanmanın başlangıcı, gerilme - çevresel şekil değiştirme eğrisinin çizgisellikten saptığı nokta olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3. 17: σ_{ci}'ın tespitinde kullanılan gerilme-şekil değiştirme diyagramları a) Brace vd. (1966) tarafından önerilen yöntem b) Lajtai (1974) tarafından önerilen yöntem

Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin bulunmasında kullanılan ve daha güncel dönemde önerilmiş çalışmaların (Örneğin akustik emisyon vb.) geçerlilikleri yukarıda ifade edilen yöntemler ile kontrol edilmektedir (Moradian vd. 2015). Bu durum, görece eski gibi gözüken klasik yöntemlerin kırılma mekaniği temel prensiplerini göz önüne aldığından dolayı önemini yitirmeyeceğini ortaya koymaktadır.

3.3.4.3. Gevreklik indisleri

Gevreklik, kayaların eksenel yükler altında akma sınırlarında veya hemen sonrasında ani olarak yenilmeleri şeklinde tanımlanmaktadır (Hucka ve Das, 1974; Meng vd., 2014). Kayaların gevreklik değerlerinin TBM performansına (Blindheim ve Bruland, 1998; Gong ve Zhao, 2007), kavlaklanma, kopma gibi kaya davranışlarına (Diederichs 2000 ve 2007; Lee vd., 2004), hidrolik çatlatmaya (Zhishui ve Zandong, 2015; Holt vd., 2015) etkileri çeşitli açılardan değerlendirilmektedir. Bunun yanında kayaların gevreklik özelliği, tünel, metro vb.

yeraltı yapılarındaki destek sistemlerinin belirlenmesinde, oluşturulan desteklerin mühendislik kullanım ömrü içerisinde izlenmesine ve kaya patlaması gibi problemlerin öngörülmesinde kullanılan oldukça önemli bir kaya parametresidir (Meng vd., 2014).

Kayaların gevrekliklerinin belirlenmesi için Hucka ve Das (1974) tarafından Eşitlik 3ve 4'de B_1 ve B_2 olarak ifade edilen eşitlikleri önermiştir. Singh (1986 ve 1987) yıllarında kömürlerin gevreklik ve kazılabilirlikleri özellikleri ile B_2 eşitliği (Eşitlik 4) arasındaki ilişkileri tartışmıştır. Araştırmacı B_2 eşitliği ile söz konusu kaya özellikleri arasında yakın ilişkiler olduğunu ifade etmektedir.

Kayaların gevrek kırılmaları ve gevrekliğin tarif edilebilmesi için Andreev (1995) kapsamlı bir çalışma yapmış ve bu çalışmasında Mohr kırılma zarfı üzerinde gevrek kırılma prensiplerini tartışarak daha önce gevrekliğin tarif edilmesi için önerilen yöntemleri değerlendirmiştir.

Altındağ (2000) ise Eşitlik 5'de B_3 olarak ifade edilen eşitliği önermiştir. Altındağ (2002) çalışmasında, bazı kaya özellikleri (Vp, nokta yük dayanımı vb.) ve kazılabilirlik özellikleri ile aşağıda verilen Eşitlik 5 ile arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Kahraman vd. (2003 a ve b) ise B_3 eşitliği ile Los Angeles aşınma dayanımı değerleri arasında 26 farklı kaya örneği için önemli ilişkiler elde etmiştir. Benzer şekilde Yaralı (2007) Kazılabilme Oranı İndeksi (DRI) ile B_3 eşitliği ile ifade edilen gevreklik arasında yüksek ilişkiler tespit etmiştir.

Hajiabdolmajid ve Kaiser (2003) şekil değiştirmeye bağlı olarak gevreklik indisi tariflemeye çalışmış ve bu yöntem ile yenilme bölgesinin şeklinin ve yayılımının tespit edilebileceğini vurgulamışlardır. Çopur vd (2003) ise yük-etki grafiğindeki değişimlere göre gevrekliğin tanımlanabileceği yönünde bir yaklaşım önermiştir. Yılmaz vd. (2008), nokta yük dayanım indeksi ile tariflenebilecek bir gevreklik indeksi tariflemiştir. Yağız (2009) Eşitlik 3, 4 ve 5'i esas aldığı çalışmasında zımbalama deneyine (punch penetration test) göre gevrekliğin bulunması için bir öneride bulunmuştur. Altındağ (2010) Eşitlik 3, 4 ve 5'i farklı kayaların delinebilirlikleri için değerlendirilmiştir. Yaralı ve Kahraman (2011), 32 farklı kaya türünde Kazılabilme Oranı İndeksi (DRI) ile B_2 ve B_3 eşitlikleri arasındaki ilişkileri tespit etmişler ve B_3'ün kazılabilme için daha güvenilir sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak, Suorineni (2009) ve Miskimins (2012) mineralojik ve petrografik özelliklere göre gevrekliğin tarif edilebileceğinden yola çıkarak çeşitli eşitlikler önermişlerdir.

Literatürde bulunan eşitlikler içerisinde, kullanım ve uygulama kolaylığı ile elde edilen verilerin anlaşılabilir olması yönleri göz önünde bulundurulduğunda, Eşitlik 3, 4 ve 5 gevrekliğin tariflenmesinde en sık kullanılan yaklaşımlar olmuştur (Heidari vd. 2014; Meng vd. 2014).

$$B_1 = \frac{\sigma_c}{\sigma_t}$$

Eşitlik 3 (Hucka ve Das 1974)

$$B_2 = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t}$$

Eşitlik 4 (Hucka ve Das 1974)

$$B_3 = \frac{\sigma_c x \sigma_t}{2}$$

Eşitlik 5 (Altındağ 2000)

Jeomekanik özellikler ile kayaların kavlaklanması arasındaki ilişkiler çeşitli araştırmacılar tarafından araştırılmıştır (Diederichs, 2000 ve 2007; Wang ve Park, 2001; Lee vd., 2004, Hidalgo ve Nordlund, 2012; Nicksiar ve Martin, 2013 ve diğer çalışmalar) ve tek eksenli sıkışma dayanımı ile çekme gerilmeleri arasındaki ilişki üzerinde sıklıkla durulmuştur. Diederichs (2000), tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ile çekme gerilmesi (T) oranının (UCS/T) düşük olması durumunda kavlaklanma riskinin az olduğunu, bu oran değerinin yükselmesi ile kopma-kavlaklanma tipi davranışların artacağını ifade etmiştir. Diederichs (2007) orta derecede çatlaklı ve masif kaya kütleleri için, kaya kütle sınıflamaları ile birlikte gevreklik tanımlamasında kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının çekme gerilmelerine oranının birlikte değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca kaya kütlesinin az çatlaklı olduğu ve UCS/T oranın yüksek olduğu durumlarda da UCS/T oranının kaya kütle özelliklerine ihtiyaç duymadan da kullanılabileceğini vurgulamıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3. 2: Diederichs (2007) tarafından gevreklik ve kaya kütle sınıflamalarından Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) arasındaki ilişkiye ait genelleştirilmiş sınıflama

Tekeksenli sıkışma dayanımı (UCS) Çekme dayanımı (T) oranı	**GSI <55**	**GSI 55-65**	**GSI 65-80**	**GSI >80**
UCS/T <8	GSI	GSI	GSI	GSI
9<UCS/T<15	GSI	GSI	GSI	GSI/KA
15<UCS/T<20	GSI	GSI/KA	GSI/KA	KA
20<UCS/T	GSI	GSI/KA	KA	KA

KA: Kavlaklanma analizi (UCS/T)

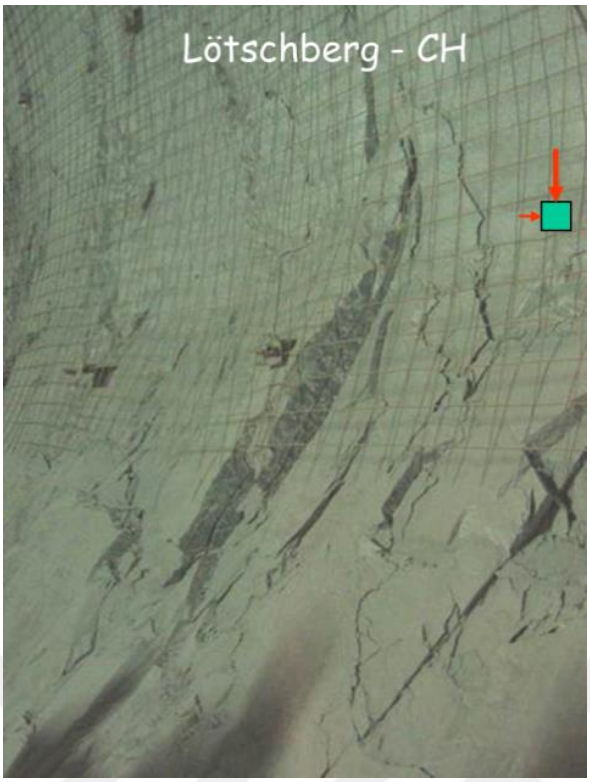
Bu çalışmalara ek olarak, Martin ve Christiansson (2009), laboratuvarda karot örneklerinden elde edilen çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerine ait verilerin, UCS değerlerinin ve

çekme gerilmesi değerlerinin, gerçek kaya kütlelerinde nasıl değerlendirileceğine dair bir çalışmayı, 1.8m çapında açılan deneysel amaçlı açılan bir kuyu üzerinde göstermektedir (Şekil 3.18). Benzer kaya davranışlarını ve yaklaşımları, laboratuvar verileri ile tespit edilebileceği Kaiser (2010) tarafından da ifade edilmiştir. Şekil 3.19'da Kaiser (2010) tarafından verilen ve süreksizliğe bağlı olmayan yenilmelere bir örnek görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, yukarıdaki örneklerde verilen yöntemler uygulanarak, özellikle derin kazılarda ve yeraltı kaya inşaatlarında orta dereceli çatlaklıdan masif görünüme kadar gözlenen dayklar ve diğer magmatik kayalar ile çalışma alanıda alınan diğer kaya tipleri için mekanik deney sonuçları, kopma, kavlaklanma vb. kaya davranışlarının değerlendirilmesinde kullanılacaktır.



Şekil 3. 18: 1.8m çaplı Äspö sütun dayanım deneyi sırasında meydana gelen kavlaklanmalar (Martin ve Christiansson, 2009)



Şekil 3. 19: Gevrek kaya ortamında süreksizlikten bağımsız olarak gelişen yenilme (Kaiser 2010)

4.BULGULAR

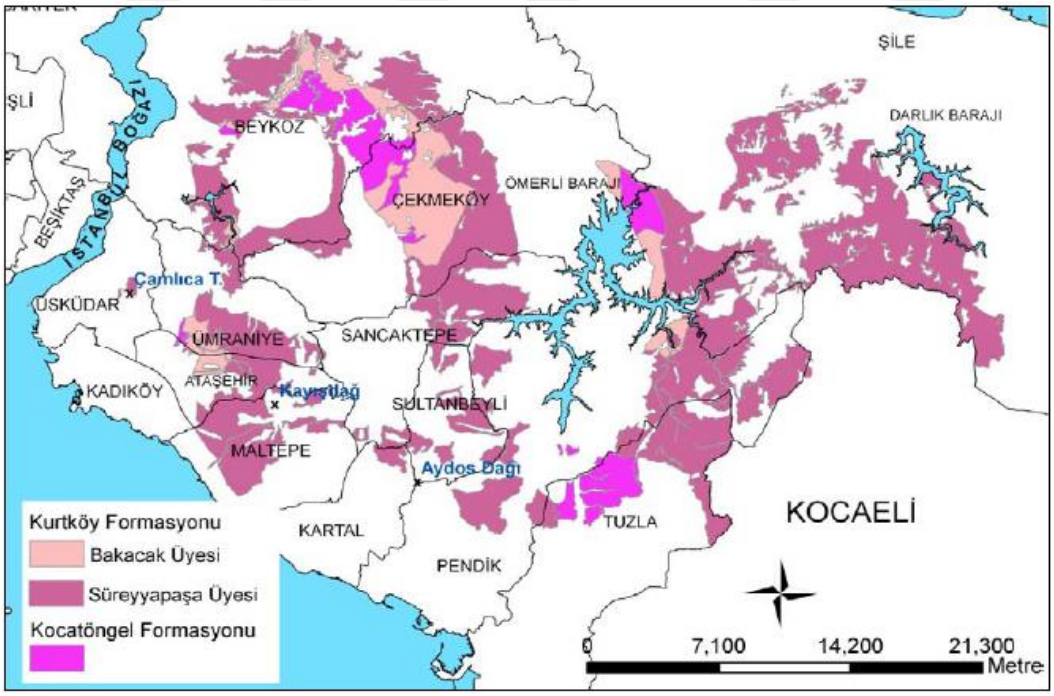
4.1. ÖRNEKLEME BÖLGELERİNİN GENEL JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde tüm İstanbul'un jeolojik özellikleri yerine çalışma konusu dahilinde alınan örneklerin temsil ettiği formasyonların genel özellikleri ve temel jeolojik özellikleri yaşlıdan gence doğru sunulmuştur.

4.1.1. Kurtköy Formasyonu

İstanbul'un doğu kesimlerinde yayılım gösteren bu birim Paeckelman (1938) tarafından Arkoz horizonu olarak adlandırılmış daha sonra Altınlı (1951) ve Ketin (1953-1979) Silüryen yaşını verdikleri birimi Arkoz serisi, Önalan (1981 ve 1982) ise birimin yaşını Alt Ordovisiyen olarak vererek Kurtköy formasyonu olarak adlandırmıştır.

İstanbul'un özellikle doğu kesimlerinde göslenen birim, pembemsi mor, ve gri renkleriyle karakteristiktir. Genelde arkoz bileşiminde olan birim yer yer konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan kalın bir istife sahiptir. (Şekil 4.1)

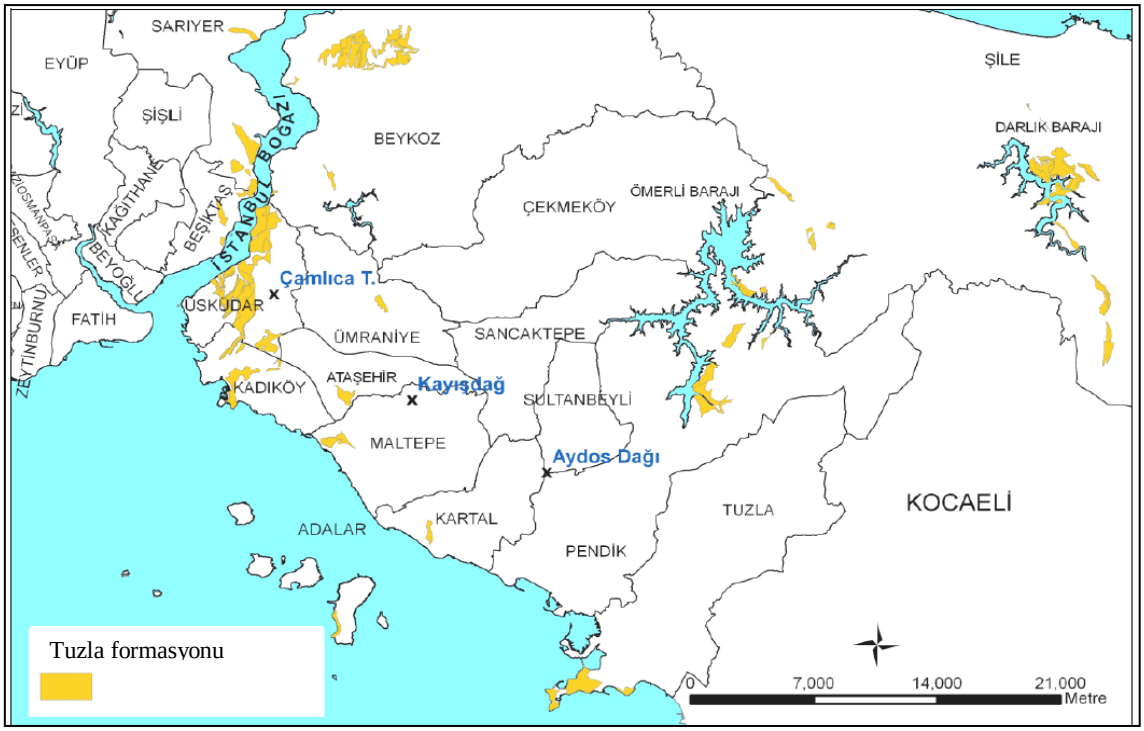


Şekil 4. 1: Kurtköy formasyonunun İstanbul il sınırlarındaki yayılımı (Özgül 2011' den alınmıştır)

4.1.2. Tuzla Formasyonu

İstanbul'un Anadolu Yakasının Boğaz kıyısı ve iç kesimlerinde yer yer yüzeylenen formasyon, başlıca kireçtaşı, killi kireçtaşı ve yumrulu kireçtaşlarını kapsar ve değişen oranda ince şeyil katkılıdır.

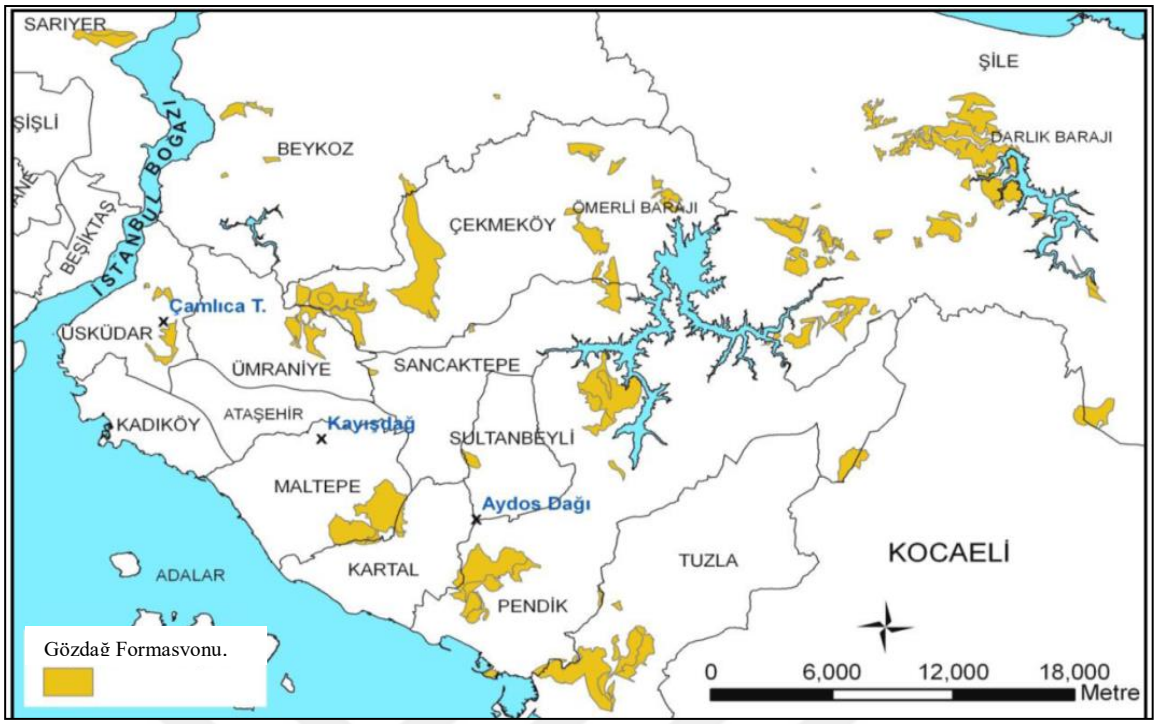
Önceki araştırmalarda istifin bütünü ya da bir bölümü için farklı adlar kullanılmıştır. Paeckelmann (1938)'ın "Yumrulu kireçtaşı-silisli şeyil dizisi" ve Haas (1968)'ın "Denizli Tabakaları'na" karşılık gelir. İstifi Kaya (1973) Büyükada Formasyonu, Gedik ve diğ. (2005) Denizli Grubu kapsamında incelemiştir.



Şekil 4. 2: Tuzla formasyonunun İstanbul il sınırlarındaki yayılımı (Özgül 2011' den alınmıştır)

4.1.3. Gözdağ Formasyonu

Genellikle tuzlanın kuzeyinde büyüklü küçüklü yüzeylemelerin verdiği ve büyük bölümüyle mikalı kumtaşlarından oluşan formasyondur. Paeckelman (1938) tarafından " Halysites-Grauwacken Horizont" adıyla incelenen birim, Haas (1968) taradından "Yayalar Formasyonu", Önalan (1981) ise istifi "Gözdağ Formasyonu ve Aydınlı Formasyonu" olmak üzere iki formasyona ayırtlamıştır. Türkiye Stratigrafi Komitesi Gözdağ Formasyonu adını benimsemiştir.



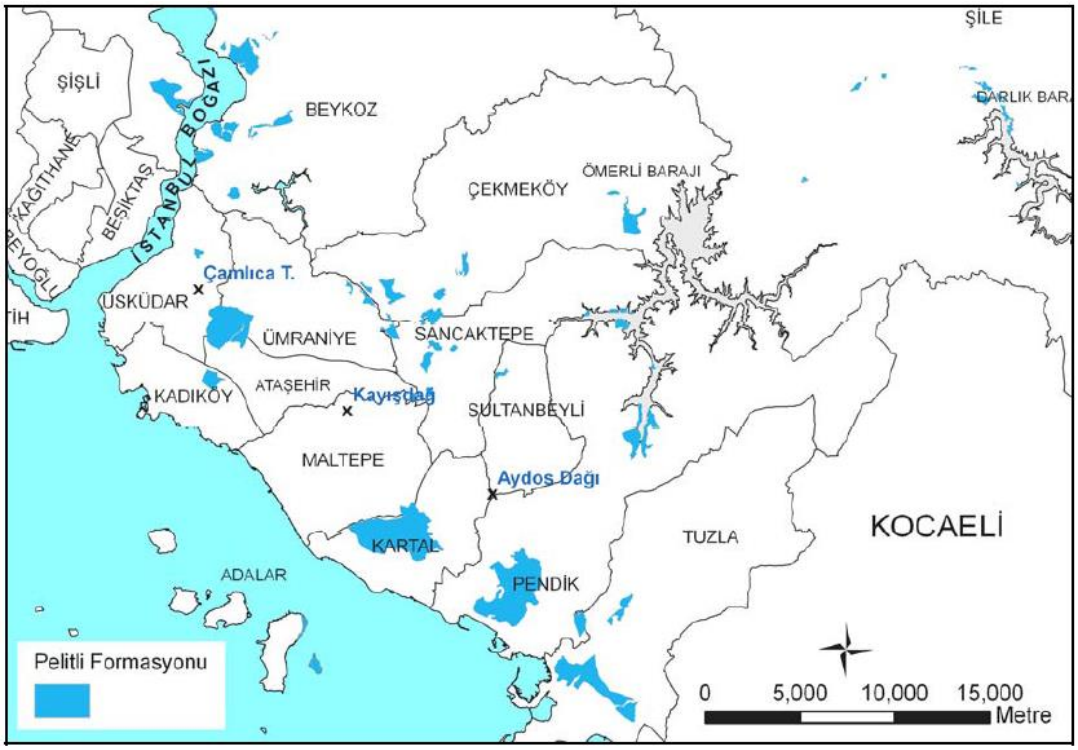
Şekil 4. 3: Gözdağ formasyonunun İstanbul il sınırlarındaki yayılımı (Özgül 2011' den alınmıştır)

4.1.4. Dolayoba Formasyonu

İlk defa Pendik kuzeyinde Dolayoba'da gözlenen birime Paeckelmann (1938), Halysitesli kireçtaşları adını vermiştir. Kaya (1973) ise aynı birimlere Dolayoba kireçtaşı, Önalan (1982) ise üye bazından formasyona yükselterek Dolayoba formasyonu adını vermiştir.

Çoğunlukla grimsi ve mavinin değişik tonları ile açık kahve renkli olan Yayalar üyesi, bol fosilli, bazen değişik büyüklükte yama resifli, dolomitli ve dolomitleşmiş, çoğunlukla ileri derecede rekristalize olmuş, sparit damarlı, sağlam kireçtaşlarından oluşmuştur (Şekil 4.3).

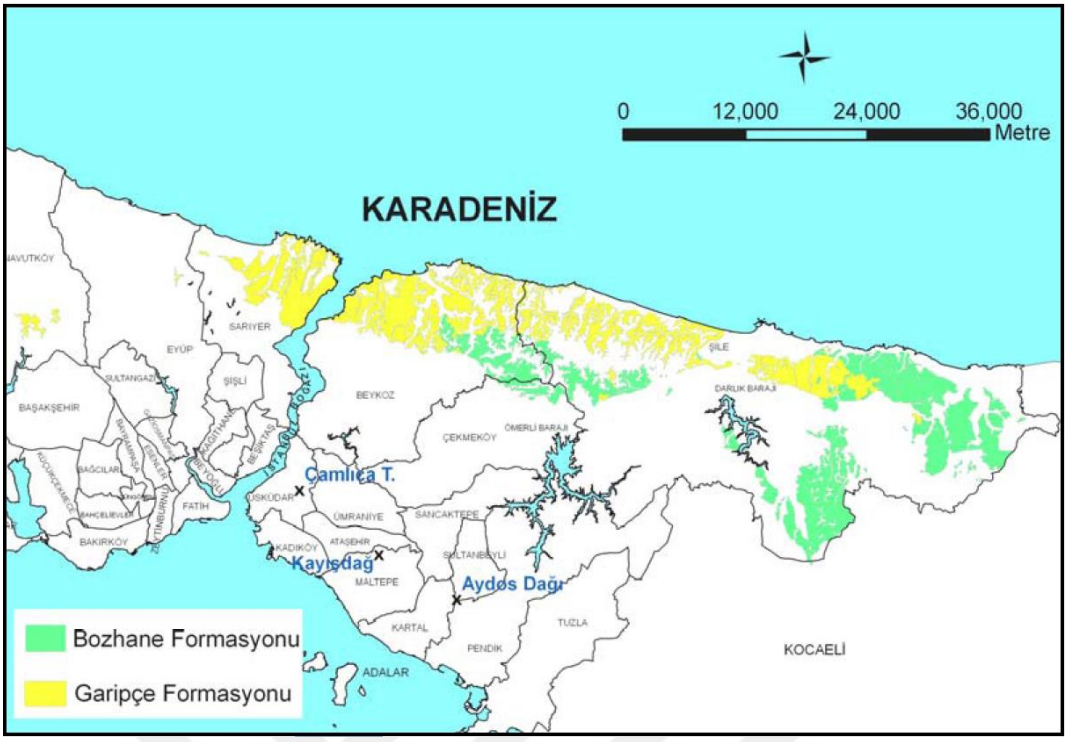
Haas (1938)'in içerisindeki fosillere dayanarak Venlokiyen yaşını önermiş olmasına rağmen, Baykal-Kaya(1965) Ludloviyen yaşını uygun görmüştür. Önalan (1982), ise birimin Landoveriyen-Ludloviyen arasında olacağını ifade etmiştir.



Şekil 4. 4: Dolayoba formasyonun İstanbul il sınırları içindeki dağılımı (Önalan, 1982, Özgül, 2011'den değiştirilerek)

4.1.5. Garipçe Formasyonu

Sarıyer Grubu' nun büyük ölçüde volkanitlerinden oluşan bölümü "Üst Kretase Püskürmeleri" (Baykal, 1943), "Tüf aglomera, lav" (Akartuna, 1963), "Şile Volkanitleri" (Yurtsever, 1996), "İstanbul Volkaniti" (Pehlivan, 1990), "Riva Formasyonu" (Gedik ve diğ., 2005) vb. adlar ile incelenmiştir. İstanbul boğazının Karadeniz'e çıkış noktasında her iki yakada yaygın olan volkano-sedimanter istifin Sarıyer-Riva bölgesindeki yüzeylemelerini ayrıntılı olarak inceleyen Keskin ve diğ. (2003) volkanitler için "Garipçe Formasyonu" adını kullanmışlardır. Birim Garipçe formasyonu, andezit-bazaltik andezit türü volkanit kökenli kum, çakıl, blok boyutunda malzeme içeren, genellikle porfirik dokulu aglomera, volkanik breş ve lavlardan oluşmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4. 5: Garipçe formasyonunun İstanbul il sınırlarındaki yayılımı (Özgül 2011'den alınmıştır)

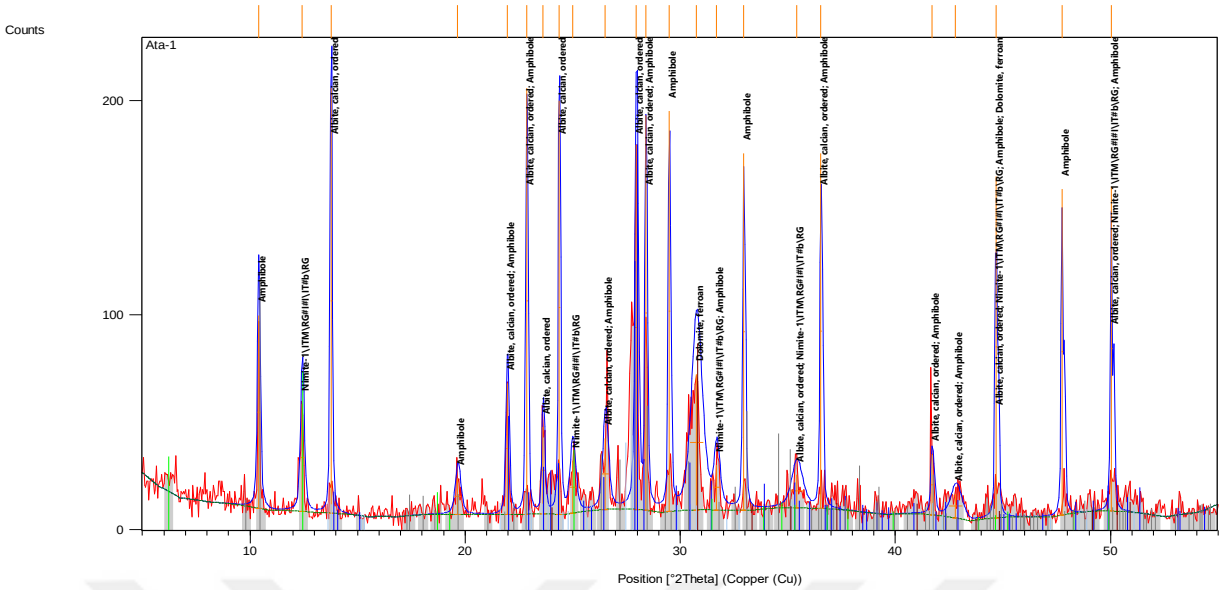
Şile örneği Şile yerleşim merkezinin batısında Karakiraz köyü doğusundan elde edilmiştir. Örnekleme, kırıntılı volkanik sedimentlerden oluşan Garipçe formasyonunun volkanik lav akıntılarının bulunduğu seviyeden elde edilmiştir.

4.2. İNCELENEN KAYAÇLARIN İÇYAPI ÖZELLİKLERİ

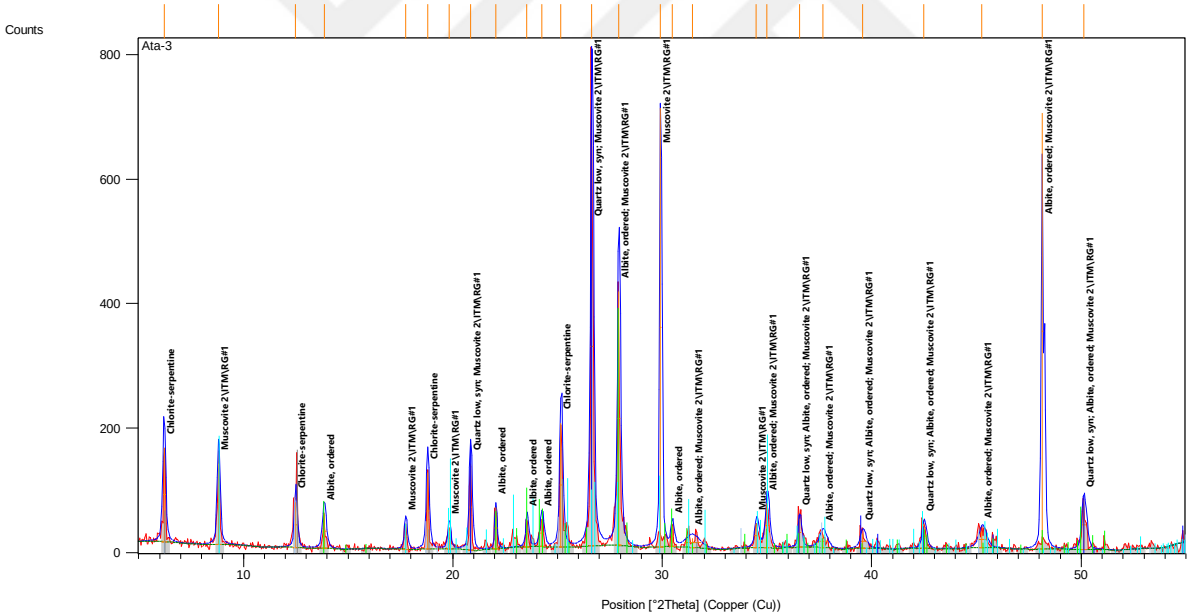
İncelenen kayaçların içyapı özellikleri mineralojik çalışmalar ve petrografik çalışmalar ile belirlenmiştir.

4.2.1. Mineralojik Özellikler

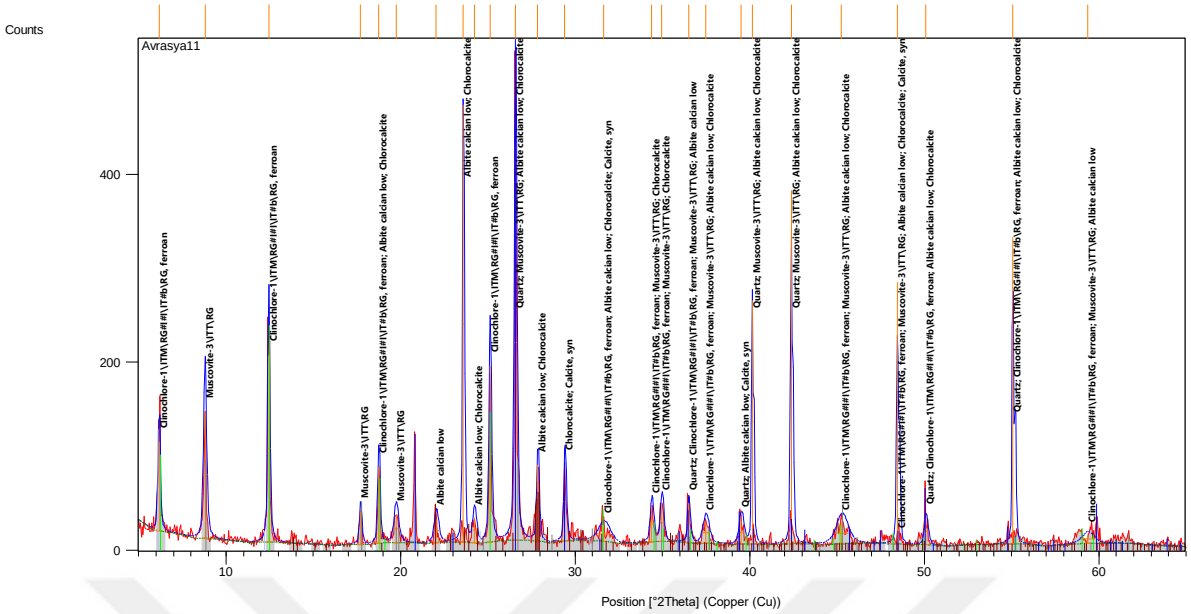
Çalışılan örneklerin XRD çalışmaları ile elde edilen diyagramları Şekil 4.6 ile- 4.14 arasında sunulmuştur.



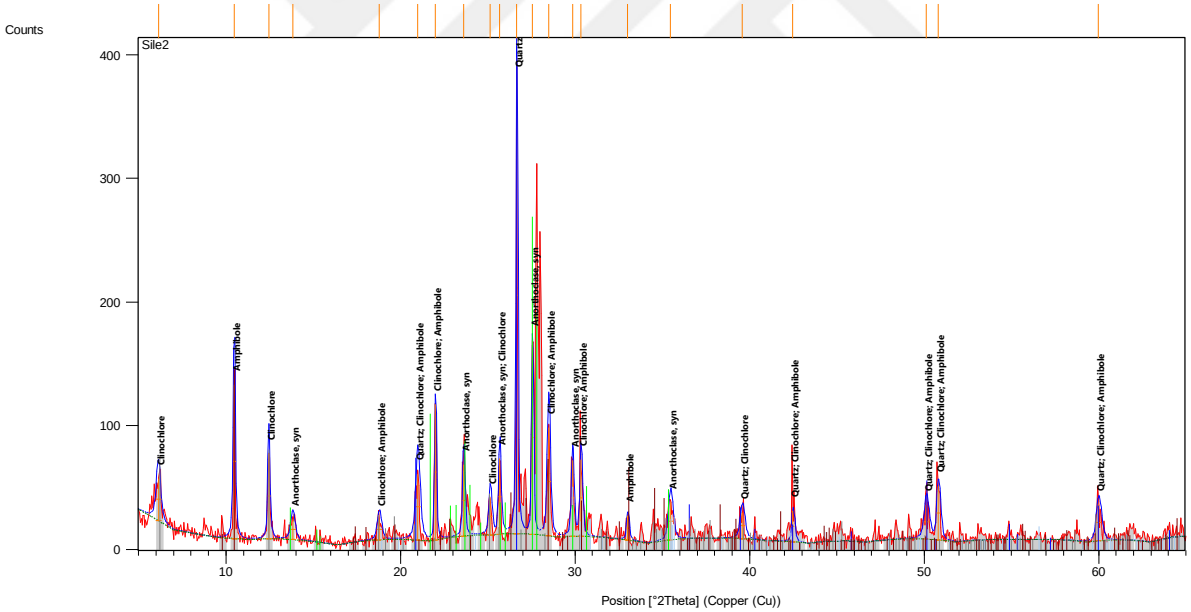
Şekil 4. 6: Dayk-1 kodlu örneğe ait XRD grafiği



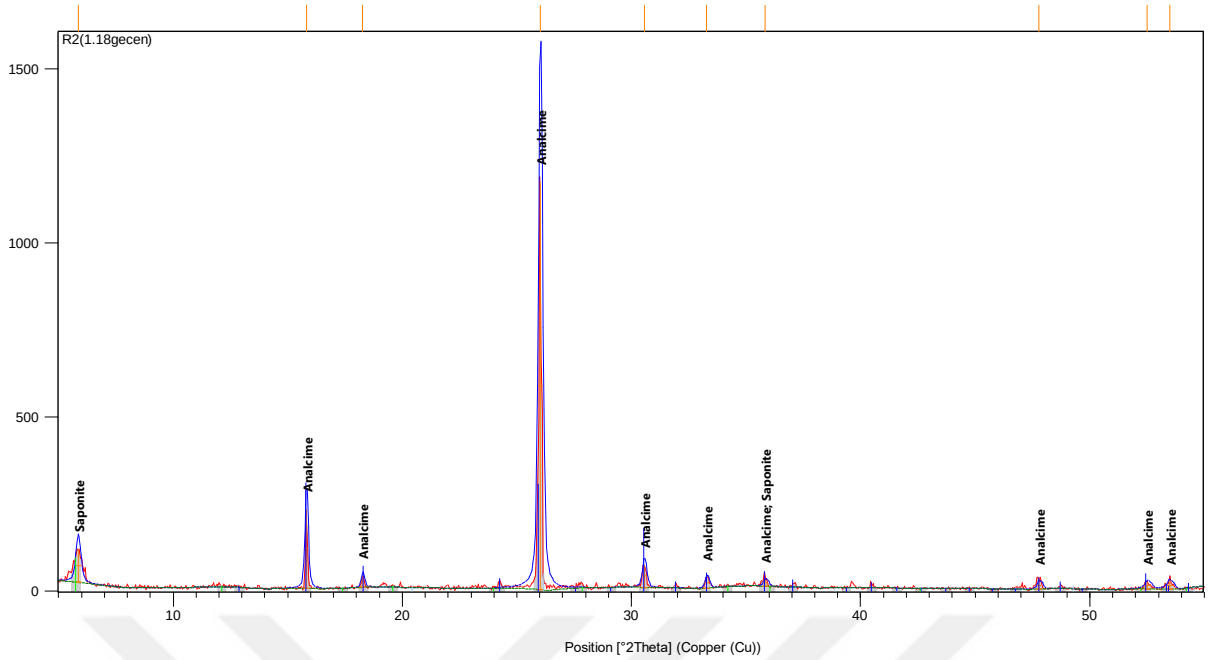
Şekil 4. 7: Dayk-2 kodlu örneğe ait XRD grafiği



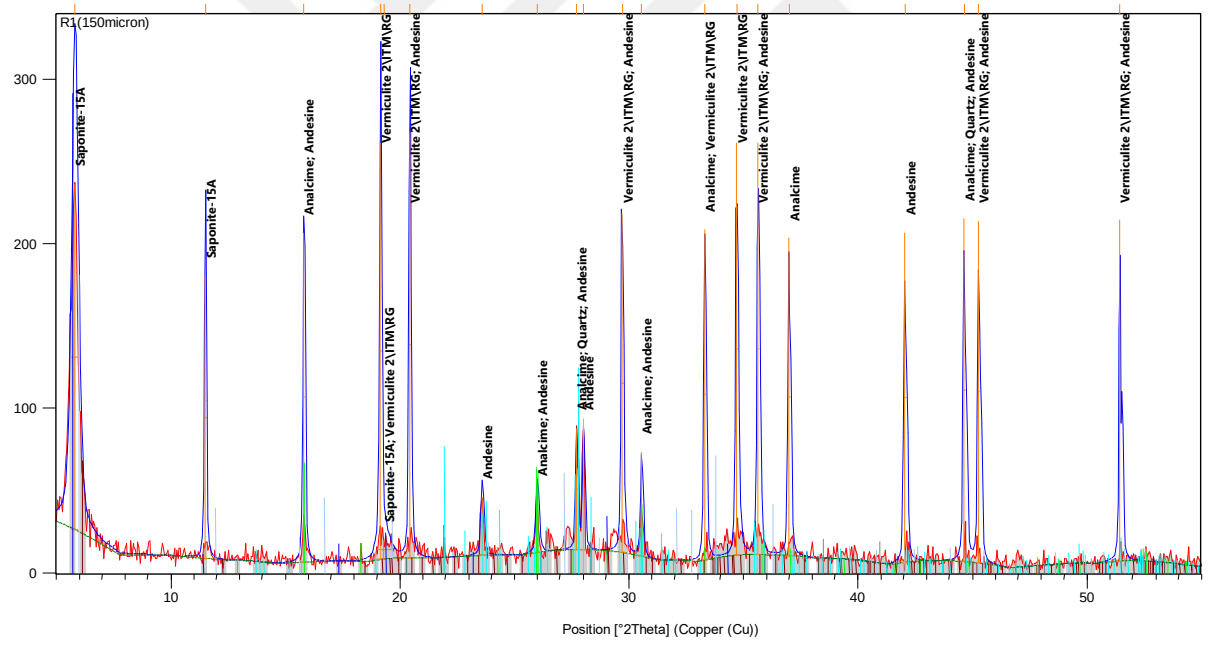
Şekil 4. 8: Dayk-3 kodlu örneğe ait XRD grafiği



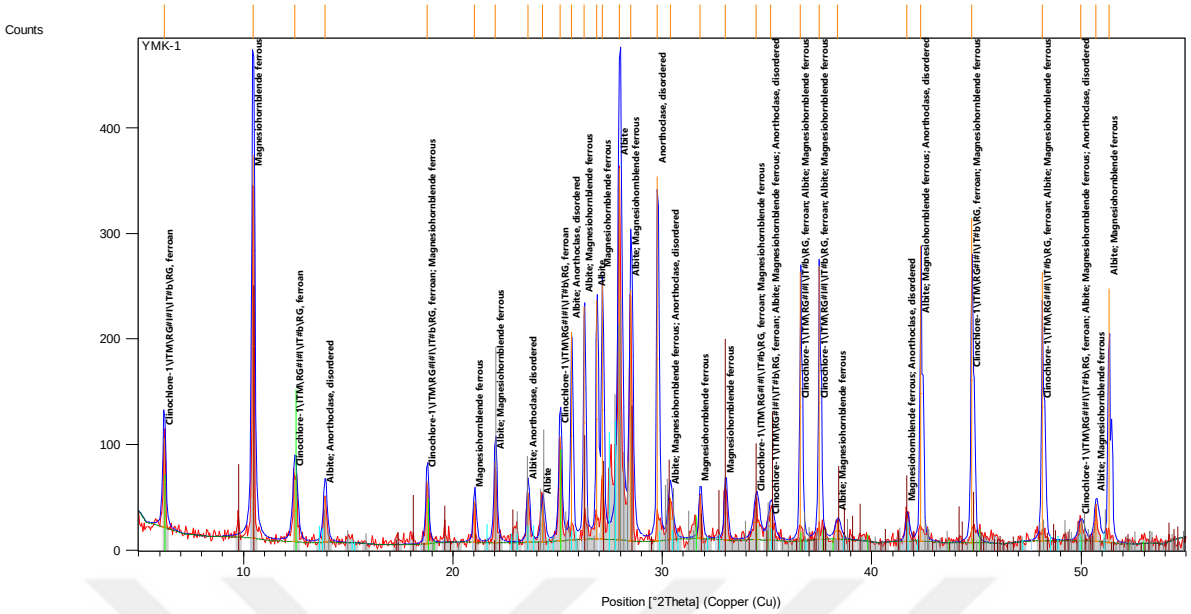
Şekil 4. 9: Şile-1 kodlu örneğe ait XRD grafiği



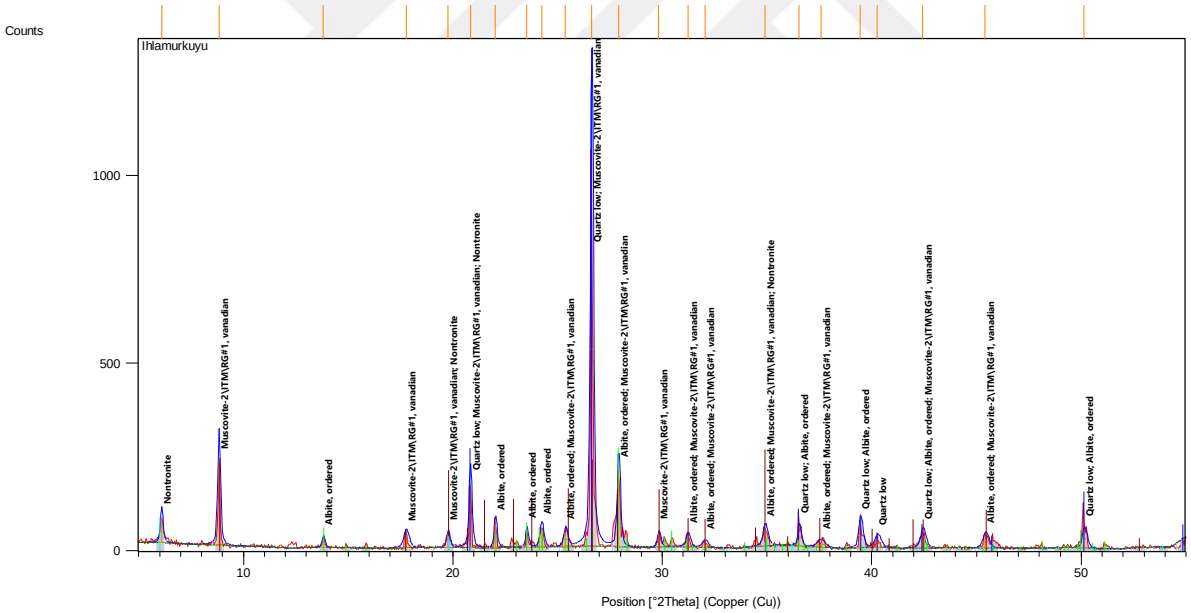
Şekil 4. 10: Şile-2 kodlu örneğe ait XRD grafiği



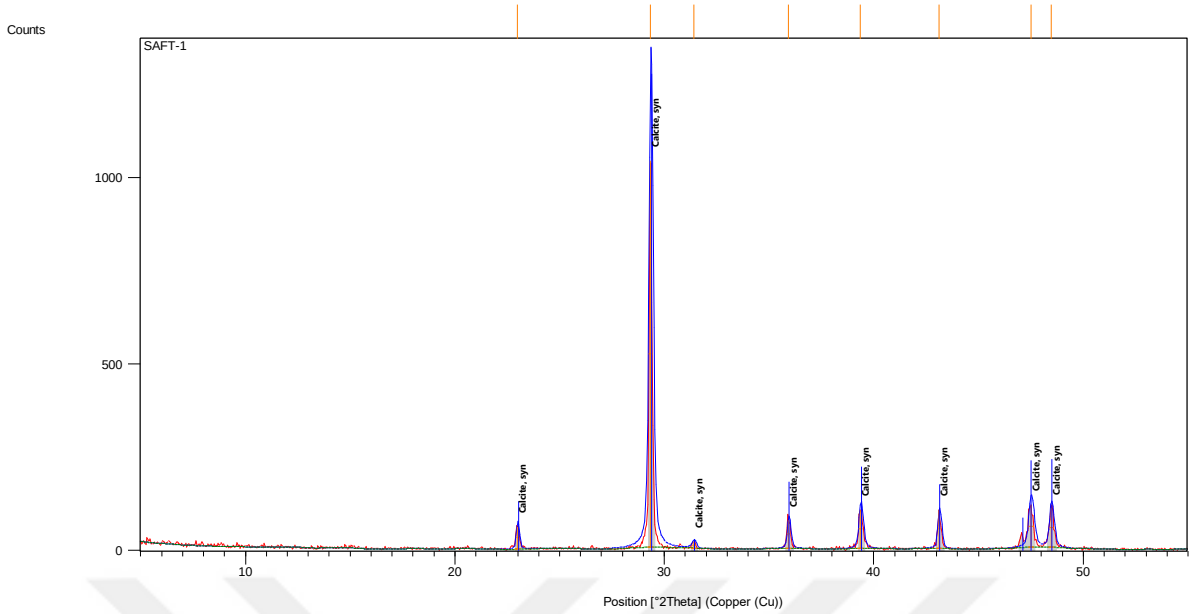
Şekil 4. 11: Şile-3 kodlu örneğe ait XRD grafiği



Şekil 4. 12: YMK kodlu örneğe ait XRD grafiği



Şekil 4. 13: Ihlamurkuyu örneğine ait XRD grafiği



Şekil 4. 14: Necip Fazıl örneğine ait XRD grafiği

XRD grafiklerinden elde edilen verilerin RİETVELD metodu ile sayısallaştırılması yardımıyla elde edilen mineral bollukları Tablo 4.1'de verilmiştir.

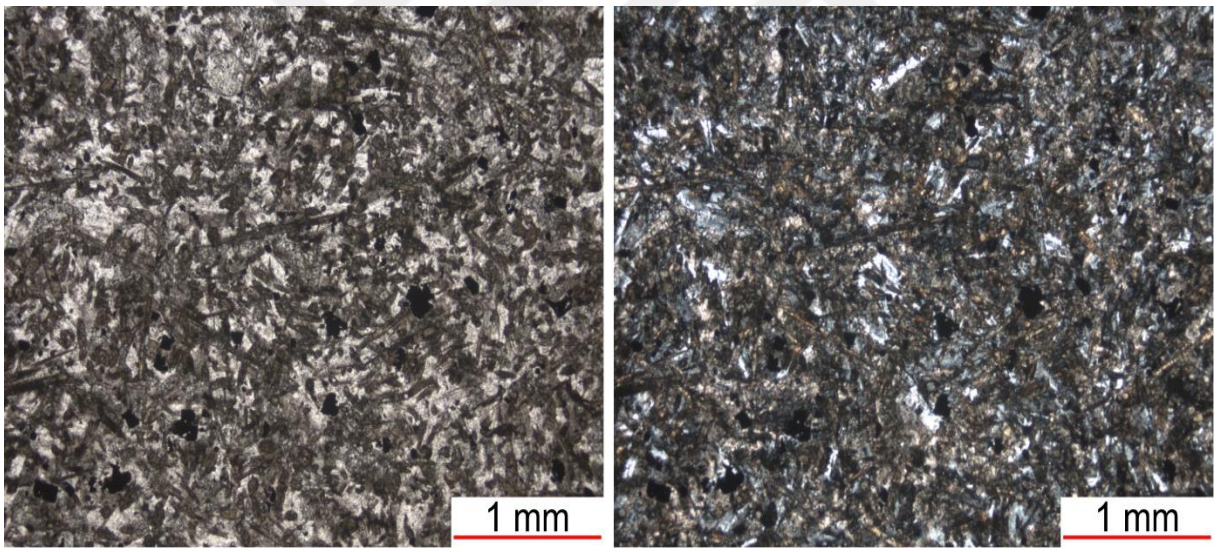
Tablo 4. 1: XRD çalışmalarında elde edilen mineral bollukları

ÖRNEK KODU	MİNERAL İÇERİKLERİ
DAYK - 1	%50,5 Albit, %24,4 Dolomit, %18,7 Amfibol, %5,3 Nimit
DAYK - 2	%38,2 Albit, %28,6 Klorit (Serpantin), %27,5 Kuvars, %5,7 Muskovit
DAYK – 3	%38,5 Klinoklor, %26,2 Albit, %22 Kuvars, %6,7 Muskovit, %6,6 Klorakalsit
ŞİLE - 2	%67,6 Anortoklaz, %13,9 Kuvars, %11,5 Amfibol, %7 Klinoklor
YMK	%40,1 Albit, %27,3 Hornblend, %20,3 Anortoklaz, %12,3 Klinoklor
IHLAMURKUYU	%51,4 Albit, %37,3 Kuvars, %11,3 Muskovit
NECİP FAZIL	%100 Kalsit

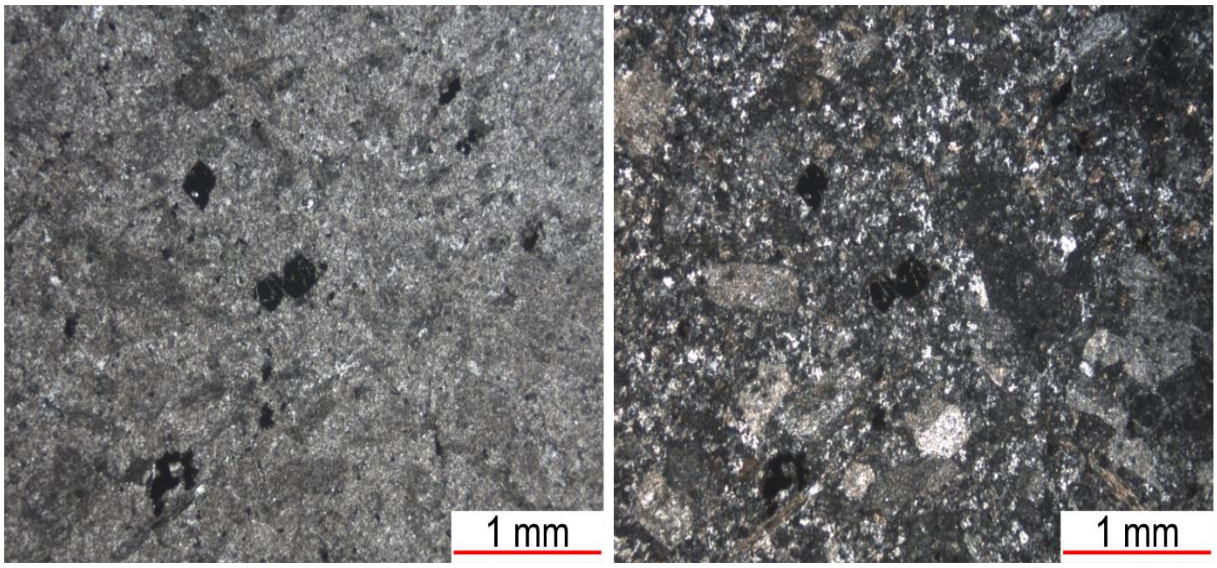
4.2.2. Petrografik Özellikler

Çalışma sahasında dayklar, sığ sokulum kayaları (Şile ve YMK örnekleri) ve çeşitli sedimenter kayalar bulunmaktadır.

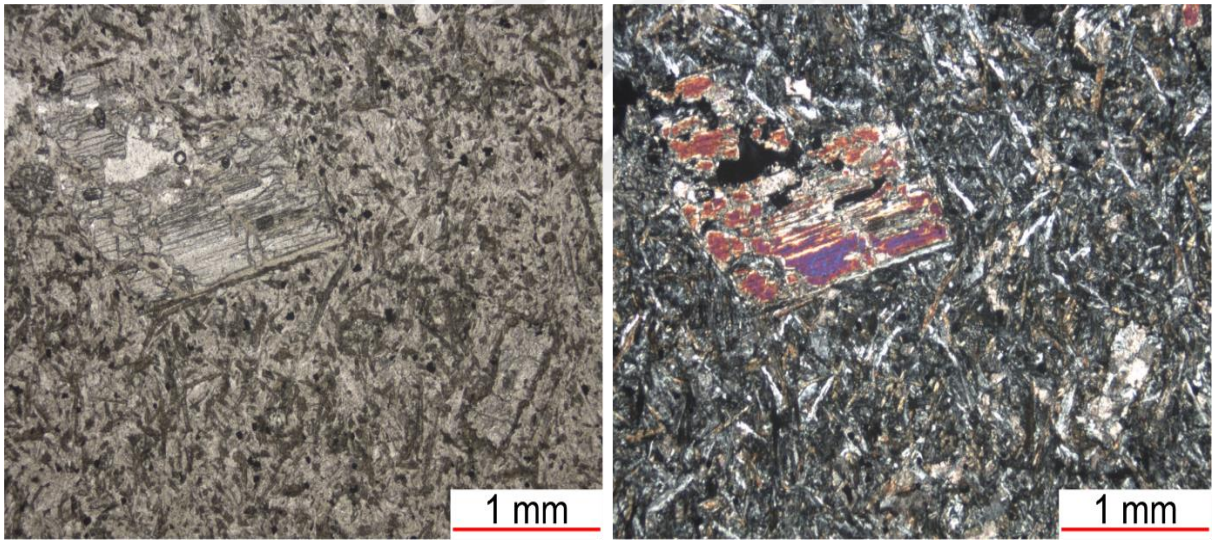
Petrografik çalışmalardan elde edilen verilere göre çalışılan dayklar lamprofir ve andezit bileşimlerindedir. Koyu renkli çoğunlukla amfibol ve ortoklazdan oluşan ve panidiyomorfik doku gösteren damar kaayçlarına lamprofir bileşimli denmektedir. Çalışma sahasındaki bu dayk örnekleri genelde yeşil, koyu yeşil renklerdedir ve plajioklaz fenokristalleri ve kloritler belirgindir. Plajioklaz kristallerinin boyutları 1mm – 3 mm arasında değişmektedir (Dayk 1 ve Dayk 3 örnekleri). Andezit bileşimli dayklar ise (Dayk 2) beyaz gri renklerdedir. Boyutları 1-5mm arasında olan feldspat kristalleri örneklerin büyük kısmını kapsamaktadır. Andezitik dayklarda amfibol ve biyotit mineralleri nispeten daha seyrektir.



Şekil 4. 15: Dayk 1 kodlu lamprofir daykın mikroskop altındaki görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü

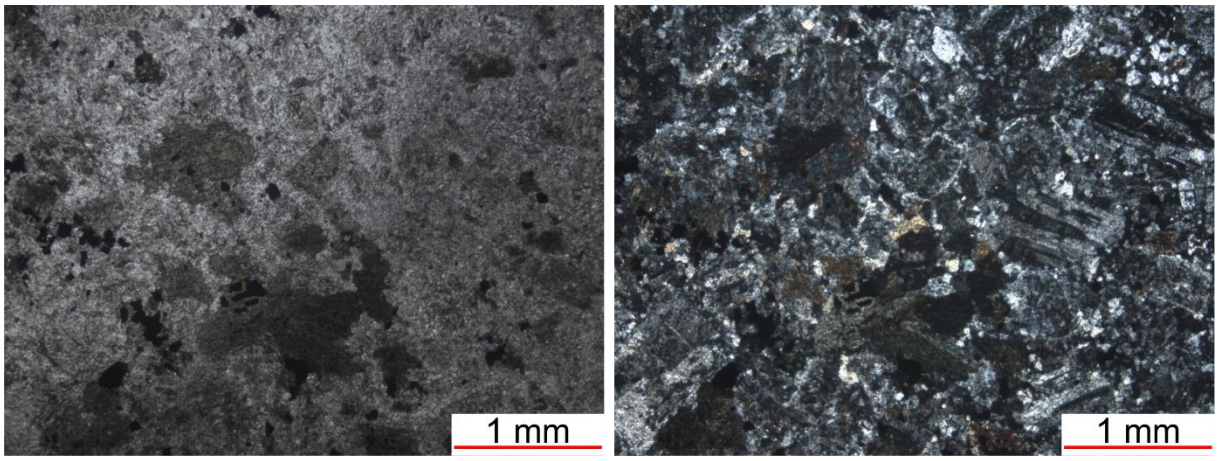


Şekil 4. 16: Dayk 2 kodlu lamprofir daykın mikroskop altındaki görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü



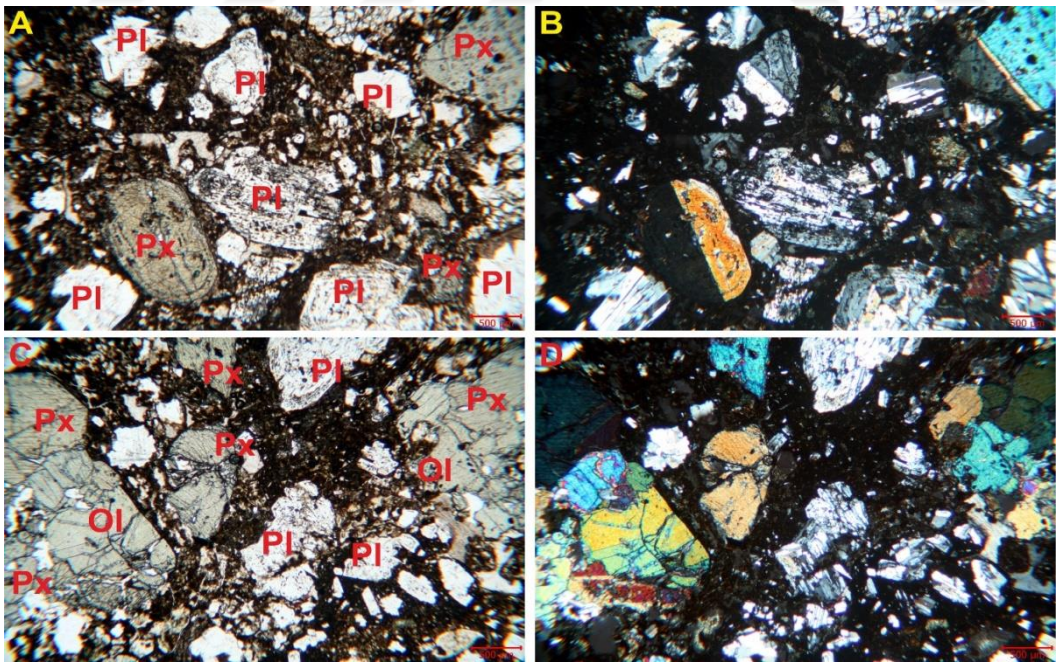
Şekil 4. 17: Dayk 3 kodlu lamprofir daykın mikroskop altındaki görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü

Şile 1 kodlu örnekler mikrodiyorit ve mikro-granodiyorit bileşimindedir. Bu örnekler feldspat fenokristalleri ve yer yer kloritleşmiş mafik mineraller içermektedir. Kristaller gözle belirlenebilecek boyutlarda olup izotrop bir görüntü oluştururlar.



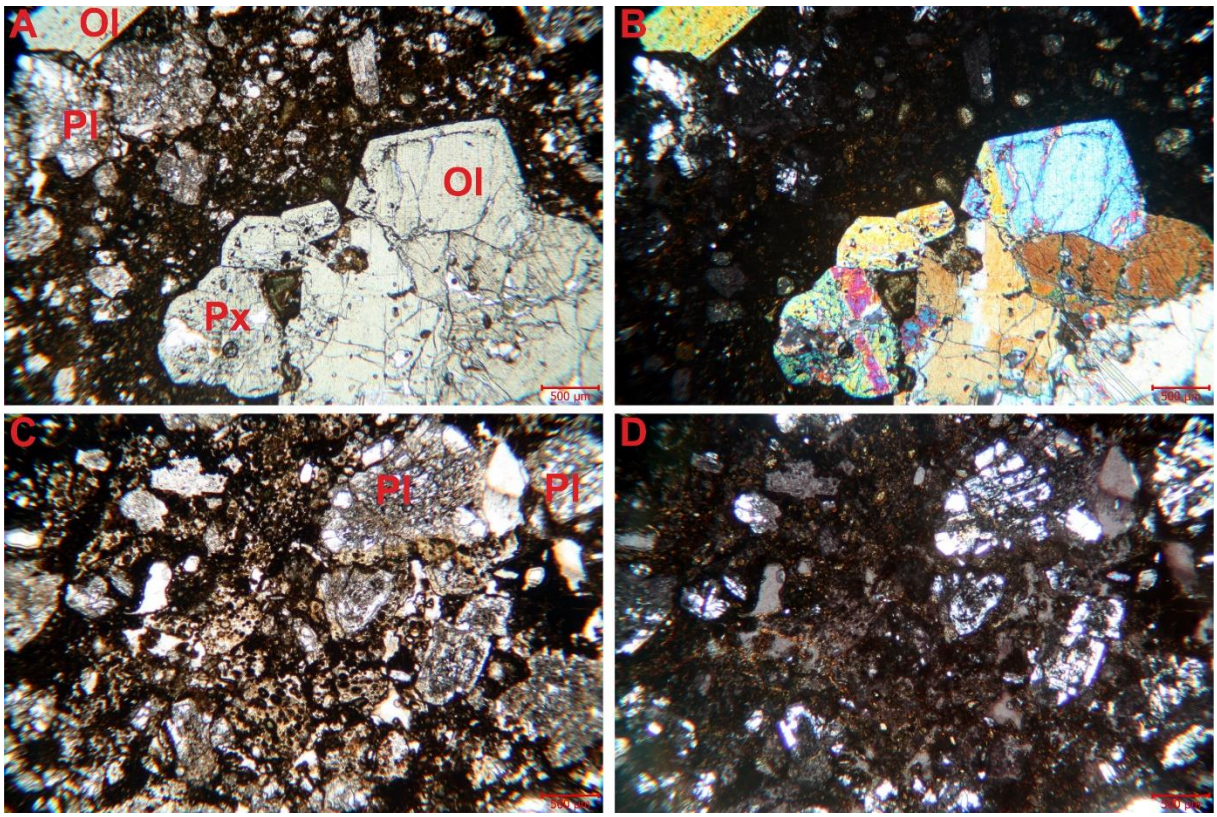
Şekil 4. 18: Şile 1 kodlu örneğin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü

Şile 2 ve Şile 3 kodlu örnekler içyapı özelliklerine göre bazaltik andezit olarak adlandırılabilir. Mikroskop altında yapılan incelemelerde, porfirik dokulu kayaç içerisinde bol miktarda plajioklas, daha az oranda piroksen ve olivin fenokristalleri (boyut olarak iri kristaller) içerdiği gözlenmektedir. Hamuru camsı ve nadirende ufak plajioklas mikrolitlerinden oluşur (Şekil 4.19). Hamur alterasyondan etkilenmiş olmasına karşın fenokristallerde yoğun alterasyon gözlenmez.



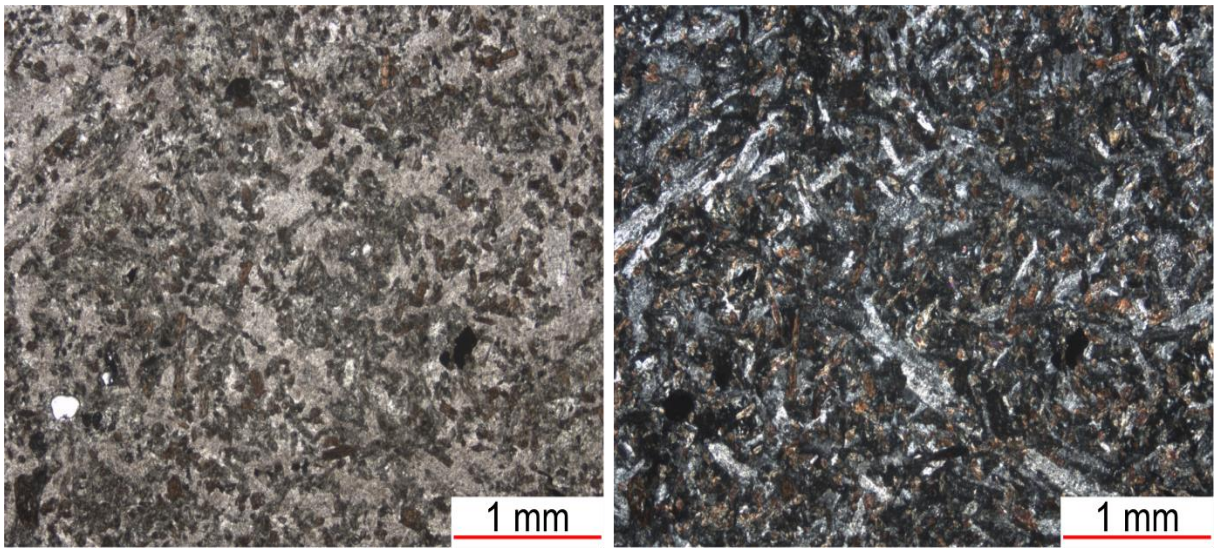
Şekil 4. 19: Şile 3 kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü

Şile 2 kodlu grimsi yeşil, koyu yeşil örnekler de içyapı özelliklerine göre yine bazaltik andezit olarak adlandırılabilir. Bu örnek te bol miktarda plajioklas, daha az oranda piroksen ve olivin fenokristalleri içermektedir. Hamuru camsı ve nadiren de ufak plajioklas mikrolitlerinden oluşur. Porifik doku egemendir (Şekil 4.20). Hamur alterasyondan etkilenmiş olmasına karşılık fenokristallerde yoğun alterasyon gözlenmez.



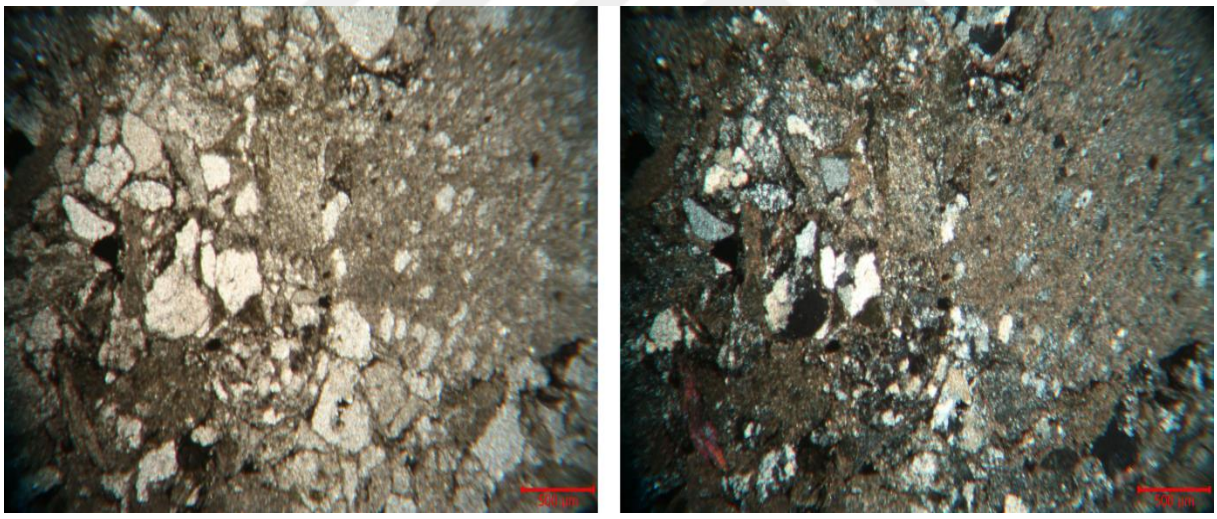
Şekil 4. 20: Şile 2 kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü

Kartal bölgesinden elde edilen (YMK kodlu) örnekler mikro-granodiyorit bileşimdedir. Bu kayalar genelde gri-siyah renklerde olup, hamurunda bolca feldispat mineralleri gözlenir. Camsı dokusu ve kırıklarda gelişen pirit çok belirgindir (Şekil 4.21).



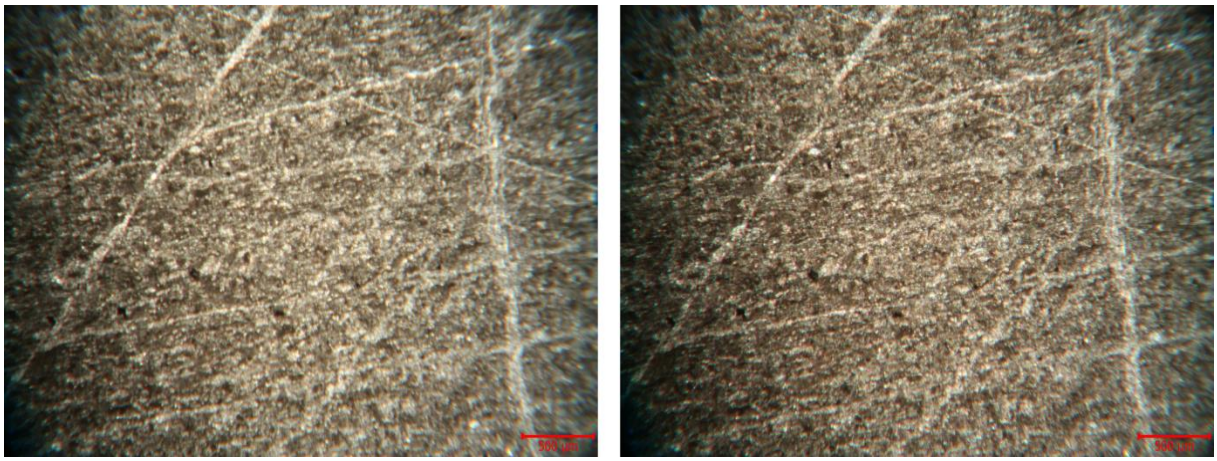
Şekil 4. 21: YMK kodlu örneğin mikroskop altındaki görüntüsü

Ümraniye çakıllı çakıltaşları (Ihlamurkuyu) bölgesinden alınan örnekler petrografik açıdan kuvars, mika çakıllı, karbonatlı ve kumlu tutturuculu kumlu çakıllı kireçtaşı özeliğindedir (Şekil 4.22).



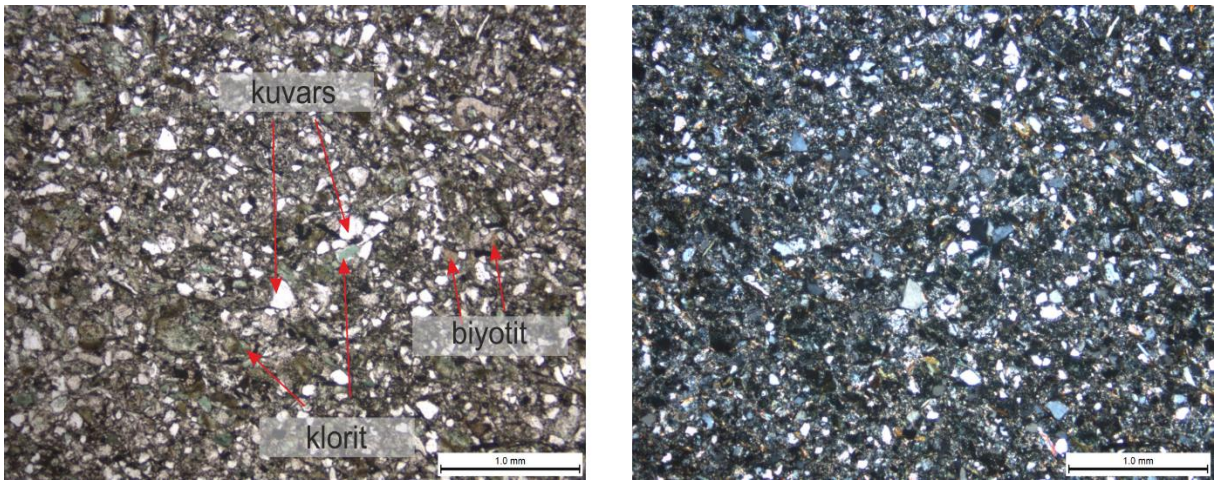
Şekil 4. 22: Ihlamurkuyu kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü

Ümraniye bölgesi Necip Fazıl lokasyonundan alınan örneklerde karbonatlı killi tutturuculu olup sparit damarlı silttaşlarından oluşmuştur (Şekil 4.23) .

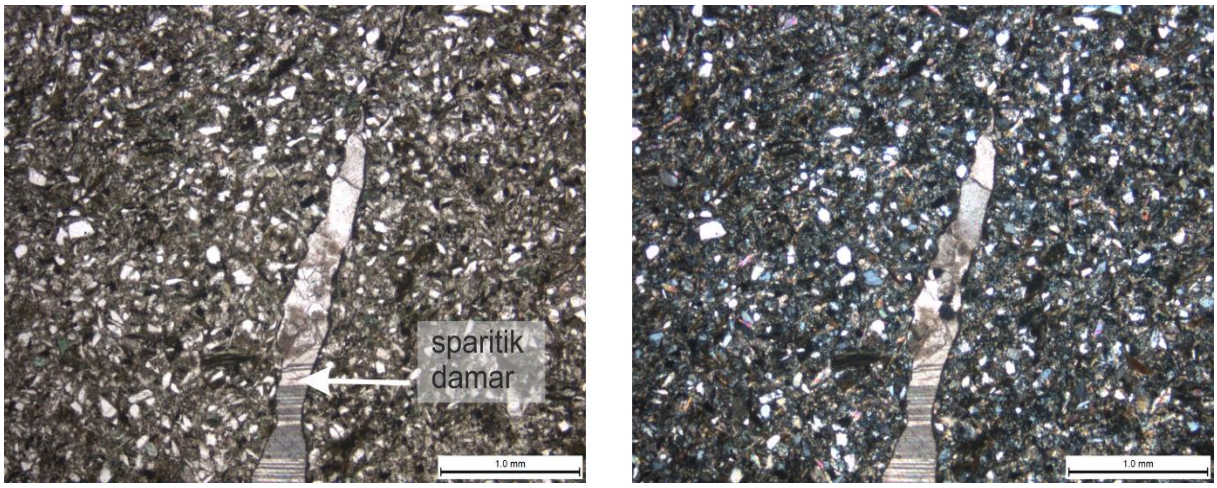


Şekil 4. 23: Necip Fazıl kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü

Gözdağ formasyonunun kumtaşı seviyelerini kesen sondajlardan alınan ve genel olarak grovak, şeyl, silisli şeyllerden oluşan Çekmeköy bölgesi kumtaşlarında, kuvars oranının yüksek olduğu belirgindir. Ayrıca biyotit ve mika miktarının da önemli oranda bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.24) Bunun yanında, biyotitlerin kloritleştiği gözlenmiş olup, bol miktarda yeşil renkli tipik kloritler tespit edilmiştir. Mineral tanelerini bir arada tutan hamurun farklı boyutlarda küçük mineraller olduğu yer yer karbonat tutturuculu olduğu da belirgindir. Ayrıca sparit damarlar ve karbonatlı kesimlere de rastlanmıştır (Şekil 4.25).

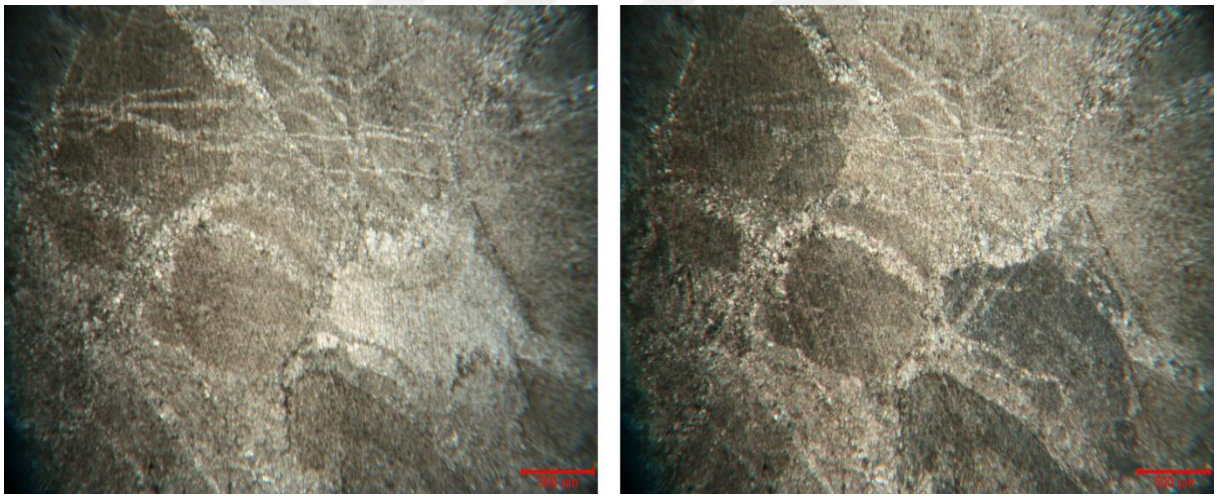


Şekil 4. 24: Çekmeköy bölgesi kumtaşlarının genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü



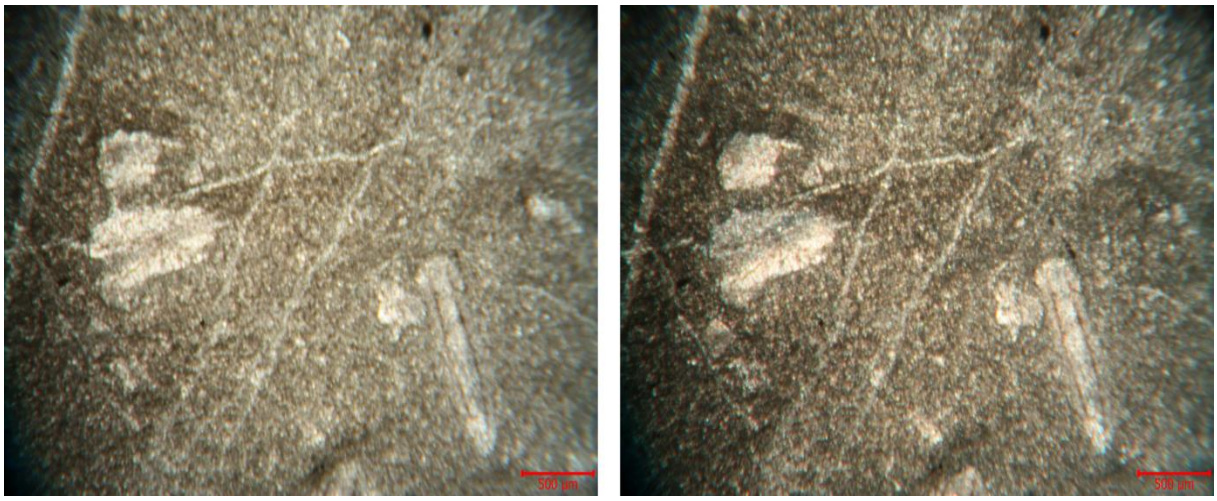
Şekil 4. 25: Çekmeköy bölgesi kumtaşlarının genel görünümü içinde sparti damarın görünümü a) tek nikolde görüntü b) çift nikolde görüntü

Ümraniye bölgesinden alınan kireçtaşı 1 kodlu örnekler ise petrografik açıdan sparit damarlı intraklastlı killi mikritik kireçtaşı olarak tanuımlanmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4. 26: Kireçtaşı 1 kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü

Kadıköy bölgesinden alınan kireçtaşı 2 kodlu yumrulu kireçtaşları petrografik olarak incelendiğinde, sparit damarları belirgindir. Kayaç örneği intraklastlı killi mikritik kireçtaşı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4. 27: Kireçtaşı 1 kodlu porfirik dokulu bazaltik andezitin mikroskop altındaki genel görünümü a) tek nikol görüntüsü b) çift nikol görüntüsü

4.3. İNCELENEN KAYALARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE YÜK ALTINDA DAVRANIŞLARI

Çalışılan kayaların Bölüm 3.3.3. ve 3.3.4.'te verilen standartlara uygun olarak yapılan fiziksel ve mekanik deney sonuçlarına göre elde edilen veriler Tablo 4.2'de sunulmuştur. Elde edilen verilere bakıldığında en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımları magmatik kayalarda tespit edilmiştir. Şile bölgesinden elde edilen mikrodiyorit türü kayaçlar en yüksek sıkışma dayanımı verirken en düşük değerler Ümraniye –Çakmak ve Ihlamurkuyu bölgesindeki iri kumlu çakıllı çakıltaşlarından elde edilmiştir.

Daykların ve diğer magmatik kayaların birim hacim ağırlıkları sedimenter kayalara göre nispeten daha yüksek, poroziteleri ise daha düşük bulunmuştur. Çekmeköy bölgesindeki Gözdağ formasyonuna ait kumtaşları bu durumun dışındadır. Bu örnekleme bölgesindeki kumtaşları magmatik kayaçlar kadar yüksek birim hacim ağırlığı ve yine bu kayalar kadar düşük porozite değerleri vermektedir. Şile bölgesindeki bazaltik andezitlerde ise durum biraz farklıdır. Bunun sebebi bu kayaların kaya kütle profilinde orta derecede ayrışmış seviyelerden alınmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Çalışılan kayaların çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerine bakıldığında ise kaya türünden bağımsız olarak bu gerilme seviyesinin 27-99MPa arasında olduğu görülmektedir (Tablo 4.2. ve 4.3).

Tablo 4. 2: İncelenen dayklar ve diğer magmatik kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Örnek Yeri	γ, (kN/m^3)	n_{eff}	V_p (km/s)	E (GPa)	υ (–)	σ_{peak} (MPa)	$\sigma_{CI,\,rad}$ (MPa)	BTS (MPa)
Dayk 1- Ataşehir lamprofir	26.28	1.02	5.97	55	0.15	176	53	
	25.36	2.19				195		
	26.24	0.86	5.90	55	0.13	195	72	
	26.14	1.13	5.90	49	0.13	185	70	
	26.38	0.93	5.86	52	0.12	244	77	19.6
	26.39	0.92	5.79	46	0.09	68.8	23	
	26.32	0.94	5.80	52	0.12	161	46	12.3
	26.49	1.03	3.93	26	0.08	151	42	10.2
	26.72	1.08	4.04	28	0.1	146	43	9.4
Dayk 2 - Ataşehir andezit	24.14	2.73	4.49	25	0.05	115	44	
	24.17	2.92	5.01	25	0.18	56	28	
	24.16	3.31	4.70	24	0.09	55	28	
	24.21	2.67	4.80	16	0.04	46	19	
	24.30	2.26	5.17	29	0.07	177	57	
	24.17	2.96	5.32	31	0.1	75	27	
	24.27	2.54	4.81	28	0.07	64	20	
	25.88	2.70	4.30			121		5.6
	25.62	2.41	4.62			172		8.9
Dayk 3- Avrasya tüneli lamprofir	27.64	2.11	5.40	34	0.09	186	47	11.4
	26.96	4.40	4.61	25	0.06	113	27	10.2
	27.19	3.80	4.68	25	0.08	164	41	11.1
						170		10.8
	26.86	4.65	4.42	22	0.06	149	42	10.7
Şile - 1	26.80	0.55	6.13			305	99	12.1
	26.98	0.56	5.54	48	0.11	190	48	10.5
	26.54	0.55	5.47	45	0.09	133	45	7.5
	26.81	0.53	5.26	48	0.14	168	54	9.9
	26.57	0.55	5.82			276	86	12.2
	26.39	0.56	6.06			242		
	26.57	0.71	6.26			257		
Şile - 2	26	5,5				63		
	26	5,5				64		
	26	5,5				63		
Şile - 3	24	3				46		
	24	3				43		
	24	3				41		
Kartal Bölgesi (YMK)	27.10	0.55	5.84	41	0.1	233	59	16.6
	27.10	1.08	5.70	43	0.09	214	36	15
	27.03	1.08	5.93	44	0.1	202	49	12.8
	26.95	1.07	5.58	39	0.1	255	50	18.8
	27.01	1.09	5.47	47	0.09	238	48	16.9

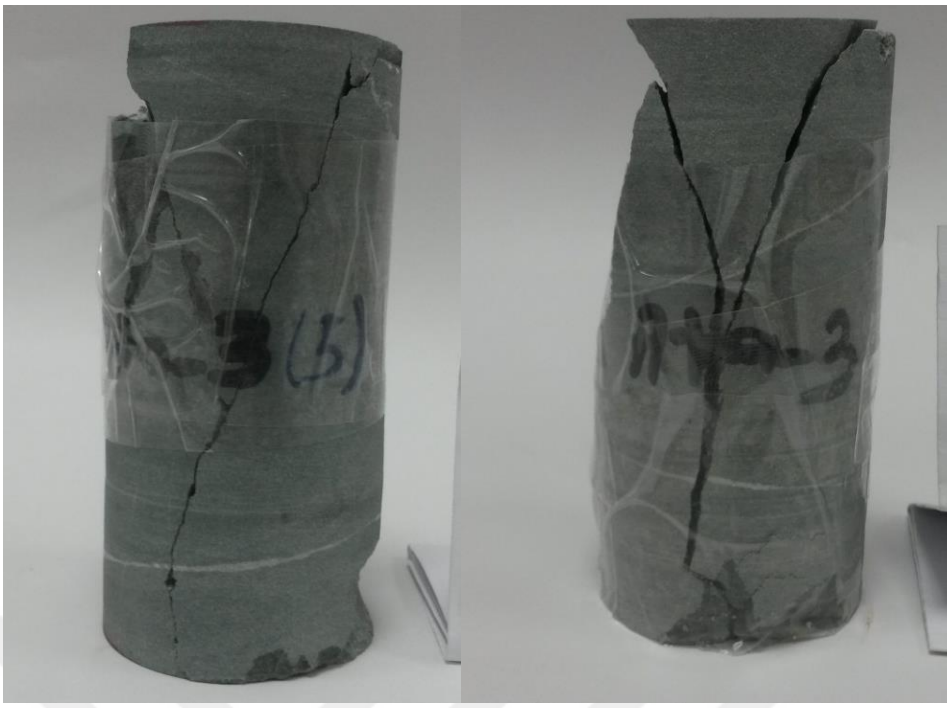
Tablo 4. 3: İncelenen sedimanter kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Örnek Yeri	γ, (kN/m^3)	n_{eff}	V_p (km/s)	E (GPa)	υ (–)	σ_{peak} (MPa)	$\sigma_{CI,\ rad}$ (MPa)	BTS (MPa)
Ümraniye bölgesi – Çakmak	24,06	6,8	2,5			28		
	23,79	7,1	2,4			25		
	25,76	2,3	3,8	12,13	0,04	69	27	
	22,25	15,3	1,5			9		
	23,73	6,4	2,4			26		
	23,21	6,6	2,4			27		
	24,67	2,8	3,6			40		
	24,50	2,8	3,7			39		
	24,52	2,8	3,7			38		
	24,58	3,0	3,8			37		
Ümraniye bölgesi – Ihlamurkuyu	23,12	9,0	1,6			18		
	22,76	8,7	1,6			22		
	24,41	4,8	2,1			27		
Ümraniye bölgesi – Necip Fazıl	22,68	10,3	2,7			33		5,6
	22,79	9,7	3,2			58		9,5
	22,22	10,8	2,1			20		4,8
	22,18	9,7	1,9			17		4,2
	23,15	9,6	3,4			53		7,8
	25,02	0,3	6,2			92		
	25,54	1,0	6,8			94		
	24,79	0,8	6,6			107		
	25,06	1,4	5,5			86		
Çekmeköy Bölgesi (Kumtaşı)	26,95	2,0				18		6,4
	27,37	1,1				54		9,7
	27,45	1,3				28		11,1
	27,46	1,4				62		11,3
	27,42	1,4				109		17,3
	27,38	1,8				76		12,4
	26,82	1,3				120		9,3

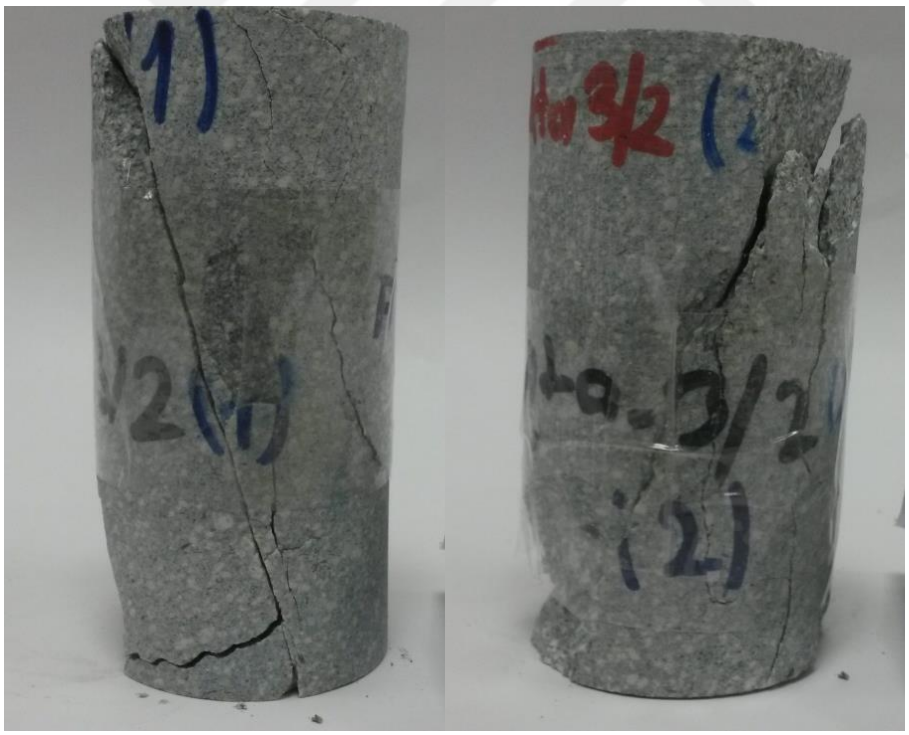
Ümraniye bölgesi (Kireçtaşı 1)	25,79	0,31	6,71	76,6	0,20	121,2	39	6,1
	25,66	0,24	6,57	73,4	0,20	150,1	55	10,2
	25,67	0,50	6,30	59,6	0,17	120,8	45	6,0
	25,54	0,35	5,96	59,2	0,13	125,1	47	7,0
	25,63	0,20	6,23	71,2	0,15	137,7	50	7,1
	25,78	0,20	5,90	47	0,1	134	44	7,7
	25,62	0,35	6,01	63	0,06	116	35	6,6
Kadıköy bölgesi (Kireçtaşı 2)	24,65	1,77	6,32	49,7	0,10	53,3	17,0	
	24,16	2,49	5,88	43,2	0,08	74,5	24,0	
	24,60	2,70	5,86	45,1	0,13	64,0	24,0	
	23,57	4,99	6,13	21,3	0,05	50	15	4
	24,13	4,05	5,07	47	0,04	32	11	3
	24,17	4,89	4,68	33,7	0,08	49	14,00	3,8

4.4. İNCELENEN KAYAÇLARIN YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI VE YENİLME ÖZELLİKLERİ

Tek eksenli sıkışma dayanımı testi sonrasında incelenen kayalarda gelişen yenilme şekilleri Şekil 4.28 – 4.39 arasında sunulmuştur. Bu yenilme şekillerine göre en yüksek dayanımı veren Şile mikrodiyoriti, Kireçtaşı 1, YMK gibi örneklere bakıldığında örneklerin yüke paralel çok sayıda kırık geliştirecek şekilde yenildiği gözlenmektedir. Tek eksenli sıkışma dayanımı düşük olan örneklerin ise makaslma süreksizliği şeklinde yenildiği (Ümraniye – Çakmak, Necip Fazıl örnekleri gibi) gözlenmektedir. “Y şeklinde” yenilmeler ise nispeten orta derecede dayanım gösteren örneklerde gözlenmiştir. Szwedzicki (2007)’nin farklı kayalarda tek eksenli sıkışma deneyleri sonucunda meydana gelen makro yenilme şekillerinin bu tez çalışmasında elde edilen görüntüler ile uyumlu olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4. 28: Dayk 1 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 29: Dayk 2 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 30: Dayk 3 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 31: Bazalt 1 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 32: Bazalt 2 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 33: Bazalt 3 örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 34: Kartal bölgesi YMK örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 35: Ümraniye Çakmak bölgesi örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 36: Ümraniye Necip Fazıl bölgesi örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı altında tipik yenilme şekilleri



Şekil 4. 37: Çekmeköy Bölgesi (Kumtaşı)

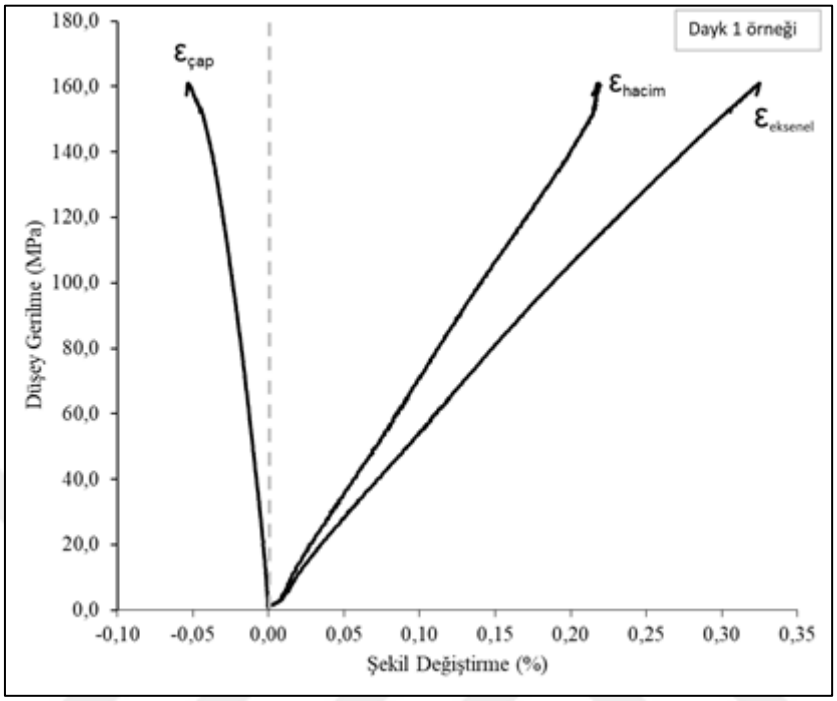


Şekil 4. 38: Ümraniye bölgesi (Kireçtaşı 1)

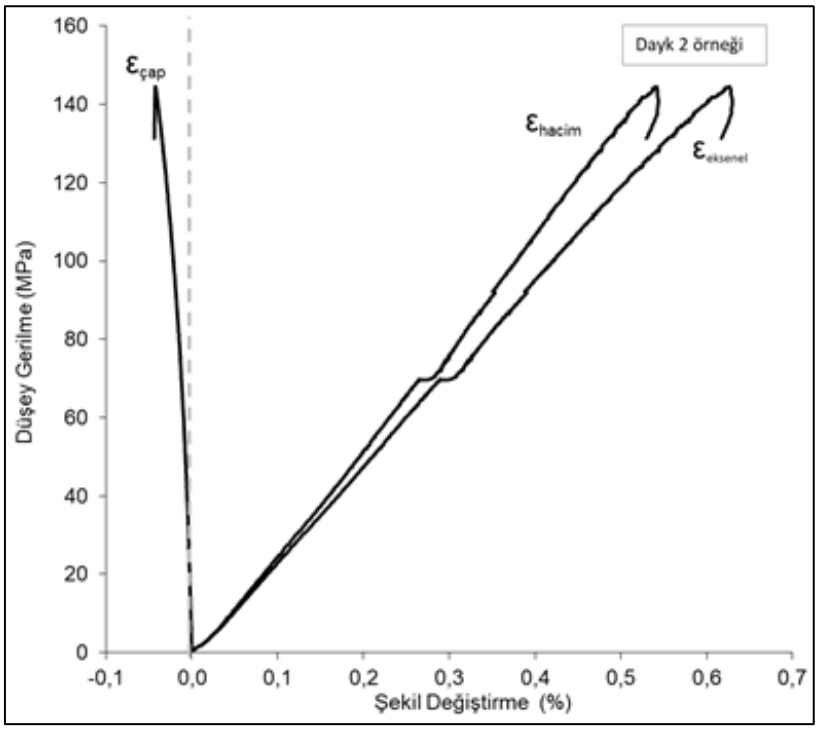


Şekil 4. 39: Kadıköy bölgesi (Kireçtaşı 2)

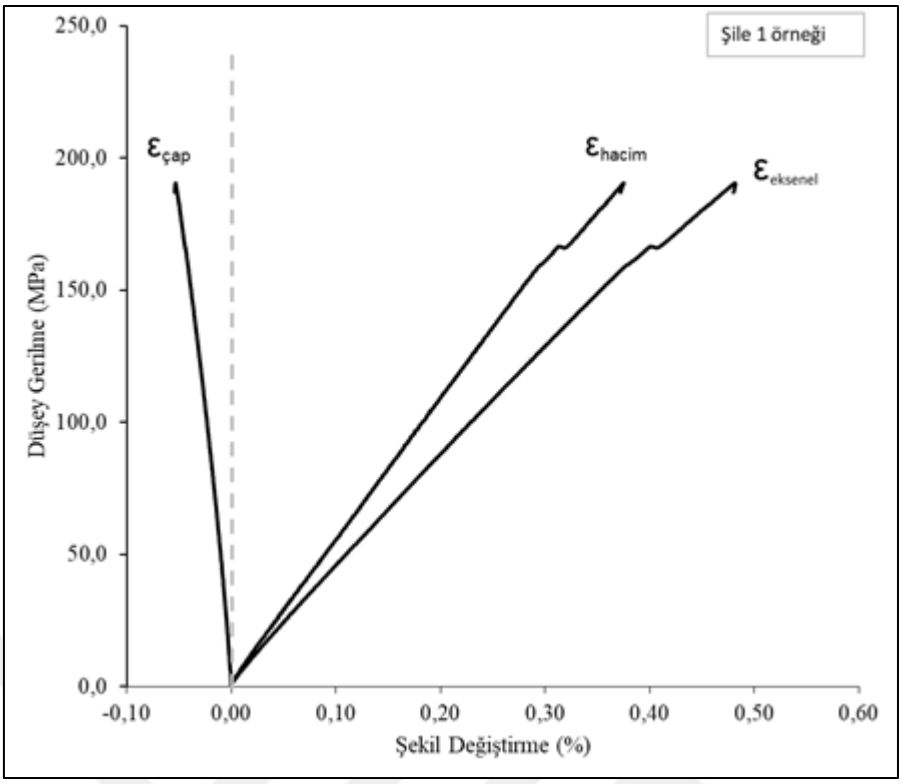
Çalışılan kaya örneklerinin gerilme şekil değiştirme grafikleri ile çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin, tek eksenkli sıkışma dayanımıa oranlarını gösteren grafikler Şekil 4.40-4.45 arasında sunulmuştur.



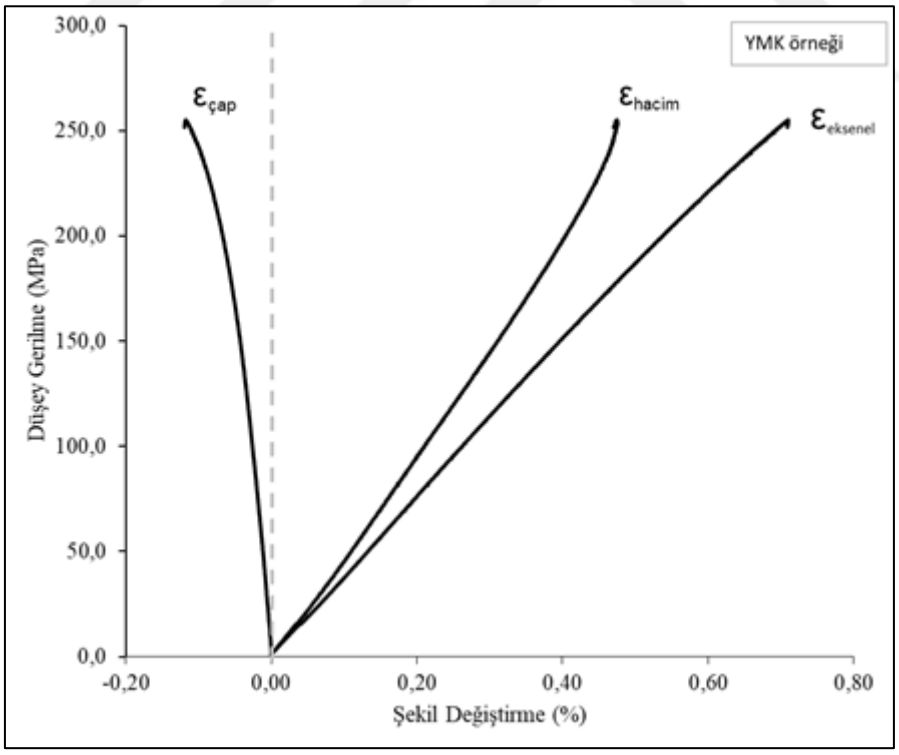
Şekil 4. 40: Dayk 1 kodlu örnekler için tipik gerilme – şekil değiştirme grafiği



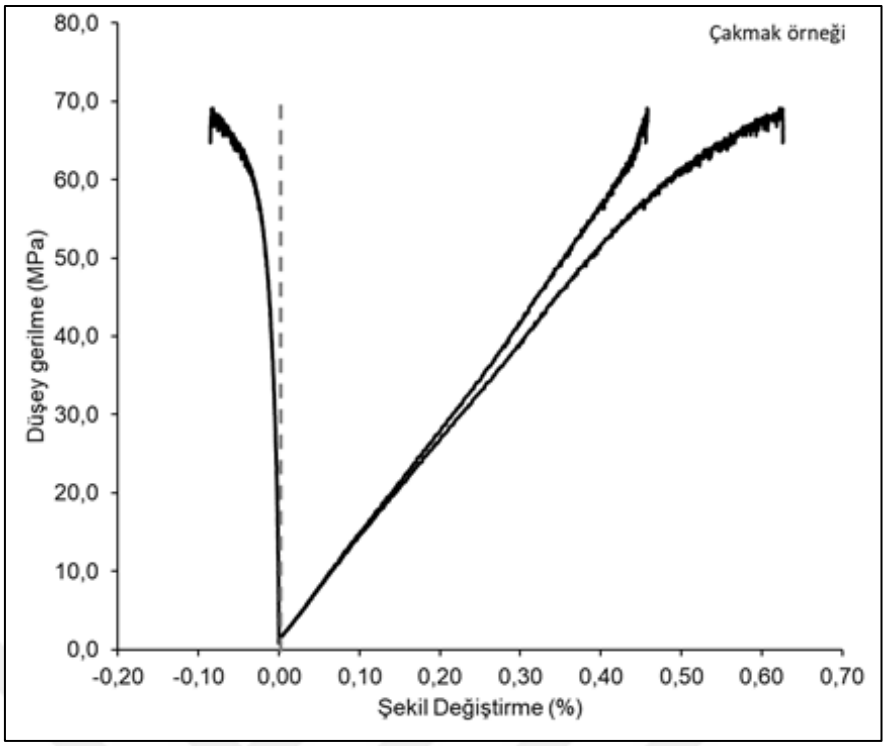
Şekil 4. 41: Dayk 2 kodlu örnekler için tipik gerilme – şekil değiştirme grafiği



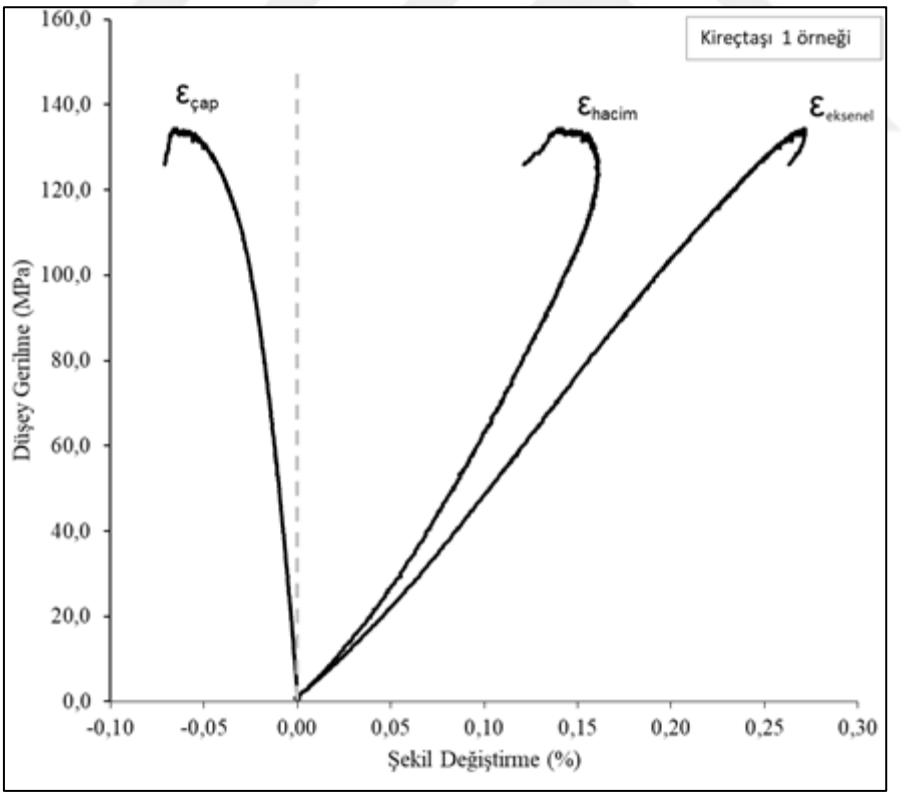
Şekil 4. 42: Şile 1 kodlu örnekler için tipik gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4. 43: YMK kodlu örnekler için tipik gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4. 44: Çakmak bölgesi örneklerine ait tipik gerilme şekil - değiştirme grafiği



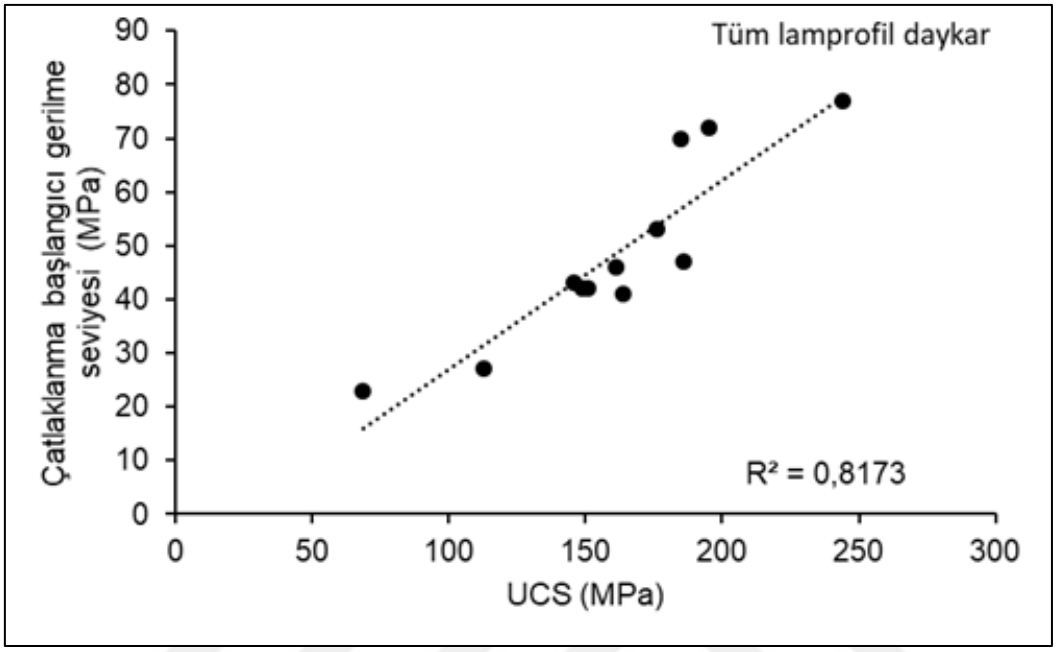
Şekil 4. 45: Kireçtaşı 1 kodlu örneklere ait tipik gerilme - şekil değiştirme grafiği

Bu grafiklerde aradaki oransal ilişki, veriler için en uygun doğrunun (trendline) sıfır noktasından geçirilmesi ile elde edilmiştir. Aralarındaki korelasyon katsayıları ise en büyük lineer bağıntıyı verecek şekilde çizdirilen bağıntı doğrusu ile belirlenmiştir. Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri ile tek eksenkli sıkışma dayanımı arasındaki oranlar genelde yüksek değerler vermekte beraber YMK bölgesinde alınan mikrogranidiyorit örneklerde ve kireçtaşı 1 örneğinde diğer örneklere göre göreceli olarak düşük korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Bunun ana sebebi YMK örneklerinde piritfenokristallerinin varlığı (Şekil 4.56) oluşumları boyunca meydana gelen kırılmalar ile kaya içerisinde önceden var olan mikro süreksizliklerin gerilme altında aktive olması ile kayaçta şekil değiştirmelerin farklı gerilme seviyelerinde başlamasından dolayıdır. Bu durum YMK örneğinin (Şekil 4.56) iç yapısında ve örneğin tek eksenli sıkışma dayanımındaki kırılma şeklinde açıkça görülmektedir. Örnek yüke paralel kırılacak iken önceki süreksizliklerden dolayı farklı şekilllderde parçalanmış bu da şekil değiştirme değerleini etkilemiştir. Kireçtaşı 1 örneğinde de benzer durum olmakla beraber YMK örneğindeki gibi yüksek derecede uyumsuz değerler gözlenmemiştir. Kireçtaşı 1 örneğinde kireçtaşı içerisindeki özellikle sparitik damarlar (beyaz renkli damarlar) yük altında kayanın öncelikle enilmeye başlayan kısımları olmuştur. Ancak kayaç örneği bütününde bu damarlardan pek çok olduğu için gelişen kırıklar örneğin dağılarak yenilmesine engel olmuş ancak farklı çatlak gelişimi seviyelerinin gelişmesine neden olmuştur. Bu durum, çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyesi ile kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı arasında farklı oranlar oluşmasına neden olmuştur. Ancak yine de elde edilen korelasyon katsayısı kireçtaşı 1 örneği için oldukça yüksektir.

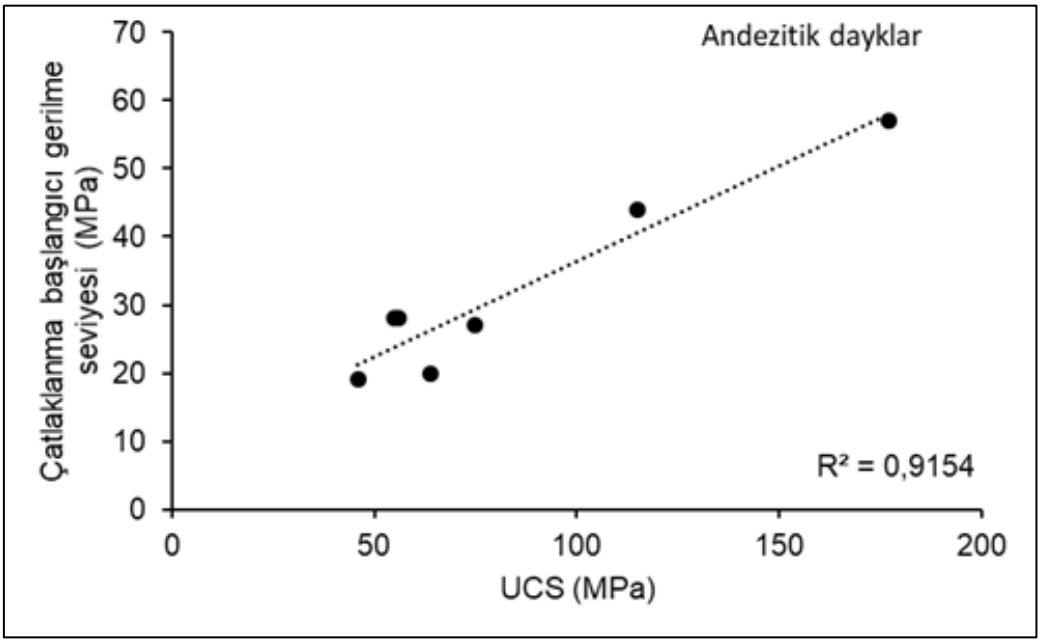
Yukarıda sayılan farklı değerlerin yanında magmatik kayaçları ve sedimenter kayaçların çatlaklanma başlangıcı değerleri tek eksenli sıkışma dayanımının %28-39 değerleri arasında kümelendiği belirgindir (Tablo 4.4). Magmatik kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları nispeten yüksek olsa dahi çatlak gelişimleri en yüksek sıkışma dayanımlarının %29'u mertebelerinde başlamaktadır. Sedimanter kayaçlarda ise çatlakların gelişimi en yüksek sıkışma dayanımının %35'i seviyelerinde başlamaktadır. Sonuç olarak bu kayaların uzun dönem performanslarında çatlakların başlama gerileme seviyelerinin tek eksenli sıkışma dayanımlarının yaklaşık 1/3'ü seviyelerinde başlayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu veri kayaların en yüksek dayanımlarının yarısından daha az bir seviyede çatlaklanmaya başladıklarını göstermektedir. Özellikle yeraltı kazılarında kayaların uzun dönem performanslarında bu değerin önemi orta az çatlaklı kayalar için çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. (Diederichs, 2007; Martin ve Christiansson 2009, Nicksiar ve

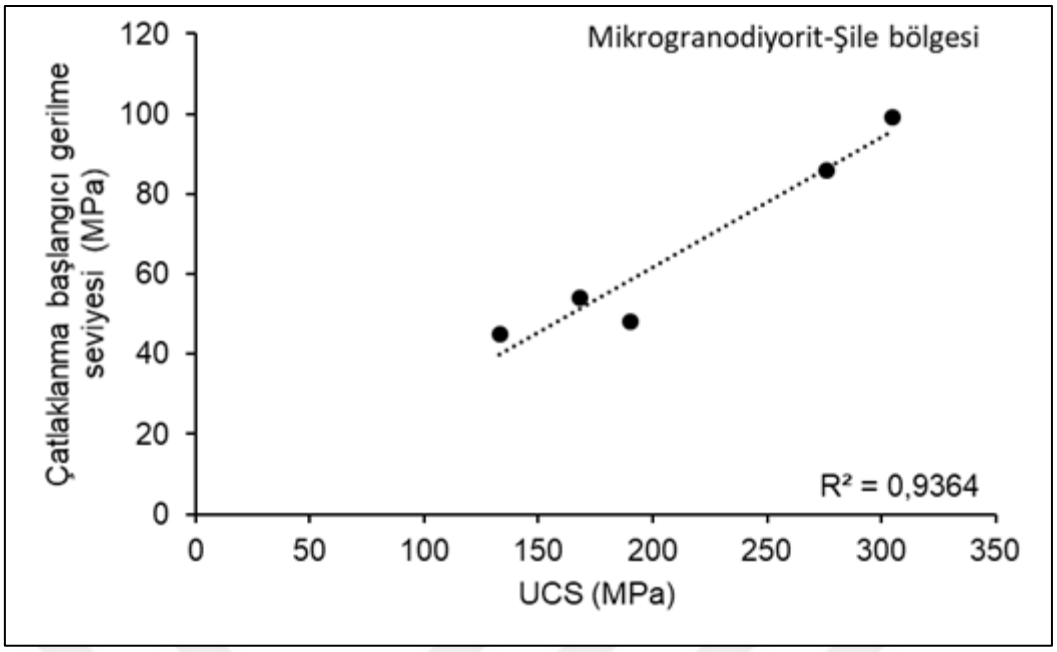
Martin 2013). Tablo 4.2'ye göre elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde çalışılan kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının, çekme dayanımına oranları 9-20 arasındadır. Yine Tablo 4.4'e göre orta dereceli çatlaklı kayalardan itibaren çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyesini göz önüne alan kavlaklanma analizleri İstanbul kayaları için önem arz etmektedir.



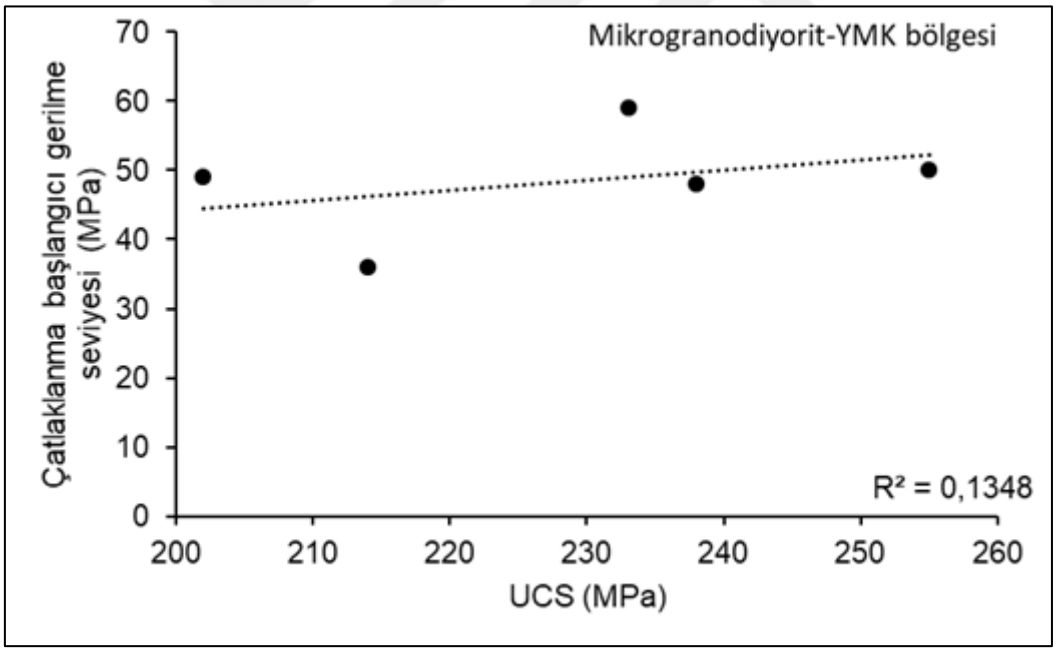
Şekil 4. 46: Lamprofir dayklar için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



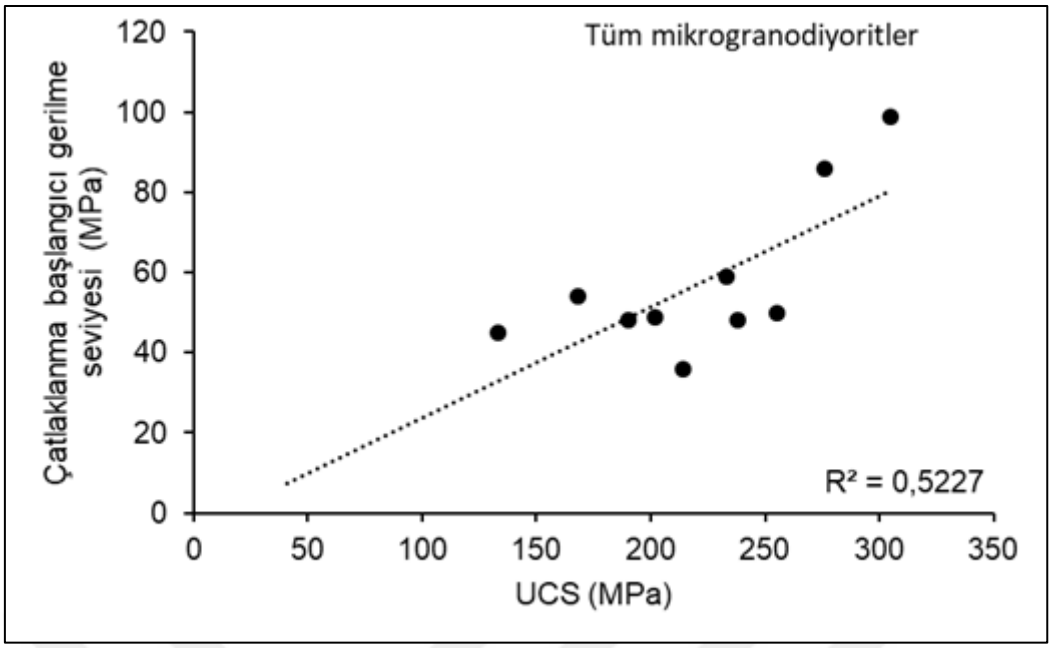
Şekil 4. 47: Andezit dayklar için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



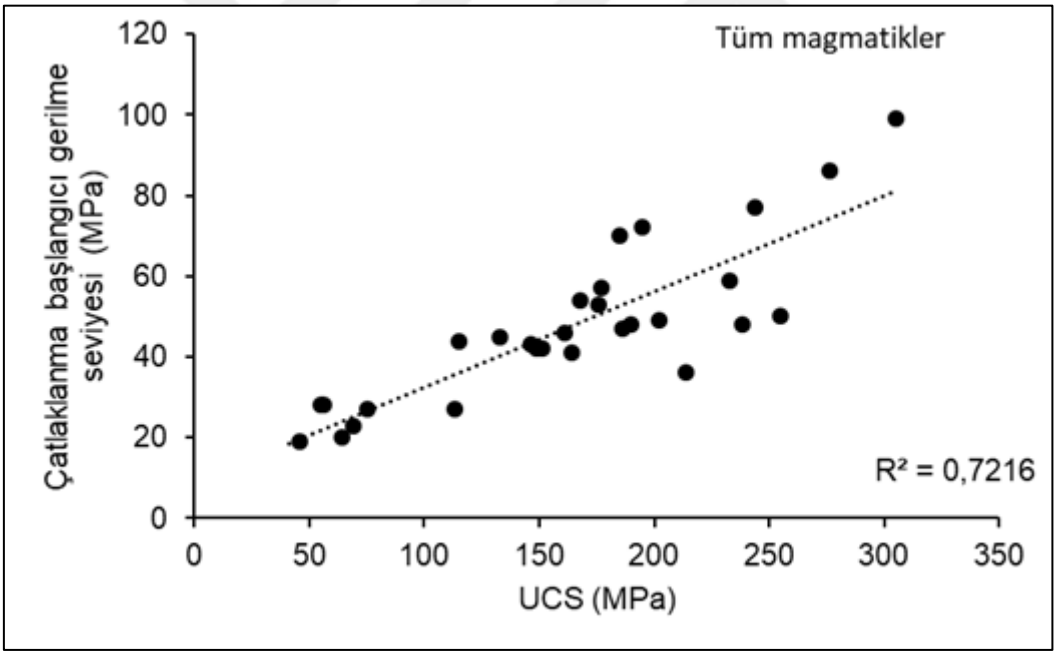
Şekil 4. 48: Şile bölgesi mikrogranodiyoritleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



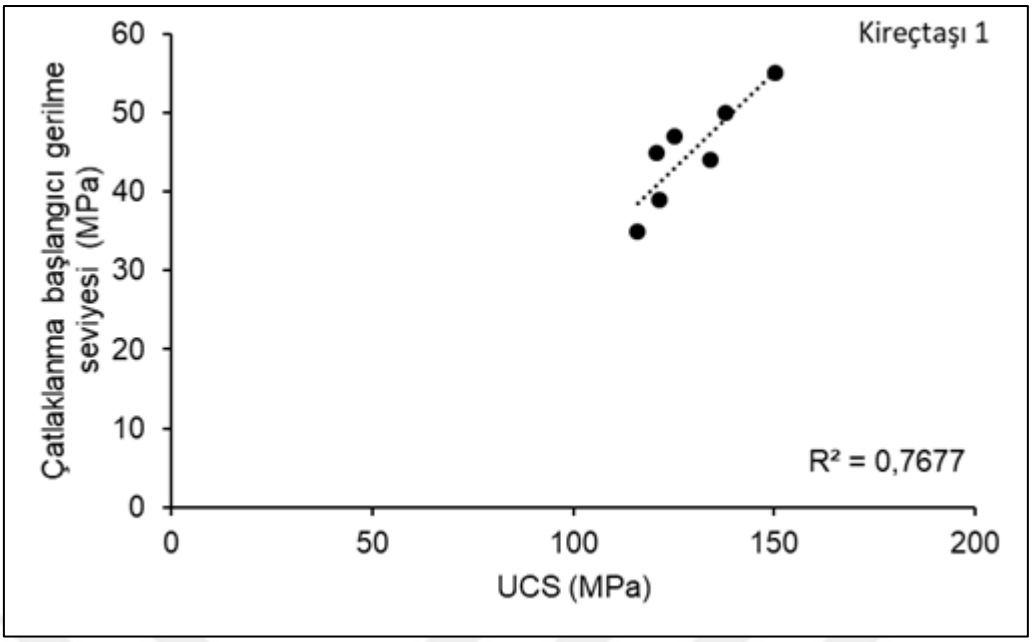
Şekil 4. 49: Şile bölgesi mikrogranodiyoritleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



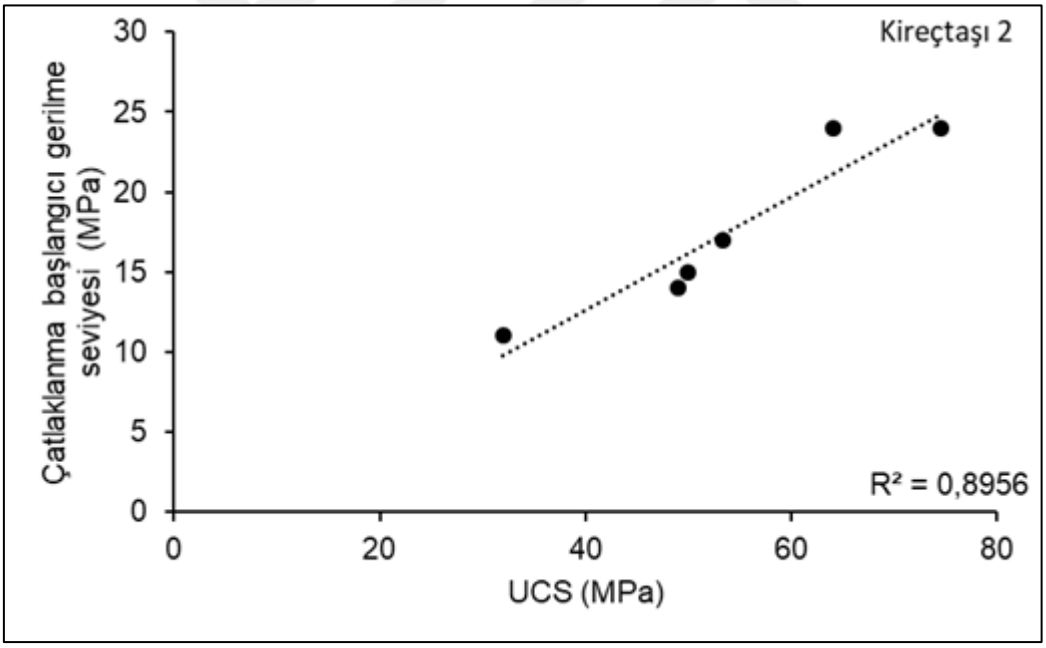
Şekil 4. 50: Tüm mikrogranodiyoritleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



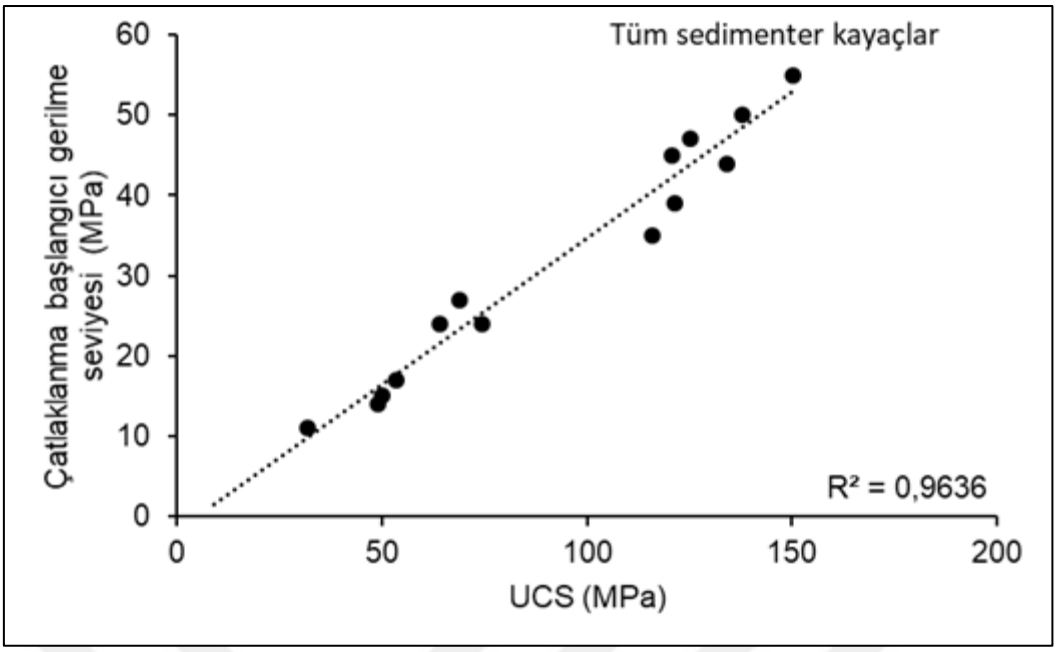
Şekil 4. 51: Tüm magmatik kayaçlar için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



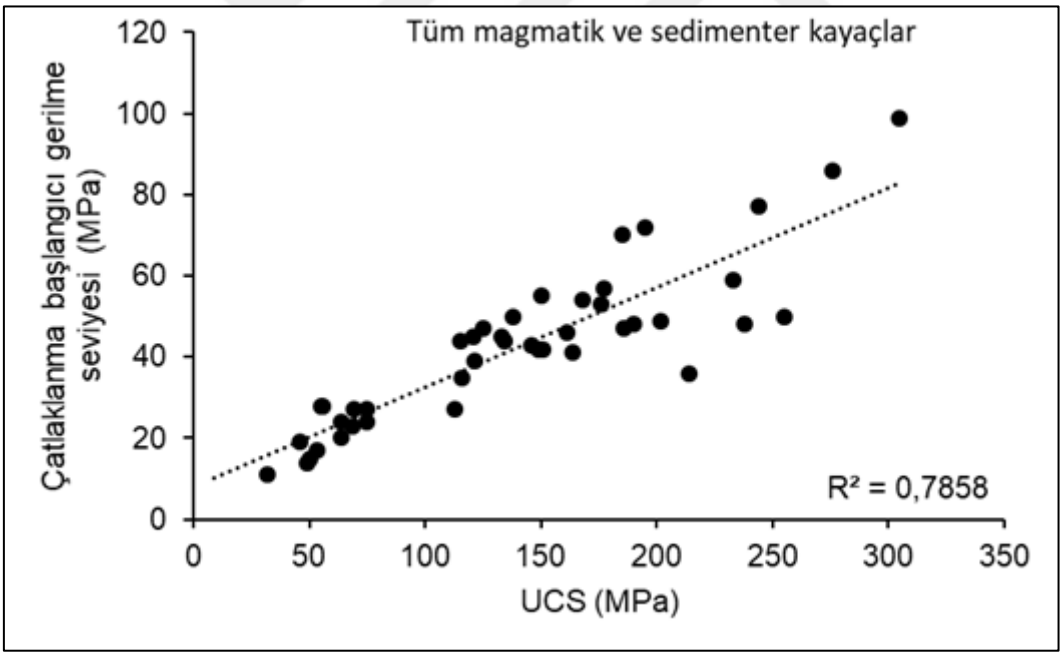
Şekil 4. 52: Kireçtaşı 1 kodlu örnekler için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



Şekil 4. 53: Kireçtaşı 2 kodlu örnekler için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



Şekil 4. 54: Tüm sedimenter kayaç örnekleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki



Şekil 4. 55: Tüm kayaç örnekleri için tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri arasındaki ilişki

Tablo 4. 4: Çalışılan tüm kayaç örneklerinin çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki orantılar

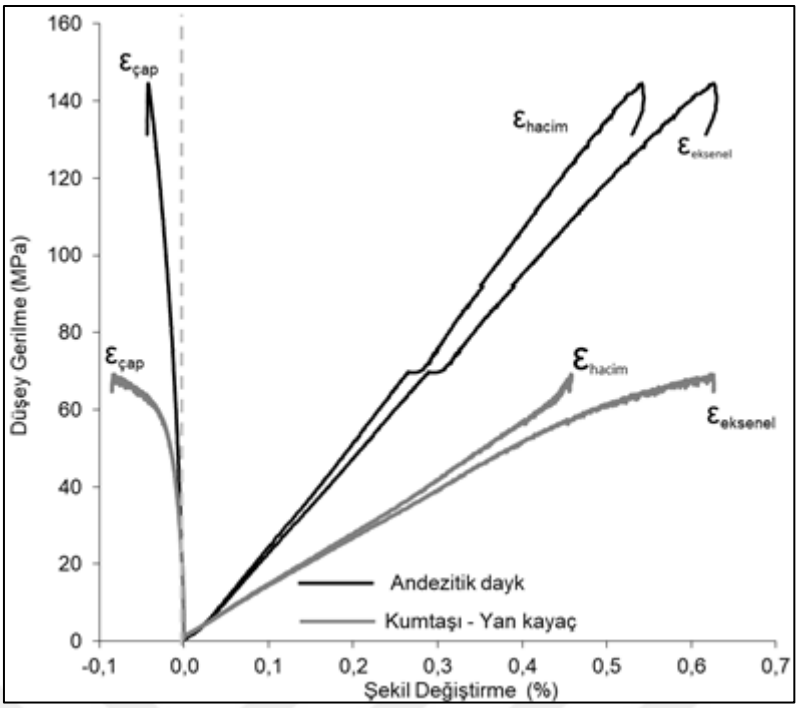
Örnek Tipi	**σCI, rad / σ peak**
Tüm magmatik kayaçlar	0,28
Lamprofir dayklar	0,30
Andezitik dayklar	0,35
Mikrogranodiyoritler	0,26
Tüm sedimenter kayaçlar	0,35
Çakıllı kumlu çakıltaşları	0,39
Kireçtaşı 1	0,34
Kireçtaşı 2	0,33
Tüm magmatik ve sedimenter kayaçlar	0,29



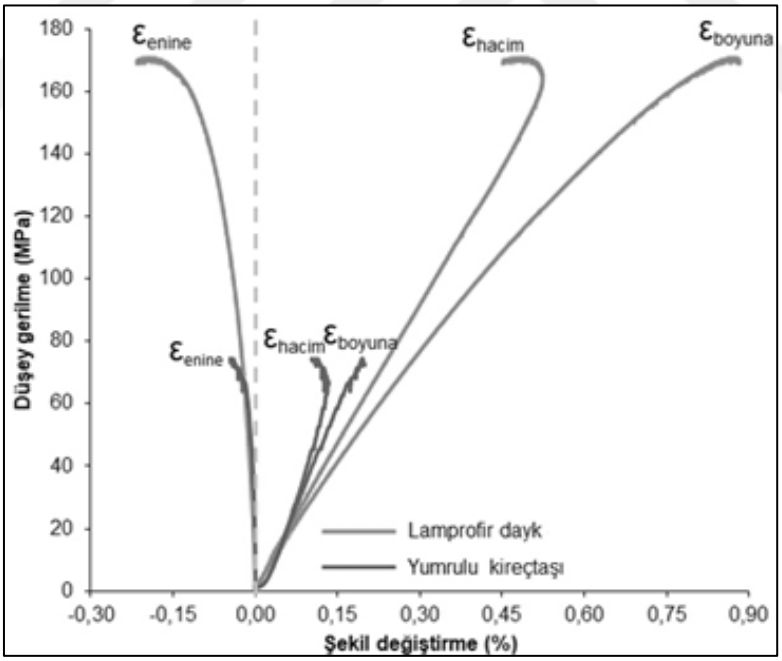
Şekil 4. 56: YMK örneğinin el örneğinde iç yapının görüntüsü. Pirit fenokristalleri oldukça belirgindir.

4.5. YAN KAYA DAYK İLİŞKİSİ

Tablo 4.2 ‘de verilen ve Şekil 4.57 – 4.58’de sunulduğu üzere dayklar eksenel yükler altında yan kayaçlara göre daha yüksek dayanım özelliği sunmaktadır. Daykların UCS değerleri farklılık gösterse de yük altındaki davranışları benzer olup yenilme anında gevrek davranış göstermektedirler. Bununla birlikte, Şekil 4.58 haricindeki tüm sedimenter kayaçlar dayklara göre daha düşük elastisite modülü değerleri vermektedir.



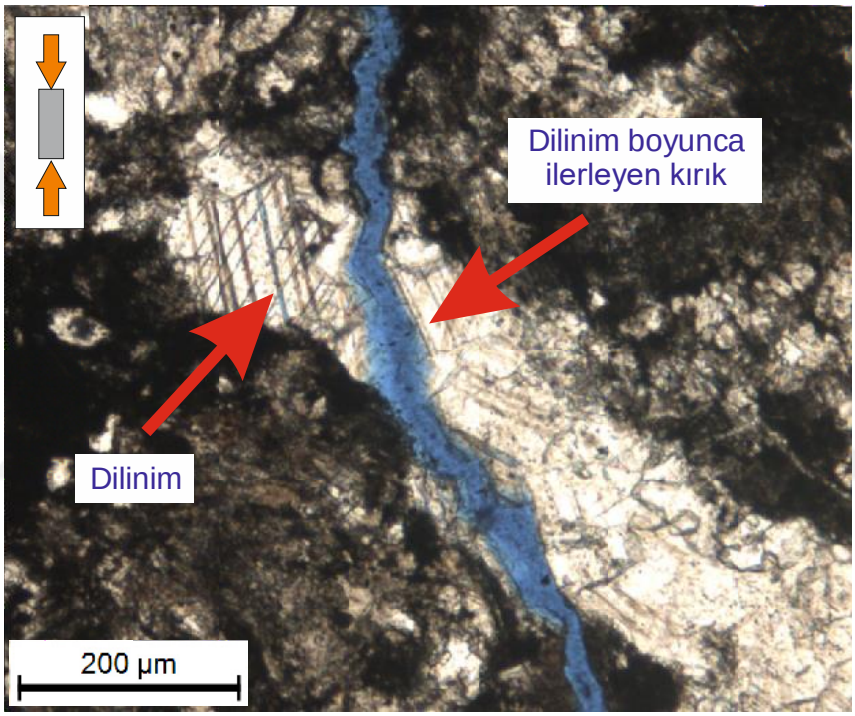
Şekil 4. 57: Andezit dayk ve yankayacı olan kumtaşlarının düşey yük altındaki davranış farklarının gösterimi



Şekil 4. 58: Lamprofir dayk ve yankayacı olan yumrulu kireçtaşlarının düşey yük altındaki davranış farklarının gösterimi

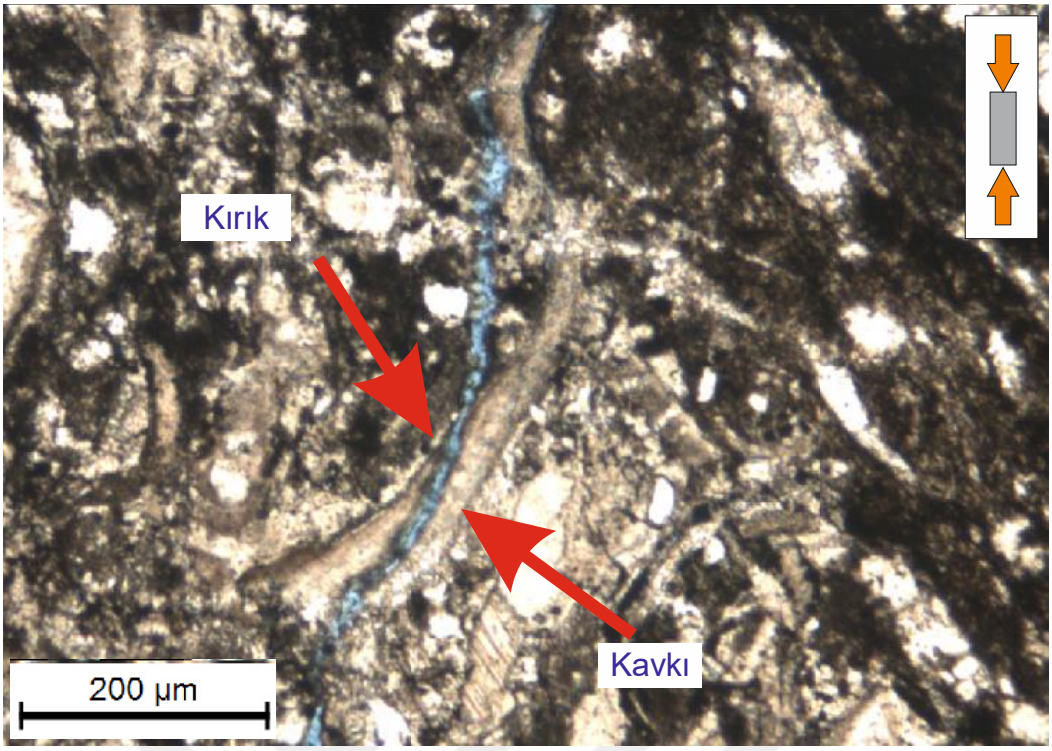
4.6. İÇYAPI ÖZELLİKLERİ VE DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışılan kayalarda tek eksenli sıkışma dayanımı sonrası örnekler üzerinden hazırlanan ince kesitlerde kırık gelişimi izlenmiştir. Kireçtaşı örneklerinde, uygulanan tek eksenli yüke bağlı gelişen kırıklar (mavi parlak çizgi) genelde yüke paralel olarak gelişmekte, ancak aşağıda görüldüğü gibi dolomitçe zengin bir damara geldiğinde dolomitin dilinimlerine paralel bir şekilde ilerlemektedir. (Şekil 4.59)

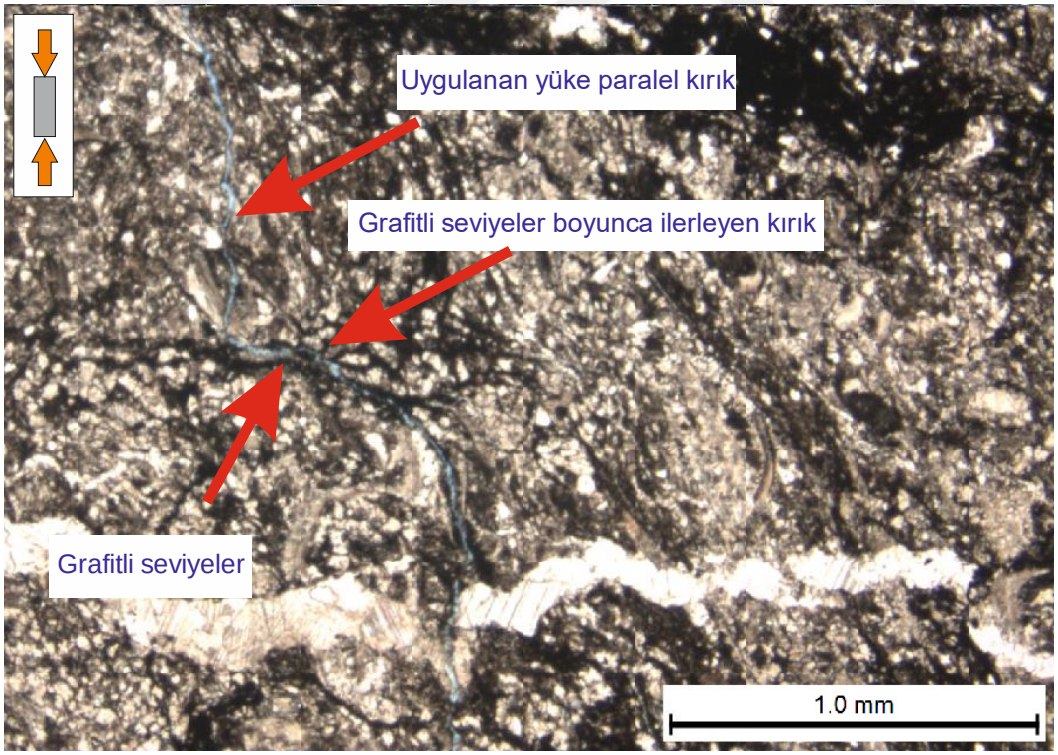


Şekil 4. 59: Kireçtaşı örneklerinde, uygulanan tek eksenli yüke bağlı gelişen kırıkların (mavi parlak çizgi) dolomitçe zengin bir damara geldiğinde dolomit dilinimlerine paralel bir şekilde ilerlemesi (Ündül vd. 2016'dan değiştirilerek)

Benzer şekilde tek eksenli gerilmeler altında gelişen kırık (mavi parlak çizgi) bir kavkı boyunca yönelimini değiştirmektedir. Kavkının dayanımı uygulanan yüke karşı dayanım gösteremediğinden kavkı içerisinde kırık devam etmiş ancak yönelimi bir miktar değişmiştir. Artan yüke bağlı olarak kırık, organik malzemeyi tamamen kesmiş ve yüke paralel konuma gelmeye başlamıştır (Şekil 4.60).



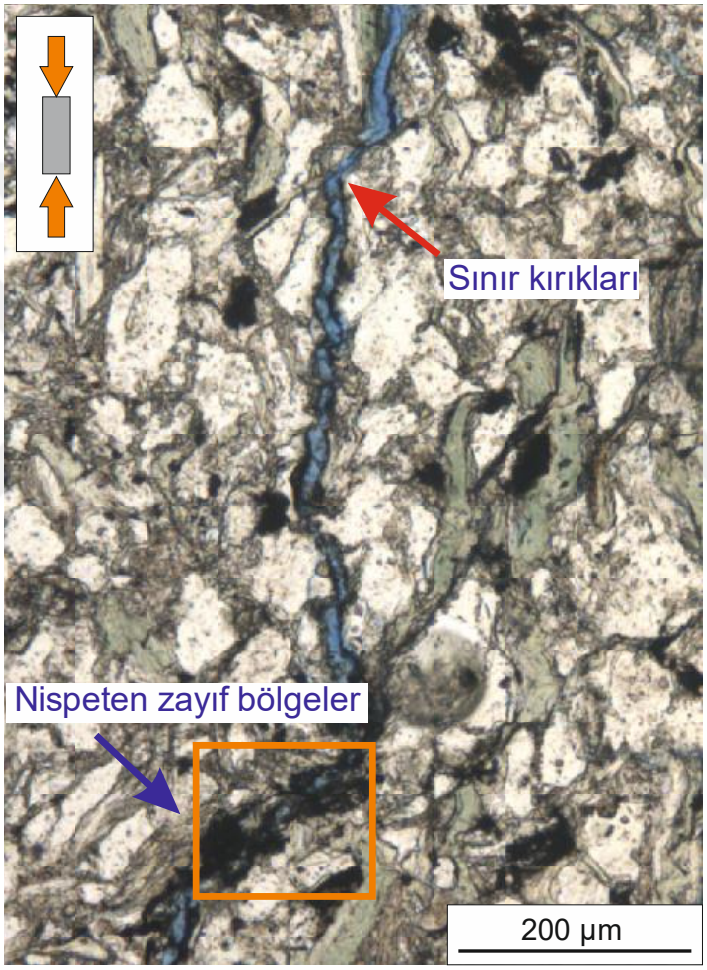
Şekil 4. 60: Tek eksenli gerilmeler altında gelişen kırığın (mavi parlak çizgi) bir kavkı boyunca değişen yönelimi (Ündül vd. 2016'dan değiştirilerek)



Şekil 4. 61: Eksenel düşey gerilme altında kireçtaşlarında gelişen kırığın (mavi parlak çizgi) grafitli seviye boyunca yön değiştirmesi(Ündül vd. 2016'dan değiştirilerek)

Kireçtaşına ait mikroskop görüntüsünde, eksenel düşey gerilme altında, gelişen kırık (mavi parlak çizgi) grafitli seviye boyunca yön değiştirmektedir. Grafitli seviye çevresindeki bileşenlere göre daha az dayanımlı olduğundan dolayı kırıklar tercihen daha az dayanımlı bu seviyeleri takip etmektedir (Şekil 4.62).

Kumtaşlarında kırık gelişimi ise genel olarak tane sınırlarını takip etmektedir. Ayrıca daha önceden var olan zayıf zonlarda kırık gelişimi için öncelikli alanlar olarak saptanmıştır (Şekil 4.62).



Şekil 4. 62: Kumtaşlarında tane sınırlarını takip eden kırık gelişimi

Genel olarak Kumtaşlarında kırıklar;

- Tane – tane sınırları
- Tane – klorit sınırları
- Kloritçe zengin zonlar boyunca gelişmektedir.

Kireçtaşlarında ise genelde;

- Hamur içerisinde
- Tane-tane sınırında tane hamur sınırında ve kavkı – hamur sınırı ile
- Kavkılar içindeki zayıflık zonları bıyunca gelişmektedir.

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Çalışılan magmatik kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları 41-305 MPa arasında değişmektedir. Young modülleri ise 16-55 GPa arasındadır. Tek eksenli sıkışma dayanımındaki nispeten düşük değerler kaya örneklerinin ayrışmış kesimlerinden olması ve karot alımında dahi fark edilemeyen mikro çatlakların deney sırasındaki etkilerinden kaynaklanmaktadır.
- Çalışılan sedimanter kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları 9-150 MPa arasında değişmektedir. Young modülleri ise 13-77 GPa arasındadır.
- Daykların ve diğer magmatik kayaların çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri 0.26-0.35UCS mertebesinde olup genel olarak $\sigma_{ci} / \sigma_{peak}$ oranı 0.28'dir.
- Sedimenter kayaçların çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri 0.29-0.39UCS mertebesinde olup genel olarak $\sigma_{ci} / \sigma_{peak}$ oranı 0.35'tir.
- Kireçtaşlarının damarlı yapısı, rekristalizasyon vb. heterojenlik yaratan unsurlar tek eksenli sıkışma dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerindeki farklılıkları yaratmaktadır.
- Kireçtaşları içerisindeki grafit damarların ve fosil kavkılarının/parçalarının, yönelim ve dağılımları çatlak gelişimini etkilemektedir.
- Kumtaşları için farklı elastik özellikler gösteren tanelere ait tane sınırları ve kloritli bölgelerin çatlakların gelişmesine etkileri önemlidir.
- Çalışma alanındaki dayklar yan kayaçlarından oldukça gençtir. Bu sebeple daha az çatlaklıdır ve derin tünellerde uzun dönem dayanımları için kavlaklanma analizleri gerçekleştirilmelidir. Ayrıca tek eksenli sıkışma dayanımları farklılıklar gösterse de yenilme anında oldukça gevrek davranış gösterirler.
- Yan kayalar daha düşük dayanım ve Young modülü değerlerine sahip olup eksenel yükler altında daha farklı davranılar. Bu tip kayaların birlikte bulunduğu ortamlarda, farklı dayanım ve deformasyon özelliklerinin birlikte etkilerinin değerlendirilmesine yönelik detaylı jeomekanik çalışmaların yapılması maliyet ve zaman yönünden tasarruf sağlayacaktır.

- Her kaya grubunda yapılacak mühendislik girişimlerinde (yeraltı kazıları vb.) kırıklanma başlangıcı değerleri ve içyapı ile değişen dayanım değerleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.
- Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri ve çatlak gelişimi bu kayalarda yapılacak yeraltı kazılarındaki duraylılık problemleri açısından ve yapı malzemesi olarak kullanımları sırasında mutlaka değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Abdüsselamoğlu, Ş., 1963, İstanbul Boğazı Doğusunda Mostra Veren Paleozoik Arazide Stratigrafik ve Paleontolojik Yeni Müşahedeler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.

Akartuna, M., 1950. Imroz Adasinda bazi Jeolojik müşahadeler. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 2(2), 8–18 (in Turkish).

Altindag, R. 2002. "The evaluation of rock brittleness concept on rotary blast hole drills". Journal of South African Institute of Mining and Metalurgy 02,61-66.

Altindag, R. 2003. Correlation of specific energy with rock brittleness concepts on rock cutting". Journal of South African Institute of Mining and Metalurgy 103, 163-171

Altindag, R. 2010. "Assessment of some brittleness indexes in rockdrilling efficiency". Rock Mechanics and Rock Engineering, 43(3), 361-370.

Amann, F., Button, E.A., Evans, K.F., Gischig, V.S., Blümel, M., 2011. Experimental study of the brittle behavior of clay shale in shortterm unconfined compression. Rock Mechanics and Rock Engineering 44 (4), 415–430.

Amann, F., Ündül, Ö., Kaiser, P. K., 2013a. Crack initiation and crack propagation in heterogeneous sulfate-rich clay rocks. RMRE, DOI 10.1007/s00603-013-0495-3.

Amann, F., Ündül, Ö., Kaiser, P., 2014. Crack initiation and crack propagation in heterogeneous sulfate rich clay rocks. Rock Mech. Rock. Eng. 47 (5), 1849–1865.

Amann, F., Ündül, Ö., Löw, S., Kaiser, P. K., 2013b Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), 1422.

Andreev, G.E. 1995. "Brittle failure of rock materials: test results and constitutive models". A. A. Balkema, Rotterdam., P 446

Aysal, N., ve diğ., 2015, Geochronology, Geochemistry and İsotope Systematics of a Maficintermediate Dyke Complex in The Istanbul Zone, Northern Turkey, Goldschmidt2015, 155.

Baykal, F., ve Kaya, O., 1965, İstanbul Silüriyeni Hakkında, İstanbul Üniversitesi, Genel Jeoloji Kürsüsü.

Bieniawski, Z.T., (1989): Engineering Rock Mass Classifications: a Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering, Wiley, 251.

Bieniawski, Z.T., 1984, Technical Note The Design Process by Rock Engineering, Rock Mech. Rock. Eng., 17, 183-190.

Brace, W.F., Paulding, B.R., Scholz, C., 1966. Dilatancy in fracture of crystalline rocks. Journal of Geophysical Research 71 (16), 3939–3953.

Diederichs, M. S., 2000. "Instability of hard rockmasses: The role of tensile damage and relaxation". PhD Thesis, University of Waterloo, 566p.

Diederichs, M. S., 2003. Rock fracture and collapse under low confinement conditions, Rock Mech. and Rock Eng., 36 (5), 339-381.

Diederichs, M.S., 2007. "The 2003 Canadian Geotechnical Colloquium: mechanistic interpretation and practical application of damage and spalling prediction criteria for deep tunneling". Canadian Geotechnical Journal 44, 1082–1116.

Fairhurst, C., Cook, N.G.W., 1966. The phenomenon of rock splitting parallel to the direction of maximum compression in the neighborhood of a surface, Proceedings 1th Congress of the International Society of Rock Mechanics, Lisbon, 687-692.

Geomechanics Research Centre, Laurentian University, Sudbury.

Gong, Q.M and Zhao, J., 2007. "Influence of rock brittleness on TBM penetration rate in Singapore granite". Tunnelling and Underground Space Technology 22, 317–324.

Gupta, V., Sharma, R., 2012. Relationship between textural, petrophysical and mechanical properties of quartzites: a case study from northwestern Himalaya. Eng. Geol. 135–136, 1–9.

Hajiabdolmajid Y, Kaiser P. 2003. "Brittleness of rock and stahility assessment in hard rock tunnelling". Tunnelling and Underground Space Technology 18, 35-48.

Hallbauer, D.K., Wagner, H., Cook, N.G.W., 1973. Some Observation Concerning The Microscopic And Mechanical Behaviour Of Quartzite Specimens In Stiff, Triaxial Compression Tests, I. J. of Rock Mech. and Min. Sc. and Geomech. Abst., 10, 713-726.

Heidari, M., Khanlari, G.R., Torabi-Kaveh Metal 2014. “Effect of porosity on rock brittleness”. Rock Mechanics and Rock Engineering 47,785-790.

Holt, R. M., Fjær, E., Stenebråten, J.F., Nes, O.M., 2015. “Brittleness of shales: Relevance to borehole collapse and hydraulic fracturing”. Journal of Petroleum Science and Engineering 131; 200–209.

International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1979. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abst 16(2), 135–140.

İBB Altyapı Projeler Müdürlüğü, 2013, Çamlıca Tepesi Ulaşım Tünelleri Jeolojik ve Jeoteknik Etüt Raporu, İBB Etüt ve Projeler Daire Başkanlığı, İstanbul.

İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, 2009, İstanbul Mikrobölgeleme Projesi Anadolu Yakası, İBB Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, İstanbul.

Kahraman S., Bilgin, N., Feridunoğlu C., 2003b. “Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills”. International Journal of Rock Mechanics and mining Sciences 40, 711–723

Kahraman S., Gunaydin O., Fener M., Bilgil A., 2003a. “Correlation between Los Angeles abrasion loss and uniaxial compressive strength”. In: Proceedings of International symposium on industrial minerals and building stones. Istanbul, Türkiye, pp 577–581.

Kaiser PK, Kim BH, 2008. Rock mechanics challenges in underground construction and mining. In: Potvin Y, Carter J, Dyskin A, Jeffery R (eds) Paper presented at 1th Sou. Hem. Int. Rock Mech. Sym., Australia, pp 23–38

Kaiser, P., 2010. Practical Implication of Brittle Failure on Hard Rock Tunnelling Construction. Tunnels in Granite –Túneles en granito. UniversitatPolitéchnicade Catalunya Barcelona –Spain.

Kaiser, P.K. with contributions by F. Amann & W. Steiner 2010. How highly stressed brittle rock failure impacts tunnel design. Eurock 2010, pp. 27–38. Lausanne, 2010.

Kaiser, P.K., McCreath, D.F. & Tannant, D.D. (1996): Canadian rockburst support handbook. Geomechanics Research Centre, Laurentian University, Sudbury.

Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013, Karayolu Teknik Şartnamesi.

Kaya, O., 1973, İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Kürsüsü, İzmir.

Ketin, İ., 1957, Çamlıca Bölgesinin Tektoniği Hakkında, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 7, 10-18.

Ketin, İ., 1991. "İstanbul Jeoloji Haritası", MTA Jeoloji Veri Bankası, Ankara.

Ketin, İ.,1941.,"Alemdağ batısındaki granit masifi hakkında": İ.U Jeol Enst. yayını, 7, İstanbul, 1-13, İstanbul..

Lajtai, E.Z., 1974. Brittle fracture in compression, I. J. of Fracture, 10(4), 525-536.

Lee, S.M., Park, B.S. and Lee, S.W. 2004. "Analysis of rockbursts that have occurred in a waterway tunnel in Korea". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41 (3), Paper 3B-24 on CD-ROM.

Martin C.D., Christiansson R., 2009."Estimating the potential for spalling around a deep nuclear waste repository in crystalline rock". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 46; 219– 228.

Martin, C.D., 1997. Seventeenth Canadian Geotechnical Colloquium: The effects of cohesion loss and stress path on brittle rock strength, Can. Geotech. J., 34, 698-725.

Martin, C.D., Chandler, N.A., 1994. The progressive fracture of Lac du Bonnet granite. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts 31 (6), 643–659..

Meng, F., Zhou, H., Zhang, C., Xu, R. and Lu, X., 2014." Evaluation Methodology of Brittleness of Rock Based on Post-Peak Stress-Strain Curves. Rock Mechanics and Rock Engineering . DOl 10.1007/s00603-014-0694-6

Miskimins, J.L.2012. "The impact of mechanical stratigraphy on hydraulic fracture growth and design considerations for horizontal wells. Bnlletin v 91(4):475-499

Moradian, Z., Einstein, H.H., Ballivy, G. 2015. Detection of Cracking Levels in Brittle Rocks by Parametric Analysis of the Acoustic Emission Signals. Rock Mech Rock Eng. DOI 10.1007/s00603-015-0775-1

Nick Hudyma, N., Avar, B.B., Karakouzian, M., 2004. Compressive strength and failure modes of lithophysae-rich Topopah Spring Tuff specimens and analog models containing cavities. Engineering Geology 73; 179–190.

Nicksiar, M., Martin, C.D., 2012. Evaluation of methods for determining crack initiation in compression tests on low-porosity rocks. Rock Mechanics and Rock Engineering 45 (4), 607–617.

Nicksiar, M., Martin, C.D., 2013. Factors affecting crack initiation in low porosity crystalline rocks. Rock Mech. Rock. Eng. http://dx.doi.org/10.1007/s00603-013-0451-2.

Nicksiar,M., Martin, C.D. 2013. "Crack initiation stress in lowporosity crystalline and sedimentary rocks". Eng. Geol. 154, 64–76.

Önalan, M. 1981. Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimenter Özellikleri [Geology and Sedimentary Characteristics of Pendik Region and Princes Islands]. Dissertation Th esis, İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji mühendisliği Bölümü, İstanbul. Sayfa sayısı

Önalan, M. 1982 "İstanbul Ordovisiyen ve Siluriyen istifinin çökelme ortamları" Yerbilimleri Derg., İU Muh. Fak.,161-177.

Özgörüş, Z., 2003. "Stress regime during the opening of the Black Sea deduced from Cretaceous dyke swarms in the İstanbul region". MSc. Thesis, Istanbul Technical University, 116p.

Özgörüş, Z., ve Okay, A.I., 2005, İstanbul Bölgesindeki Andezitik Daykların Konumları: Kretasede Gerilme Dağılımına Bir Yaklaşım, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 130, 17-27.

Özgül, N, 2005. "İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Ozellikileri". İstanbul Buyuksehir Belediyesi Planlama ve İmar Daire Baskanlığı, 78 s. (yayımlanmamış).

Özgül, N, 2011. "İstanbul İl Alanının Jeolojisi-Yönetici Özeti". İstanbul Buyuksehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, 103 s (yayınlanmamış).

Özgül, N., 2011b, Stratigraphy and Some Structural Features of The İstanbul Palaeozoic, Turkish Journal of Earth Sciences, 21, 817-866.

Öztürk, C.A., Nasuf, E., Bilgin, N., 2004. The assessment of rock cutability, and physical and mechanical rock properties from a texture coefficient. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 104 (7), 397–402.

Penck, W. 1919. “Grundzuge der Geologie des Bosporus: Veroff.İnst. F. Meereskunde MFA 4.

Sayar, C., 1979, İstanbul Boğazı ve Çevresinde Ordovisien - Silürien Sınırı, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 161-167.

Scholz, C.H., 1968. Experimental study of the fracturing process in brittle rock, J. of Geophys. Res., 73(4), 1447-1454.

Schon, J.H., 1996. Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics. Elsevier, New York.

Steiner, W., Kaiser, P.K., Spaun, G., 2011. Role of brittle fracture on swelling behavior of weak rock tunnels: evidence from tunnelling case histories, Geomechanics and Tunnelling, 4(2), 141-156.

Suorineni FR, Chinussane DR. Kaiser PK., 2009, A procedore for determining rock-type specific Hoek-Brown htittle parameters. Rock Mech Rock Eng 42(6):849—881.

Szwedzicki TA. 2007, A hypothesis on modes of failure of rock samples tested in uniaxial compression. Technical note. Rock Mech Rock Eng 40:97–104.

Şen, F., 2012. Kadıköy-Kartal (İstanbul) Metro Hattı Boyunca Paleozoyik İstifteki Volkanik Sokulumların Petrolojik Özellikleri Ve Tektonizma İle İlişkisi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tapponier, P., Brace, W.F., 1976. Development of stress-induced microcracks in Westerly Granit, I. J. Rock Mech. & Min. Sc., 13, 103-112.

Tchihatcheff, P. De, 1864. “Le Bosphore et Constantinople avec Carte Geologique, Paris

Ündül Ö., Amann F., Aysal, N., and Plötze, M., 2015. Micro-Textural Effects on Crack Initiation and Crack Propagation of Andesitic Rocks. Engineering Geology. DOI: 10.1016/j.enggeo.2015.04.024.

Ündül, Ö., Amann, F., Perras, M., Aysal, N., Çobanoğlu, B.C. 2016. Strength, deformation and cracking characteristics of limestones. Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future, Eurock 2016 Proceedings Book (Eds. Ulusay, R., Aydan, Ö., Gerçek, H., Hindistan, M.A., Tuncay, E.) p.181-185.

Ündül, Ö., Tuğrul, A., 2012. The Influence of Weathering on the Engineering Properties of Dunites. Rock Mechanics and Rock Engineering. V. 45, Nu. 2, 225-239.

Yagiz S. 2009. "Assessment of brittleness using rock strength and density with punch penetration test". Tunnel Underground Space Technol 24:66–74.

Yarali, O. ve Kahraman, S., 2011. The drillability assessment of rocks using the different brittleness values. Tunnelling and Underground Space Technology 26, 406–414.

Yılmaz, N.G., Goktan, R.M., Kibici, Y., 2011. Relation between some quantitative petrographic characteristics and mechanical strength properties of granitic building stones. International Journal of Rock Mechanics & Mining Science 48 (3), 506–513.

Yilmaz N.G, Karaca Z. Goktan R.M, Akay C. 2008. "Relativem brittleness characterization of some selected granitic building stones: influence of mineral grain size". Construcion and Building Materials 23(1), 370-375.

Zhishui, L.I.U. and, Zandong, S.U.N. 2015. "New brittleness indexes and their application in shale/clay gas reservoir prediction". Petroleum. Exploration Development, 42(1), 129–137.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Buğra Can ÇOBANOĞLU
Doğum Yeri	Üsküdar / İstanbul
Doğum Tarihi	30.10.1988
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0544 836 0463
E-Posta Adresi	bugracancobanoglu@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Jeoloji Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2012

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı
Programı	Jeoloji Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler

Çobanoğlu, B.C., Ündül, Ö., 2015, İstanbul Anadolu yakasında yüzeylenen Daykların Gevreklikleri. 21-23 Ekim 2015, İstanbul Üniversitesi'nde Jeoloji'nin 100. Yılı Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı, s.149-150.

Ündül, Ö., Amann, F., Perras, M., Aysal, N., Çobanoğlu, B.C. 2016. Strength, deformation and cracking characteristics of limestones. Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future, Eurock 2016 Proceedings Book (Eds. Ulusay, R., Aydan, Ö., Gerçek, H., Hindistan, M.A., Tuncay, E.) p.181-185.

Ündül, Ö. ve Çobanoğlu, B., 2017. İstanbul Dayklarının Dayanım ve Deformasyon Özellikleri. İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu 5 "Kent ve Jeoloji". Bildiri özleri kitabı 148-149.

Ündül, Ö. ve Çobanoğlu, B., 2017. İstanbul'daki mağmatik kayaların dayanım ve deformasyon özellikleri ile yan kayaçlar ile ilişkileri. Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve

Jeoteknik Sempozyumu, 12-14 Ekim, Adana. s: 245-252.

Ündül. Ö., Çobanoğlu, B. ve Taz, F., 2018. İstanbul Paleozoyik İstifi'ndeki Dayklar ile Yan Kayalarının Dayanım ve Deformasyon Özelliklerindeki Farklılıklar. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 42/2 121-142.