

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇANDARLI – DİKİLİ (İZMİR) YOL
GÜZERGAHINDAKİ ŞEVLERİN
MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

Samiye İNCE

Mart, 2014
İZMİR

**ÇANDARLI – DİKİLİ (İZMİR) YOL
GÜZERGAHINDAKİ ŞEVLERİN
MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı

Samiye İNCE

Mart, 2014

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SAMIYE İNCE, tarafından ÖĞR. GÖR. DR CEM KINCAL yönetiminde hazırlanan “ÇANDARLI – DİKİLİ (İZMİR) YOL GÜZERGAHINDAKİ ŞEVLERİN MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

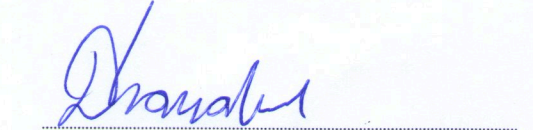


Öğr. Gör. Dr. Cem KINCAL

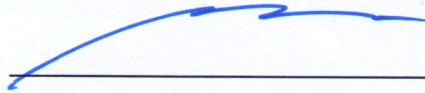
Yönetici


Prof. Dr. M. Yalcan Kocer

Jüri Üyesi


Doç. Dr. Oğuz KARAKUŞ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında, her türlü bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı değerli hocam Öğr. Gör. Dr. Cem KINCAL' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında, bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendirerek çalışmalarına katkıda bulunan Prof. Dr. Yalçın KOCA'ya; arazi ölçüm verilerinin değerlendirilmesi aşamasında göstermiş olduğu sabır ve harcamış olduğu zamandan dolayı Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ' a teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı Hakan KAYHAN'a; Şentürk ERSOY'a; Akan GÜLERSOY'a; Ebru KARAKURT'a; Erdal DENİZ'e;

Tezin yazım aşamasında fikirlerini benimle paylaşan Arş. Gör. Tümay KADAKÇI KOCA'ya; Arş. Gör. Seher ALOĞLU SARI'ya; Öğr. Gör. Dr. Mine Sezgül KAYSERİ'ye; yardımlarından dolayı Jeoloji Yüksek Mühendisi Esra BÜKÜLEN'e; tezin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Jeoloji Yüksek Mühendisi Emre ALTINTAŞ'a; Jeoloji Yüksek Mühendisi Cenap AKIN'a; Jeoloji Yüksek Mühendisi Ebru AKAR'a ve Endüstri Mühendisi Mehmet KAYIŞ'a;

İzmir'de bulunduğum ilk günden beri her zaman yanımda olan, her an desteğini ve sabrını benden esirgemeyen Ziraat Yüksek Mühendisi Mahmut OKDUMAN'a ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Ferhan EREN KAYIŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ve en önemlisi tüm öğrencilik yaşıntım boyunca maddi ve manevi sonsuz desteklerinden dolayı; zorlu süreç içerisinde tüm sıkıntılarımla paylaşan babam Osman İNCE'ye; annem İlkay İNCE'ye ve kardeşim Hüseyin İNCE'ye sonsuz teşekkür ederim.

Samiye İNCE

ÇANDARLI – DİKİLİ (İZMİR) YOL GÜZERGAHINDAKİ ŞEVLERİN MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

ÖZ

Bu çalışma, Çandarlı – Dikili (İzmir) arasındaki yol güzergahında, farklı ayrışma dereceleri gösteren andezitlerde açılan şevlerin mühendislik jeolojisi ve kaya şev stabilitesinin değerlendirmesini kapsamaktadır. Arazi gözlemleri sonucunda kayması muhtemel yol şevleri belirlenmiş ve bu şevleri oluşturan andezitlerden blok örnekler alınmıştır. Alınan örnekler üzerinde, kayaçların mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda andezit ve riyodasitlerin fiziko-mekanik özellikleri saptanmıştır. Farklı ayrışma derecesine sahip andezitlerin minerolojik incelemeleri yapılarak gözlenen minerallerin ayrışmaya göre farklılıkları tespit edilmiştir. Kimyasal analizler yapılarak ana element oksitlerinin yüzde olarak miktarları belirlenmiştir.

Lazer tarayıcı cihazla yerinde ölçümler yapılarak farklı mevsimsel dönemlerde şevlerde meydana gelen deformasyon miktarları ölçülmüş ve FaceModel ve Mapinfo (v. 8.0) programları yardımıyla modellenmiştir.

Şev stabilite analizlerinde Phase 2 (v.8.0) bilgisayar programı kullanılarak şevlere ait belirlenen kayaç özelliklerine bağlı olarak şevlerin kayma potansiyelleri değerlendirilmiştir. Stabilite çalışmaları sırasında farklı sismik ivme değerleri göz önünde bulundurularak (0,1 g, 0,15 g ve 0,2 g) şevlerin duraylılık koşulları ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çandarlı - Dikili, andezit, ayrışma, deformasyon, şev stabilitesi.

ENGINEERING GEOLOGY OF THE SLOPES ALONG THE ÇANDARLI – DİKİLİ (İZMİR) ROUTE

ABSTRACT

In this study, assessment of engineering geology and stability of road cuts along the Çandarlı-Dikili (Izmir) state highway route in andesites with different weathering grades were comprised. With the help of the field observations and rock slopes that susceptible to slide were determined and andesite block samples were taken from the slopes. In order to determine the engineering behavior of the rocks, laboratory experiments were conducted. Physical, mechanical and strength parameters of andesites and rhyodacites were obtained. Mineralogical studies were conducted on thin section for andesites with different weathering grades and differences between minerals in different weathering grades were determined. Major element ratios of andesites and rhyodacites were determined via chemical analyses.

Deformations which were occurred in different seasons were measured using laser scanner device with the help of the FaceModel and Mapinfo (v. 8.0) softwares.

Sliding potentials of rock slopes were conducted to determine the stability conditions using the properties of laboratory tested rocks with the help of Phase 2 (v.8.0) software. Stability conditions of andesite rock slopes were obtained considering various seismic coefficients values (0,1 g, 0, 15 g and 0,2 g).

Keywords: Çandarlı – Dikili, andesite, weathering, deformation, slope stability.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xv
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışma Alanı.....	2
1.2 Coğrafi Özellikler ve İklim	3
1.3 Amaç ve Yöntem.....	4
BÖLÜM İKİ – GENEL JEOLojİ	6
2.1 Önceki Çalışmalar	6
2.2 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	9
2.2.1 Yuntdağ Volkanitleri.....	13
2.3.2 Soma Formasyonu.....	17
2.3.3 Dededağ Bazaltı	18
2.3.4 Alüvyon ve Yamaç Molozu	19
2.3 Yapısal Jeoloji.....	20
2.4 Deprem Durumu.....	24

BÖLÜM ÜÇ – MİNEROLOJİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLER 28

3.1 Minerolojik Özellikler.....	28
3.1.1 Taze-Az Ayrışmış Andezit.....	28
3.1.2 Orta Derecede-Oldukça Ayrışmış Andezit	30
3.2 Kimyasal Özellikler	33
3.2.1 Numune Hazırlama	33
3.2.2 % Ateş Kaybının (Kızdırma Kaybı) Bulunması	34

BÖLÜM DÖRT – MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ..... 41

4.1 Giriş.....	41
4.2 Arazi Çalışmaları	41
4.2.1 Süreksizlik Ölçümleri.....	42
4.2.2 Schmidt Çekici.....	42
4.2.3 Tilt Deneyi	48
4.2.4 Ayrışma ve Şev Yüzeylerinin Ayrışma Derecesi Zonlanma Kesitleri.....	49
4.3 Laboratuvar Deneyleri	55
4.3.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	55
4.3.2 Birim Hacim Ağırlık Tayini.....	57
4.3.2.1 Araç ve Gereçler	57
4.3.2.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı.....	57
4.3.3 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi	63
4.3.3.1 Araç ve Gereçler	63
4.3.3.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı.....	63
4.3.4 Görünür Gözeneklilik (Porozite) ve Boşluk Oranı Tayini.....	66

4.3.5 Sonik Hız Deneyi	75
4.3.6 Donma-Çözünme Deneyi.....	78
4.3.6.1 Taze-Az Ayrışmış Andezitlerin Donma Çözünme Deneyi Sonucu Fiziksel Özelliklerinin Değişimi	80
4.3.6.2 Orta-Oldukça Ayrışmış Andezitlerin Donma Çözünme Deneyi Sonucu Fiziksel Özelliklerinin Değişimi	82
4.3.6.3 Riyodasitlerin Donma Çözünme Deneyi Sonucu Fiziksel Özelliklerinin Değişimi.....	84
4.3.7 Kesme Kutusu Deneyi.....	85
4.3.7.1 Araç ve Gereçler	86
4.3.7.2 Deneyin Yapılışı.....	89
4.3.8 Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi	91
4.3.9 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake Durability) Deneyi.....	100
4.3.9.1 Araç ve Gereçler	100
4.3.9.2 Yöntem ve Deney Aşamaları	101
4.4 Lazer Tarayıcı Cihaz ile Arazide Ölçülen Verilerin Değerlendirilmesi	107
4.4.1 Arazide Alınan Ölçümler Yardımıyla Deformasyonların Belirlenmesi..	108
4.5 Şev Stabilesi Analiz Çalışmaları.....	117
 BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR.....	144
 KAYNAKLAR	149

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası.	2
Şekil 1.2 Çalışma alanında incelenen yol şevlerinin yerleri.	3
Şekil 1.3 Çandarlı-Dikili bölgesinin aylık ortalama yağış grafiği.	4
Şekil 2.1 Şev lokasyonlarını da kapsayan Çandarlı-Dikili çevresinin genel jeoloji haritası.	11
Şekil 2.2 Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti.	12
Şekil 2.3 Yuntdağ volkanitlerinden bir görünüş.	13
Şekil 2.4 Çalışma alanında gözlenen otobreşik andezitler.	14
Şekil 2.5 Porfirik dokulu taze-az ayrıışmış andezit ince kesiti.	15
Şekil 2.6 Porfirik dokulu orta-oldukça ayrıışmış andezit ince kesiti.	15
Şekil 2.7 Katıralanı köyü civarında gözlenen lahar.	16
Şekil 2.8 Killi kireçtaşı-marn.	18
Şekil 2.9 Andezit bloklu yamaç molozu.	19
Şekil 2.10 Yuntdağ volkanitlerinde gözlenen süreksizlik takımları.	22
Şekil 2.11 Bademli civarındaki Soma formasyonunda fayların etkisi ile oluşan süreksizlik takımları.	23
Şekil 2.12 Çandarlı-Dikili arası yol güzergahı boyunca ölçülen süreksizlik takımlarının doğrultu gül diyagramı.	23
Şekil 2.13 Çalışma alanının Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'ndaki konumu.	25
Şekil 3.1 Taze-az ayrıışmış andezitin polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.	29
Şekil 3.2 Taze-az ayrıışmış andezitin polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.	30
Şekil 3.3 Orta-oldukça ayrıışmış andezitin polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.	31
Şekil 3.4 Orta-oldukça ayrıışmış andezitin polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.	32
Şekil 3.5 Örneklerin toz numuneler haline getirilmesi amacıyla kullanılan halkalı öğütme cihazı.	33
Şekil 3.6 Öğütülecek numunenin cihaza yerleştirilmesi.	34
Şekil 3.7 Kroze ve örnek ağırlıklarının hassas terazi ile ölçümü.	35

Şekil 3.8 HCl çözeltisi ve saf su ile hazırlanan karışımların homojen hale getirilmesi.	37
Şekil 3.9 Örneklerin, Alkali-Silis (TAS) diyagramındaki yerleri.	38
Şekil 4.1 Arazide kullanılan Schmidt çekici.	43
Şekil 4.2 Şev 1'in arazi ve ana çatlak takımlarının steorenet üzerinde görünümü. ...	44
Şekil 4.3 Şev 3'ün arazi ve ana çatlak takımlarının steorenet üzerinde görünümü. ..	45
Şekil 4.4 Şev 4'ün arazi ve ana çatlak takımlarının steorenet üzerinde görünümü. ..	46
Şekil 4.5 Şev 6'nın arazi ve ana çatlak takımlarının steorenet üzerinde görünümü. .	47
Şekil 4.6 Arazide Tilt deneyi ile Tilt açısının bulunması.....	48
Şekil 4.7 Şev 1'in ayrışma derecesi zonlanma haritası.	51
Şekil 4.8 Şev 2'nin ayrışma derecesi zonlanma haritası.	52
Şekil 4.9 Şev 3'ün ayrışma derecesi zonlanma haritası.	53
Şekil 4.10 Şev 6'nın ayrışma derecesi zonlanma haritası.	54
Şekil 4.11 Laboratuarda kaya bloklarından karot alma makinesi ile karot alımı.....	56
Şekil 4.12 Karotiyer yardımıyla alınan karot numunelerinin görünümü.	56
Şekil 4.13 Karotların en ve çaplarının kumpas ile belirlenmesi.	57
Şekil 4.14 Suya doygun hale getirilen karotların ağırlığının Archiment terazisi ile belirlenmesi.	58
Şekil 4.15 Taze-az ayrılmış andezitlerin fiziksel özelliklerinde gözlenen değişim grafikleri.	72
Şekil 4.16 Orta-oldukça ayrılmış andezitlerin fiziksel özelliklerinde gözlenen değişim grafikleri.	73
Şekil 4.17 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin fiziksel özelliklerinde gözlenen değişim grafikleri.	74
Şekil 4.18 Sonik hız cihazı ve aparatları ile ölçüm yapma.	76
Şekil 4.19 Taze-az ayrılmış andezitlerin kuru ve suya doygun koşullarda ultrasonik ses hızı iletkenliği grafiği.	76
Şekil 4.20 Orta-oldukça ayrılmış andezitlerin kuru ve suya doygun koşullarda ultrasonik ses hızı iletkenliği grafiği.	77
Şekil 4.21 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin kuru ve suya doygun koşullarda ultrasonik ses hızı iletkenliği grafiği.	77

Şekil 4.22 Taze-az ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.	80
Şekil 4.23 Taze-az ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası % porozite değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.	81
Şekil 4.24 Ayrışma derecesi permeabilite ilişkisini gösteren grafik.	81
Şekil 4.25 Taze-az ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası % ağırlıkça su emme oranlarının grafiksel karşılaştırılması.	82
Şekil 4.26 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.	82
Şekil 4.27 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası % porozite değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.	83
Şekil 4.28 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme değişimi değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.	83
Şekil 4.29 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin deney öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.	84
Şekil 4.30 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin deney öncesi ve sonrası % porozite değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.	85
Şekil 4.31 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin deney öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme değişimi değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.	85
Şekil 4.32 Deneyde kullanılan portatif kesme kutusu deney düzeneği.	87
Şekil 4.33 Deneye tabii tutulan numune.	87
Şekil 4.34 Süreksizlik içeren yüzeyin kalıba yerleştirilmesi.	88
Şekil 4.35 Numunenin kalıptan çıktıktan sonra ikiye ayrılması.	88
Şekil 4.36 Donan numune kalıplarının deney düzeneğine yerleştirilmesi.	89
Şekil 4.37 Kesme kutusu deney sonuçları ve yenilme zarfı denklemi.	91
Şekil 4.38 Riyodasit karotlarının tek eksenli basınç deneyi sonucunda kırılması.	93
Şekil 4.39 Taze-az ayrıışmış andezitlerin tek eksenli basınç deneyi öncesi ve sonrası görünümü.	93
Şekil 4.40 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin tek eksenli basınç deneyi sonucunda kırılması.	94
Şekil 4.41 Taze-az ayrıışmış andezitlerde tek eksenli basınç dayanımının fiziksel özelliklere göre değişimi.	97

Şekil 4.42 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde tek eksenli basınç dayanımının fiziksel özelliklere göre değişimi.	98
Şekil 4.43 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin tek eksenli basınç dayanımının fiziksel özelliklere göre değişimi.	99
Şekil 4.44 Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney aleti.	101
Şekil 4.45 Deney için hazırlanan 40-60 gr ağırlığında riyodasit örnekleri.	101
Şekil 4.46 Riyodasit ve taze-az ayrıışmış andezitlerde çevrim sayısı ve çevrim sonrası kalan malzeme.....	104
Şekil 4.47 Orta-oldukça ayrıışmış andezitte çevrim sayısı ve çevrim sonunda kalan malzeme.	104
Şekil 4.48 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinden önce (a) ve sonraki (b) profil değişimleri.	105
Şekil 4.49 Riyodasitlerde segment uzunluğu, segment sayısı ve fraktal boyut arasındaki ilişki grafiği.....	106
Şekil 4.50 Çalışmada kullanılan tarayıcı cihaz.	109
Şekil 4.51 Şev 1 yüzeyinin arazi görünümü.....	110
Şekil 4.52 Lazer tarayıcı cihaz ile Şev 1 yüzeyinden Ağustos 2013’de alınan ölçümlerin 3 boyutlu ham tarama noktaları.	110
Şekil 4.53 Şev 1 yüzeyinin Ağustos ayına ait üç boyutlu üçgenlenmiş görünümü.	110
Şekil 4.54 Mapinfo (v. 8.0) yazılımıyla oluşturulan Şev 1’in sayısal arazi modeli ve yüzeyden alınan kesit hatları.	111
Şekil 4.55 Şev 1 yüzeyinden alınan X-X' kesiti.....	112
Şekil 4.56 Şev 1 yüzeyinden alınan Y-Y' kesiti.....	112
Şekil 4.57 Şev 3’te kayma gözlenen GD yamacının görünümü.	113
Şekil 4.58 Şev 3 yüzeyinden alınan X-X' kesiti.....	113
Şekil 4.59 Şev 3 yüzeyinden alınan Y-Y' kesiti.....	114
Şekil 4.60 Şev 4’de kayma gözlenen GD yamacının görünümü.	115
Şekil 4.61 Şev 4 yüzeyinden alınan X-X' kesiti.....	115
Şekil 4.62 Şev 4 yüzeyinden alınan Y-Y' kesiti.....	116
Şekil 4.63 Mapinfo (v. 8.0) yazılımıyla oluşturulan Şev 4’ün sayısal arazi modeli ve yüzeyden alınan kesit hatları.	116
Şekil 4.64 Programda proje ortamına ait verilerin belirlenmesi	117

Şekil 4.65 Analiz sonunda hesaplanacak SRF değeri için yaklaşma katsayısı belirleme.....	118
Şekil 4.66 Şev geometri sınırlarının (x ve y koordinatlarının) programa girilmesi.	118
Şekil 4.67 Şev 1'e ait oluşturulan model görünümü.	119
Şekil 4.68 Belirlenen ikinci birimin tanımlanması.	120
Şekil 4.69 Kullanılan birinci süreksizlik takımının konumlarının girilmesi.....	121
Şekil 4.70 Süreksizlik takımlarının konumlarının girilmesi için açılan pencere.	121
Şekil 4.71 Sonlu eleman ağı oluşturma penceresi.....	122
Şekil 4.72 Şev yüzeyinde oluşturulan ağların görünümü.	123
Şekil 4.73 Oldukça ayrıışmış andezit biriminin materyal özelliklerinin tanıtıldığı pencere.	124
Şekil 4.74 Sağlam ve masif kaya kütlesi ile foliasyonlu-laminalı-makaslanmış kayaçları da içerecek şekilde düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi.....	125
Şekil 4.75 Kaya kütle parametresinin belirlenmesi için açılan pencere görünümü.	126
Şekil 4.76 "D" örselenme faktörünün belirlenmesi.	127
Şekil 4.77 RocData programı ile verilerin belirlenmesi ve kaydedilmesi.	128
Şekil 4.78 Şeve ait alan gerilme özelliklerinin belirlenmesi.....	128
Şekil 4.79 Şeve verilen sismik yük ve yönü.	129
Şekil 4.80 Şev 1'den alınan A-A' kesiti.	130
Şekil 4.81 Şev 1'den alınan B-B ' kesiti.....	131
Şekil 4.82 Şev 1 A-A' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,1g).	132
Şekil 4.83 Şev 1 A-A' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,15g).	132
Şekil 4.84 Şev 1 A-A' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,2g).	132
Şekil 4.85 Şev 1 B-B' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,1g).....	133
Şekil 4.86 Şev 1 B-B' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,15g).....	133
Şekil 4.87 Şev 1 B-B' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,2g).....	133
Şekil 4.88 Şev 1'de sismik ivme etkisi altında değişim gösteren güvenlik katsayısı değerleri grafiği.	135
Şekil 4.89 Şev 3 KB yamacından alınan A-A' kesiti.	136
Şekil 4.90 Şev 3 GD yamacından alınan B-B' kesiti.....	136
Şekil 4.91 Şev3 A-A' kesitinde gözlenen değişme (0,1g).....	137
Şekil 4.92 Şev 3 A-A' kesitinde gözlenen değişme (0,15g).....	137

Şekil 4.93 Şev 3 A-A' kesitinde gözlenen değişme (0,2g).....	138
Şekil 4.94 Şev 3 B-B' kesitinde gözlenen değişme (0,1g).	138
Şekil 4.95 Şev 3 B-B' kesitinde gözlenen değişme (0,15g).	138
Şekil 4.96 Şev 3 B-B' kesitinde gözlenen değişme (0,2g).	139
Şekil 4.97 Şev 3'te sismik ivme etkisi altında değişim gösteren güvenlik katsayısı değerleri grafiği.	140
Şekil 4.98 Şev 6 GD yamacından alınan A-A' kesiti.	141
Şekil 4.99 Şev 6 A-A' kesitinde gözlenen yatay yerdeğiştirme (0,1g)	141
Şekil 4.100 Şev 6 A-A' kesitinde gözlenen yatay yer değıştirme (0,15g).	142
Şekil 4.101 Şev 6 A-A' kesitinde gözlenen yatay yerdeğiştirme (0,2 g)	142
Şekil 4.102 Şev 6'da sismik ivme etkisi altında değışim gösteren güvenlik katsayısı değerleri grafiği.	143

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 İzmir ve yakın çevresinde son yüzyılda gelişmiş ($M \geq 5$) depremler.....	26
Tablo 2.2 Bölgede çeşitli deprem moment büyüklük değerleri için Fukushima ve Tanaka (1990)'a göre hesaplanmış sismik katsayı değerleri.....	27
Tablo 3.1 Kimyasal analizde elde edilen % ateş kaybı değerleri.....	36
Tablo 3.2 Örneklerin kimyasal analiz sonucu elde edilen ana element oksitleri.....	37
Tablo 3.3 Kimyasal ayrışma indeksleri.....	39
Tablo 3.4 Örneklerin hesaplanan ayrışma indeks değerleri.....	40
Tablo 4.1 Kayaçların ayrışma derecesi sınıflamaları.....	50
Tablo 4.2 Kayaçların kuru birim hacim ağırlığına göre sınıflamaları.....	59
Tablo 4.3 Taze-az ayrılmış andezitlerin birim hacim ağırlıkları.....	60
Tablo 4.4 Orta-oldukça ayrılmış andezitlerin birim hacim ağırlıkları.....	61
Tablo 4.5 Oldukça ayrılmış riyodasit birim hacim ağırlıkları.....	62
Tablo 4.6 Taze-az ayrılmış andezitlerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları.....	64
Tablo 4.7 Orta-oldukça ayrılmış andezitlerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları.....	65
Tablo 4.8 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları.....	66
Tablo 4.9 Kayaçların poroziteye göre sınıflandırılması.....	67
Tablo 4.10 Taze-az ayrılmış andezitlerin porozite ve boşluk oranı.....	68
Tablo 4.11 Orta-oldukça ayrılmış andezitlerin porozite ve boşluk oranı.....	69
Tablo 4.12 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin porozite ve boşluk oranı.....	70
Tablo 4.13 Taze-az ayrılmış andezitlerin fiziksel özellikleri.....	70
Tablo 4.14 Orta-oldukça ayrılmış andezitlerin fiziksel özellikleri.....	71
Tablo 4.15 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin fiziksel özellikleri.....	71
Tablo 4.16 P dalga hızı sınıflaması.....	75
Tablo 4.17 Numunelerin donma-çözünme deneyi sonrası kütle kaybı değerleri.....	79
Tablo 4.18 Uygulanan düşey yük ve okunan yatay yük değerleri.....	90
Tablo 4.19 Portatif kesme kutusu deney sonuçları.....	90
Tablo 4.20 Kayaçların tek eksenli basınç dirençlerine göre sınıflandırılması.....	94
Tablo 4.21 Taze-az ayrılmış andezitlerin tek eksenli deney sonuçları.....	95
Tablo 4.22 Orta-oldukça ayrılmış andezitlerin tek eksenli deney sonuçları.....	95

Tablo 4.23 Riyodasitlerin tek eksenli basınç dayanım sonuçları.....	96
Tablo 4.24 Numunelerin beş çevrim sonunda hesaplanan ıslak kararlılık indeksi değerleri.....	103
Tablo 4.25 Gamble (1971) tarafından geliştirilen ıslak kararlılık sınıflaması.	103
Tablo 4.26 Riyodasitlerde segment uzunluğu, segment sayısı ve fraktal boyut arasındaki ilişki.	106
Tablo 4.27 Şev 1'e ait Phase ² programında kullanılan parametre değerleri.	131
Tablo 4.28 Şev 1'e ait farklı sismik yüklere göre Fs değerleri(suya doygun).	134
Tablo 4.29 Şev 1'e ait farklı sismik yüklere göre Fs değerleri (kuru ortam).....	134
Tablo 4.30 Şev 3'e ait Phase ² programında kullanılan parametre değerleri.	137
Tablo 4.31 Şev 3'ten alınan kesitlerde farklı sismik yüklere göre hesaplanan Fs değerleri (suya doygun ortam).	139
Tablo 4.32 Şev 3'ten alınan kesitlerde farklı sismik yüklere göre hesaplanan Fs değerleri (kuru ortam)	140
Tablo 4.33 Şev 6'ya ait Phase ² programında kullanılan parametre değerleri.	141
Tablo 4.34 Şev 6 ya ait farklı sismik yüklere göre Fs değerleri (suya doygun ortam).	143
Tablo 4.35 Şev 6 ya ait farklı sismik yüklere göre Fs değerleri (kuru ortam)	143
Tablo 4.36 Laboratuar deney sonuçlarının toplu sunumu.....	147

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

İzmir ve yakın çevresinde oldukça geniş bir yayılım gösteren andezitlerde, düzensiz yapılaşma ve denetimsiz kazılar sonucu açılan yol şevlerinde kütle hareketleri son yıllarda artış göstermektedir. İzmir iline bağlı Çandarlı-Dikili arasındaki bölgede hızlı bir yapılaşma vardır. Denize bakan yamaçlarda oluşan bu hızlı yapılaşma nedeniyle kontrollü/kontrolsüz yapılan kazılar sonucu kritik denge halinde duran orta derecede ayrılmış/oldukça ayrılmış kayalar ve kaya-zemin sınırındaki kütlelerin gerilme koşulları değişmekte ve blok hareketleri şev dışına doğru gelişmektedir.

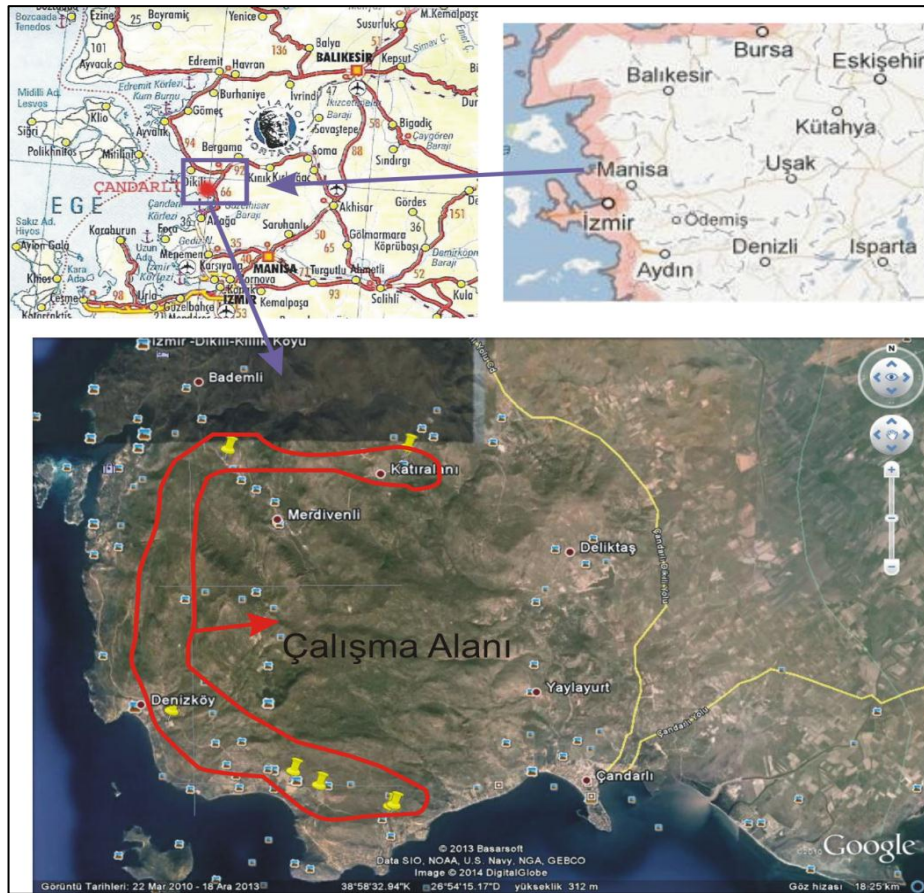
Arazi çalışmalarıyla yol şevlerinin, şev yükseklikleri, şev konumları ve içerdikleri süreksizliklerin konumları ölçülmüştür. Bu noktalardan farklı ayrışma derecelerine sahip (arazide göreceli olarak) andezit blok örnekleri alınmıştır. Alınan bu blok örneklerinden Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya-Zemin Mekaniği Laboratuvarında (NX) çaplı karotlar alınmıştır. Bu karot numuneleri üzerinde; birim hacim ağırlık tayini, boşluk oranı ve görünür gözeneklilik (porozite) tayini, ağırlıkça ve hacimce su emme ve sonik hız (ses hızı iletkenliği) deneyleri yapılarak farklı ayrışma derecelerindeki andezitlerin fiziksel ve elastik bazı özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, tek eksenli sıkışma dayanımı, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (Slake Durability) gibi andezitlerin mekanik özellikleri de tayin edilmiştir.

Çandarlı – Dikili bölgesinde gözlenen yol şevlerinde yerinde (in-situ) lazer tarayıcı cihazı ile periyodik olarak deformasyon ölçümleri alınmış ve bu ölçümler FaceModel ve Mapinfo yazılımları aracılığı ile değerlendirilmiştir. Lazer tarayıcı ile kaydedilen X, Y ve Z koordinatları kullanılarak yol şevlerinin üç boyutlu görüntüleri hazırlanmış ve bu görüntülerden alınan kesitler aracılığı ile farklı mevsimsel dönemlerde meydana gelen deformasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır.

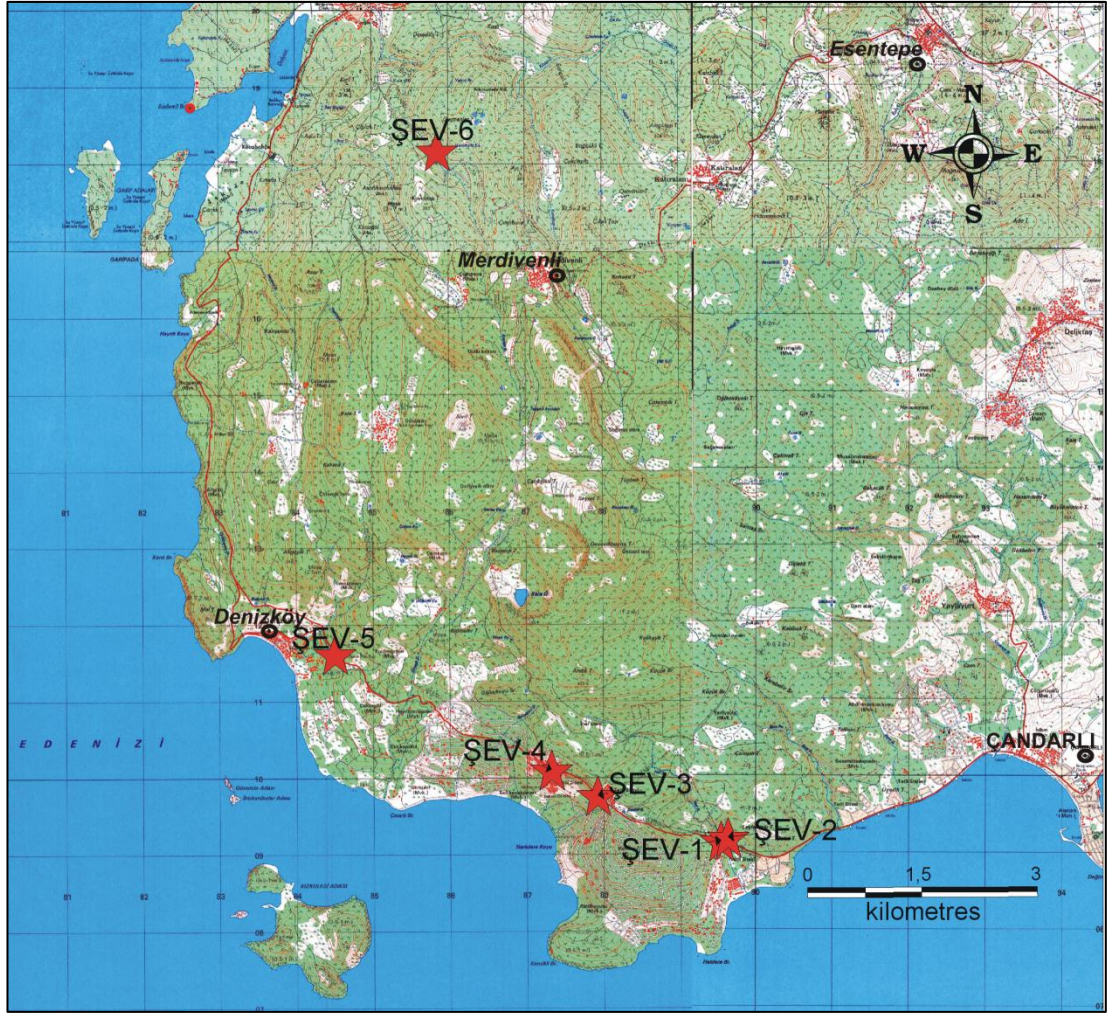
Arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları sonucunda farklı ayrışma derecesindeki şevlerden elde edilen veriler Phase² (v. 8.0) programı aracılığıyla modellenerek şevlerin duraylılık analizleri elde edilmeye çalışılmıştır. Şevlere ait koşullar dikkate alınarak şevlerin hangi koşullar altında duraylı olabileceği veya duraysız olmaları durumunda süreksizlikler boyunca yenilmelerin gerçekleşebileceği belirlenmiştir.

1.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı, 1/25000 ölçekli Urla K17 b1-b2 ve Balıkesir J17 c3-c4 paftaları içinde yer alan, İzmir İline bağlı Dikili ve Çandarlı ilçeleri arasındaki yol güzergahı boyunca gözlenen andezitlerde açılan yol şevlerini kapsamaktadır. Çalışma alanının İzmir iline uzaklığı yaklaşık 100 km'dir (Şekil 1.1). Çalışma kapsamında farklı ayrışma derecelerine sahip andezitlerde açılmış olan yol şevlerinin yerleri belirtilmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası.



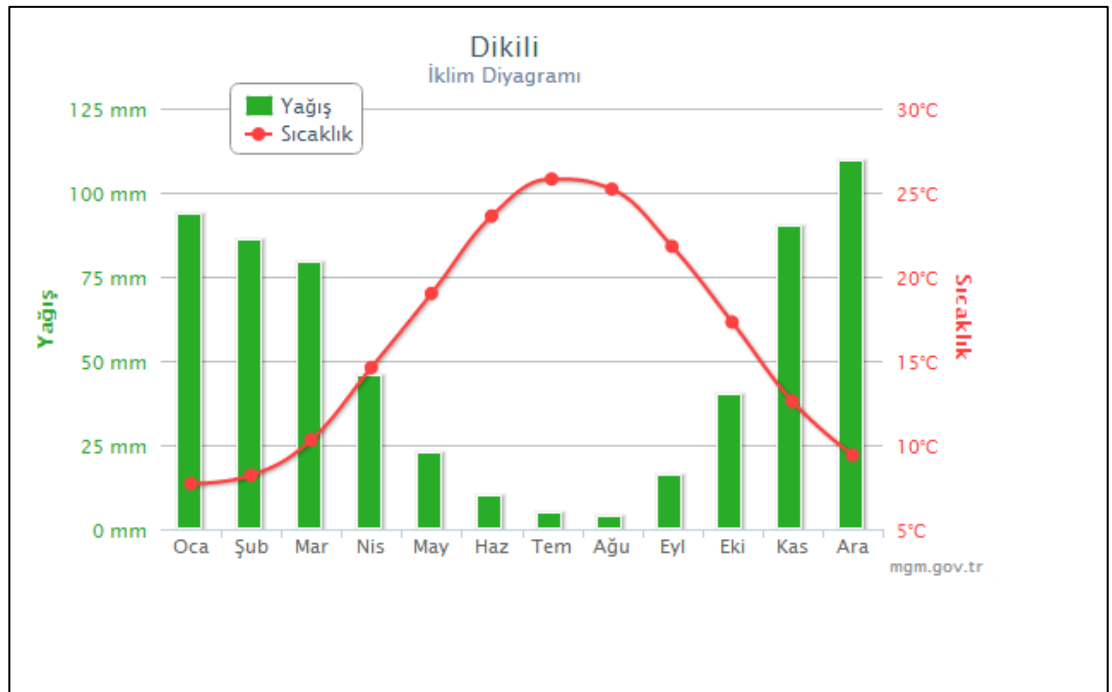
Şekil 1.2 Çalışma alanında incelenen yol şevlerinin yerleri.

1.2 Coğrafi Özellikler ve İklim

Çandarlı ve Dikili'nin bir bölümü ova şeklinde olup tepeler ani yükseltileri oluşturmaktadır. Bölgede yer alan önemli yükseltiler, Bademli Tepe (474 m), Kabalak Tepe (378 m), Akgeyik Tepe (348 m), Yumru Tepe (290 m), Karabekir Tepe (184 m), Sivri Tepe (148 m), Aşar Tepe (308 m), Kavuktaş Tepe (282 m) ve Kızıl Tepe (158 m)'lerdir.

Çalışma alanının batısında ve güneyinde Ege Denizi yer alır. Akarsu ağı olarak ise irili ufaklı, akışlı akışsız, mevsimsel akışlı olmak üzere önemli alanlar mevcuttur (Özen, 2002).

Yazları kurak ve oldukça sıcak, kışları bol yağışlı iklime sahip bölge, tipik bir Akdeniz iklimi sürmektedir. Yazın neredeyse hiç yağış olmamakla birlikte haziran ayından ekim ayına kadar 4 ay kuraklık dönemi yaşanır. Kış aylarında oldukça fazla yağın yağmurlar, ocak ayında 150 mm'ye kadar çıkmaktadır. En sıcak ay temmuz (26,9 °C), en soğuk ay ocak'tır (7,9 °C). Yazın % 59 oranında nemlilik gözlenirken bu oran yıl boyunca değişiklik gösterir (yıllık ortalama % 69). 2012 yılı verilerine göre bölgenin yıllık ortalama sıcaklığı ise 16,9 °C'dır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2013) (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Çandarlı-Dikili bölgesinin aylık ortalama yağış grafiği (Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden değiştirilerek).

1.3 Amaç ve Yöntem

Çalışma alanında, yapılaşmanın artmasıyla, Çandarlı - Dikili (İzmir) yol güzergahı boyunca yapılan yol kazı çalışmalarında stabilite açısından şev duraysızlıkları meydana gelmiştir. Bu yol güzergahı boyunca belirlenen şevlerde kayması muhtemel ve/veya önceden stabilitesi bozulmuş kesimler belirlenmiştir. Şevleri teşkil eden jeolojik birimlerin fiziko-mekanik özelliklerini laboratuvar

deneyleri sonucunda belirlenmiştir. Lazer tarayıcı cihazla alınan ölçümler yardımıyla farklı mevsimlerde meydana gelebilecek deformasyonların izlenmesi amaçlanmıştır.

Phase² şev stabilitesi analiz ve değerlendirme programı kullanılarak şevlerin mevcut durumlarının analizlerinin yapılması ve duraylık durumlarının ortaya konması amaçlanmıştır.

Çalışma, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Yapılan arazi gözlemleri sonucunda, farklı ayrışma derecesine sahip volkanik kaya gruplarında meydana gelen kayma potansiyeli olan yüzeyler belirlenmiş ve bu alanlarda çalışmalara yoğunluk verilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında belirlenen kayması muhtemel yol şevlerinde, kitle hareketlerinin oluşturduğu deformasyonların belirlenebilmesi için periyodik olarak lazer tarayıcı ile ölçümler alınmıştır. Farklı zamanlarda alınan bu ölçümler ışığında, şev yüzeylerinden bu dönemlere ait deformasyon grafikleri oluşturulmuştur. Belirlenen yol şevlerinin yükseklikleri ve şev açıları ölçülmüş ve kayma yüzeylerinden blok örnekler alınmıştır. Araziden getirilen blok örneklerden, laboratuvarında NX çapında karotlar alınarak, birimlerin dayanım parametrelerini belirlemek ve bazı fiziko-mekanik özelliklerini tanımlamak amacıyla; kesme kutusu deneyi ve tek eksenli basınç deneyi, birim hacim ağırlık tayini, hacimce ve ağırlıkça su emme deneyi, görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini, suda dağılmaya karşı duraylılık (Slake durability) ve donma çözünme deneyleri yapılmıştır. Deneyler, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Zemin-Kaya Mekaniği ile Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Büro çalışmalarında, laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenen fiziksel ve mekanik özellikler Phase² (v.8.0) program girdisi olarak kullanılmıştır. Şev modellerine ait stabilite analizleri yapılmıştır. Bunun yanında arazide “lazer tarayıcı cihaz” yardımıyla alınan ölçümler FaceModel yazılımıyla derlenerek yüzeylere ait üç boyutlu görüntüler hazırlanmıştır. Şev yüzeylerinde kayma bölgelerinden kesitler MapInfo (v.8.0) yazılımıyla alınarak deformasyonların gelişip/gelişmediği belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM İKİ

GENEL JEOLojİ

2.1 Önceki Çalışmalar

Ercan (1979), araştırmacı Batı Anadolu, Trakya ve Ege adalarında geniş alanlarda yüzlekler ve tüm Tersiyer ve Kuvaterner boyunca etkinliğini sürdüren kalk-alkalin ve alkalin nitelikli volkanizmanın petrolojik inceleme sonuçlarına dayanarak karşılaştırmalar yapmış ve plaka tektoniği açısından kökensel yorumlamada bulunmuştur. Bölgede geniş yüzlekler veren ve Tersiyer (Kuvaterner) boyunca etkinliğini sürdüren kalkalkalin ve alkalin nitelikli volkanizmanın petrolojik özelliklerini belirlenmiştir. Araştırmacının bulguları göz önüne alındığında, farklı yaşlarda ve niteliklerdeki tüm volkanitlerin eş kökenli olmadıkları saptanmış ve değişik yaşlardaki volkanitler için farklı kökensel yorumlar yapılabilmektedir. Güney Ege adalarında görülen ve 3 milyon yıl önce oluşmaya başlayıp, günümüze değin etkinliğini sürdüren genç kalkalkalin volkanizmanın kökeni, yaklaşık Üst Miyosen'de başlayıp günümüze değin oluşumunu sürdüren ve Afrika plakasının Ege-Anadolu plakasıyla çarpışıp altta dalma batma sonucu oluşan aktif yitim zonundan türedikleri belirlenmiştir. Batı-Anadolu ve Ege adalarındaki Miyosen-Pliyosen yaşlı, çeşitli evrelerdeki kalkalkalin ve alkalin volkanitlerinin kökeni hakkında araştırmacılar tam bir fikre varamamakla birlikte Paleosen yaşlı eski bir yitim zonundan türedikleri öne sürülmektedir. Foça ve Kula yörelerindeki ve Batı Anadoludaki diğer alkali nitelikli lavların, levha içi açılımlarla mağmanın yükselmesi sonucu oluştukları ve bölümsel kabuk ergimelerle kalkalkalin lavın gelişimine de neden olduğu yönünde bulgulara rastlanmıştır. Petrokimyasal verilere göre kalkalkalin nitelikli pek çok kayaç, alkalice çok zengin olduğu belirlenmiştir.

Akyürek ve Soysal (1983), araştırmacıların, Savaştepe, Kırkağaç, Bergama ve Ayvalık dolaylarında yaptıkları çalışmalarda: Çavdar Tepe formasyonu , bölgede en eski otokton birim olan, yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirerek muskovit-kuars şist, serizit-klorit-kuars şist, biyotitli kuvars, kuvars-albit-biyotit şistlerden oluşmuştur. Kınık formasyonlarından oluşan Halılağa Grubu; çeşitli kırıntılı

kayaçların yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğraması ile metakumtaşları ve milli kumtaşlı ve bu formasyonların Mesozoyik boyunca oluşmuştur. Kocaçukur Metavolkanit Üyesi, metasipilit, metadiyabaz, albit diyabaz ve bunların tüflerinden oluşmaktadır. Ahçahtepe Kireçtaşı Üyesi, beyaz renkli, kırılğan, ince-orta tabakalı kristalize kireçtaşlarından oluşur. Bakırtepe Volkanit Üyesi ise; yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş split, Diyabaz ve bunların tüflerinden oluşan alt üyeleri açıklar. Ayrıca çalışma alanımızın çevresinde yaptıkları araştırmalarda; Üst Kretase-Eosen zaman aralığında bölgede genellikle monzogranit, granodiyorit, granodiyoritin porfir bileşiminden ibaret olan Kozak Granodiyoriti'nin, Üst Triyas yaşlı Halılağa grubuna ait Çavdartepe Formasyonu'nu, Kocaçukur Metavolkanit Üyesi'ni, Kınık Formasyonu'nu kestiği ve kontak metamorfizmaya uğrattığını, yer yer Riyolit ve Riyodasit ile görülmüş olan Yürekli Dasiti'nin bu magmatik olaylar sonucu oluşturduğunu ve Halılağa Grubu'na ait Kınık Formasyonu'nu kestiği gözlenir. Birim, killi kireçtaşı, kiltası, marn, miltası, tüfit, kumtaş, çakıltası aralanmasından oluşur ve Üst Miyosen yaşlı Kınık formasyonu tarafından örtülmektedir. Yazarlara göre; geniş yayılım gösteren, çalışma alanının hemen hemen her kesiminde gözlenebilen, andezitlerden, tüflerden, laharlardan ibaret olan Yuntdağ Volkanikleri ile bunlarla eş zamanlı akarsu ve göl sedimentlerinden oluşan Ballica Formasyonu, Soma Formasyonu'nun altında, üstünde, bazen de lav akıntıları ve tüfit düzeyleri halinde içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Bu nedenle, Yuntdağ Volkaniklerinin Miyosen'den önce başlayan ve Üst Miyosen-Pliyosen'e kadar devam eden volkanizmanın ürünleri olduğunu açıklamışlardır. Volcano sedimanter birim olarak, yuvarlak ve yarı köşeli andezit çakıllarının tüf ile tutturulmasından oluşmuş Rahmanlar Aglomerası'nın bazı yerlerde Yuntdağ Volkanikleri ve Soma Formasyonu'nun üzerine geldiğini, bazı kesimlerde de Soma Formasyonu ile girik olduğunu gözlemlemişlerdir. Son olarak bölgede volkanizmanın son ürünü olan, koyu siyah, sert, bol gaz boşluklu, altıgen soğuma sütunları gözlenen Dededağ Bazaltlarıdır. Bu bazaltlar, Soma Formasyonu, Yuntdağ Volkanitleri ve Rahman Aglomerası'nı kesmekte ve buna göre olasılıklı yaşının Üst Miyosen-Pliyosen'den genç olduğunu belirlemişlerdir.

Ercan ve diğer. (1984), gerçekleştirilen çalışma kapsamında, Dikili-Bergama-Çandarlı arasında yer alan kaya birimlerindeki mağmatik kayaların plaka tektoniği açısından kökensel yorumları yapılmıştır. Bölgedeki mağmatizma, Eosen-Oligosen’de yerleşmeye başlayan Kozak Plütunu ile etkin olmuş, daha sonra Yuntdağ Volkanitleri oluşmuştur. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Dededağ bazaltları volkanizmanın son ürünü olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, Senozoyik yaşlı birimleri ayırtılı olarak çalışmışlardır. Bölgede geniş yüzlekler veren Akyürek ve Soysal (1983) tarafından Yuntdağ Volkanitleri olarak adlandırılan volkanik birimin, çeşitli türde lavlar, tüfler, silisleşmiş tüfler, aglomeralar ve laharlar içerdiği belirlenmiştir. Dededağ Bazaltının, çalışma alanında bazaltik lav akıntıları içeren son volkanik ürün olduğu saptanmıştır. Bu lavlarla birlikte yer yer lav breşi, aglomera ve bazaltik tüfler de gözlenmektedir. Volkanik kayaların, alkali Na, O, K ve SiO₂ içeriklerine göre kimyasal sınıflandırılmaları yapıldığında, kalkalen nitelikte Yuntdağ volkanitleri; alkalın nitelikte ise Dededağ Bazaltının olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanındaki volkanitlerin yüksek potasyumlu kalkalkelen, kısmen de şošonitik nitelikte kıta içi volkanitleri grubundan oldukları belirlenmiştir. Bölgede gözlenen volkanitler kabuk kökenlidir ve yer yer manto kökenli mağma ile karışarak oluşmuştur. Olasılıkla Alt Eosen’den itibaren Pontid’lerle Anatolidlerin çarpışmalarından (Şengör ve Yılmaz, 1981), sonra giderek kalınlaşan kıta kabuğunun derin kesimlerde alttan itibaren kısmi ergimelere başlamasıyla oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ercan ve diğer. (1986), yaptıkları çalışmalar sonucunda, inceleme alanında plütonik kayaç olarak, Üst Oligosende monzonitik dayklar ve Eosen – Oligosende yerleşmeye başlayan Kozak Plütونunu belirlemişlerdir. Beş farklı evrede etkin olan volkanizma Üst Oligosenden Pliyosene kadar devam etmiştir. Araştırmacılara göre; volkanitler kalk-alkalen ve kısmen de şošonitik nitelikte olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında kıtasal kabuk köken özelliklerini yansıttıklarını belirtmişlerdir.

Karacık ve Yılmaz (2000), Dikili-Çandarlı bölgesinde başlıca iki kaya topluluğu ayırtlamışlardır. Alt-Orta Miyosen yaşlı ve ortaç bileşimli volkanikler altta yer almaktadır. Üst topluluk, bu volkanik birimin üzerine diskordan olarak (Üst

Miyosen-Pliyosen döneminde) gelişmiştir. Gölsel çökel istif ve kireçtaşlarından oluşan bu topluluk içinde bazaltik lav akıntıları vardır. Alt-Orta Miyosen yaşlı piroklastik kayalar ve ortaç feslik lavlar Dikili grubunu oluşturmaktadır. Piroklastik kayalar, bölgenin temelinde yer almaktadır. Farklı gelişim mekanizmaları sonucu oluşan ve piroklastik yağış ve akıntı birimleri ile temsil edilen Piroklastik birimlerdir. Bölgenin en yaygın izlenen piroklastik biriminin, yağış birimleri olduğunu araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur. Akıntı birimleri ise, genelde alt seviyelerde olmakla birlikte, değişik seviyelerde yağış birimleri ile yanal ve düşey olarak ardalanır konumdadır. Ortaç (nötr) bileşimli lav akıntıları çalışma alanının en yaygın birimidir. Riyolitik bileşimli lavlar ise çalışma Çandarlı'nın doğusunda yer alır.

Karacık ve Yılmaz (2000), araştırmacıların bulgularına göre çalışma alanının batı ve doğu kesimlerinde izlenen ikinci kaya grubu, Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Zeytindağ grubudur. Bu grup içinde bazaltik lavlar ve çökel kayalar ardalanır konumdadır. Şeyller ile başlayan istif karbonatlı silttaşı, kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ardalanması ve marn ara düzeyleri ile devam etmektedir. İstifin en üst düzeyinde ise gri, bej, beyaz renkli mikritik kireçtaşlarının yer aldığı sağtanmıştır. Erken Pliyosen ve daha sonra genç fayların denetiminde, Dikili-Çandarlı arasında kalan bölde yükselmiş ve günümüzdeki yüksek alan konumunu almıştır. Bu süreç içerisinde, Bergama grabeninde açılma evrimi geçirdiği belirlenmiştir. Bergama grabeninin en batı ucunda yer alan Dikili-Çandarlı bölgesi, KD-GB ve KB-GD doğrultulu, yanal atım bileşenli çift oblik fay sistemi ile parçalanmış ve faylar boyunca gelişen gerilme nedeniyle yükselim ve alçalım alanlarının geliştiği gözlenmiştir. Çandarlı-Dikili yükselimi ana kütleden deniz yönünde ayrılarak batıya doğru, fayların yanal atım bileşenlerinin etkisi ile ilerlediği ortaya konulmuştur.

2.2 İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanında dört çeşit kaya topluluğu yer almaktadır. Bunlar; Yuntdağ Volkanitlerini oluşturan andezit, dasit, riyolit, riyodasit, latit, trakit, trakidasit ve laharlar, silisleşmiş tüfler ve aglomeralar bölgede geniş bir yayılım sunmaktadır.

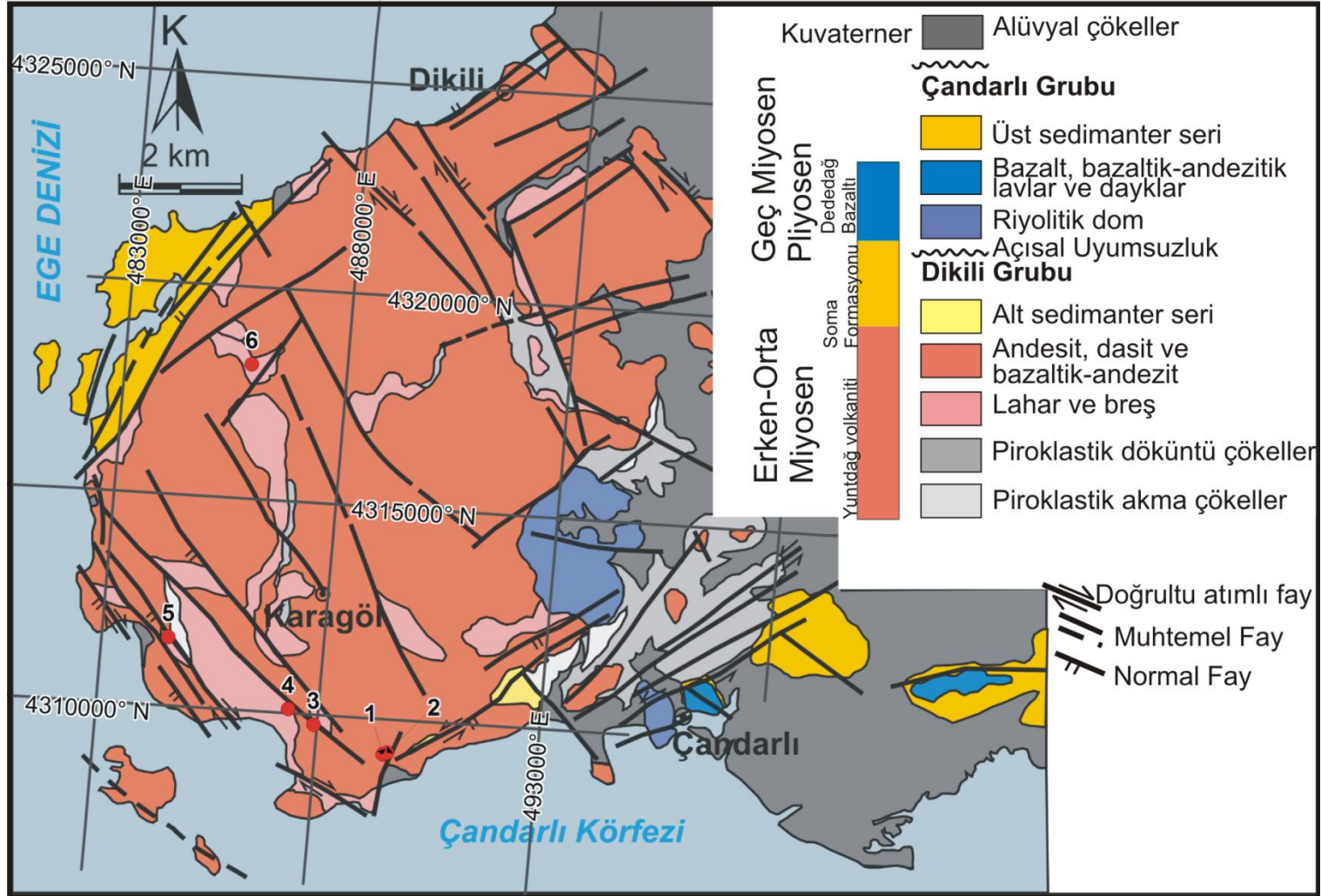
Çalışma alanının büyük çoğunluğunda Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı Yuntdağ volkanitleri yer almaktadır. Bu volkanik kayaların yaşı Akyürek ve Sosyal (1983) tarafından Miyosen-Pliyosen olarak tahmin edilmiştir.

Çalışma alanında yer alan ikinci kaya topluluğu, tortul birimlerden oluşan ve Soma Formasyonu olarak adlandırılan birimdir. Soma Formasyonu, Yuntdağ volkanitlerinin çakıllarını içeren taban çakıltasıyla başlar ve killi kireçtaşı, kıltaşı, çamurtaşı, silttaşı birimlerinden oluşan bir ardalanma sunar. Çalışma alanının özellikle batı kesiminde geniş yayılım sunan çökel kayaçların volkanik birimlerle yaptığı dokanağı tektoniktir (Karacık, 2000).

Dededağ Bazaltı, çalışma alanında dar bir alanda gözlenmektedir. Dededağ bazaltı, koyu siyah renkli, oldukça sert ve yer yer gaz boşluklu yer yer altıgen soğuma yüzeyleri içermektedir (Akyürek ve Soysal, 1983).

Dededağ Bazaltı, Soma Formasyonu, Yuntdağ Volkanitleri'ni keserek, bu formasyonlar üzerine akmış ve çökelmiştir. Çalışma alanında volkanizmanın son ürünü olarak gelişen Dededağ Bazaltı'na Pleyistosen yaşı verilmiştir (Ercan ve diğer., 1984).

Çalışma alanında yüzlek veren ve tüm birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelen alüvyon, yamaç moluzudur. Birim, kum, çakıl, kil boyutunda kırıntılı malzemeler içermekte ve bu malzemeler inceleme alanının ovalık kesimini oluşturmaktadır. Alüvyon genelde bulunduğu yerdeki kaya türünü içeren tutturulmamış veya yarı tutturulmuş malzemedan oluşur (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).



Şekil 2.1 Şev lokasyonlarını da kapsayan Çandarlı-Dikili çevresinin genel jeoloji haritası (Karacık ve diğer., 2007'den değiştirilerek).

2.2.1 Yuntdağ Volkanitleri

Akyürek ve Soysal (1983) tarafından Yuntdağ volkanitleri olarak adlandırılan birimin ürünlerine çalışma alanının genellikle her kesiminde rastlanır. Topoğrafyanın yüksek olduğu kısımlarda tüm yerleri kaplamışlardır ve üzerleri kısa boylu, yeşil, sert bir bitki örtüsü olan maki ile örtülmüştür.

Yuntdağ Volkanitleri, andezit, dasit, riyodasit, riyolit, latit, trakit, trakidasit ve laharlar, silisleşmiş tüfler ve aglomeralar gibi geniş bir petrografik aralıkta kendini göstermektedir (Şekil 2.3) (Akyürek ve Soysal, 1983).



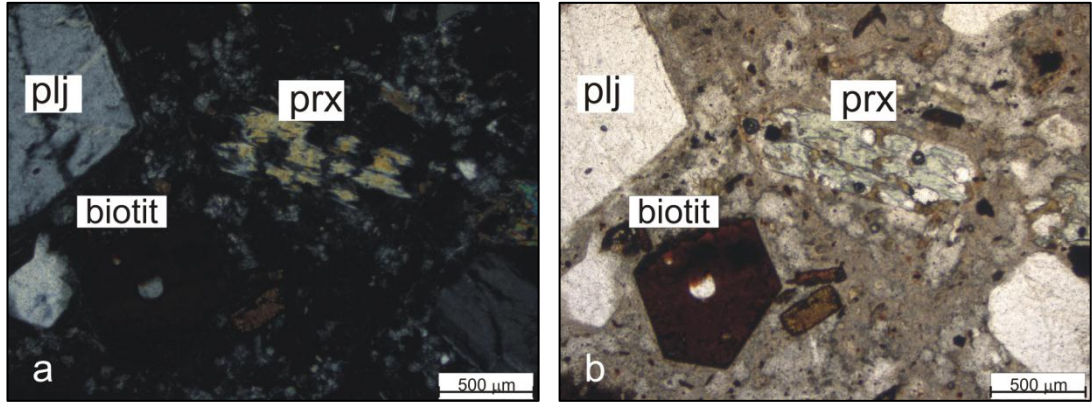
Şekil 2.3 Yuntdağ volkanitlerinden bir görünüş (Koordinat: 487722/4316445).

Yuntdağı içindeki andezitler genellikle gri, sarı, yeşil, bordo ayrışma renginde ve gri-pembe taze yüzey renginde gözlenmektedir. Dayanımlı, sert ve masif bir yapı sunan andezitler, yer yer otobreşik andezitler şeklinde de gözlenmektedir (Şekil 2.4) Andezitlerin içerisinde el örneklerinde biyotit minerali net bir şekilde gözlenmekte olup, malzeme aşınarak kile dönüşmüştür. Andezitlerdeki ilksel akıntı izleri kısmen korunmakla birlikte akma yapıları içermektedir.

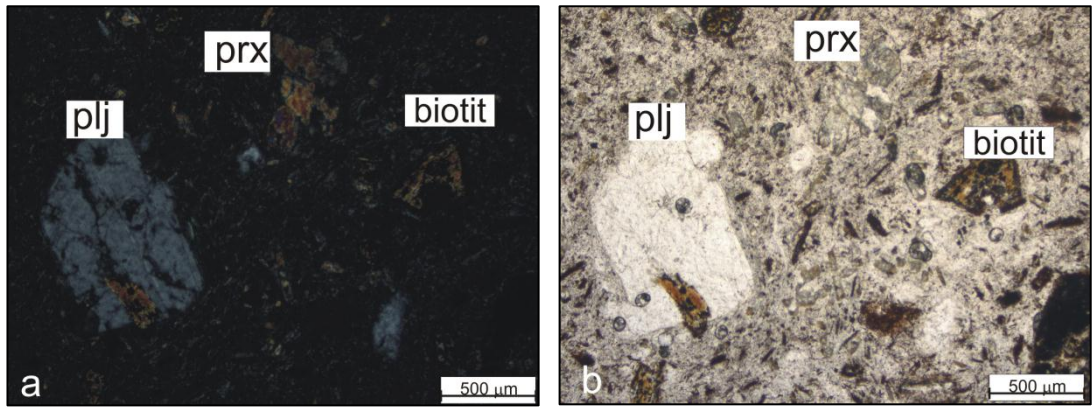


Şekil 2.4 Çalışma alanında gözlenen otobreşik andezitler (Koordinat: 486256/4318014).

Çalışma alanında farklı ayrışma derecelerine sahip alanlardan alınan andezit numuneleri üzerinde hazırlanan ince kesitler incelendiğinde mineral birleşim oranında farklılıklara rastlanmaktadır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6). Şekil 2.5’de gözlenen taze-az ayrılmış andezit örneğinin ince kesitinde gözlenen plajiyoklas, biyotit ve piroksen mineralleri net bir şekilde gözlenmektedir. Şekil 2.6’de gözlenen orta- oldukça ayrılmış andezit numunesinin ince kesitinde gözlenen minerallerde bozulmalar gözlenmiştir. İncelenen kesitlerde taze-az ayrılmış andezit içeriğinde piroksen oranı, orta-oldukça ayrılmış andezite göre daha fazladır.



Şekil 2.5 Porfirik dokulu taze-az ayrılmış andezit ince kesiti (a) + Nikol b) // Nikol) (prx: piroksen, plj: plajiyoklas) (Koordinat: 489550/4309182).



Şekil 2.6 Porfirik dokulu orta-oldukça ayrılmış andezit ince kesiti (a) + Nikol b) // Nikol) (prx: piroksen, plj: plajiyoklas) (Koordinat: 485842/4318172).

Ortaç bileşimli lav akıntıları çalışma alanının en yaygın birimidir. Piroklastik birimlerin üzerinde akma breşleri ile başlayan lav akıntıları, genel olarak andezit ve yer yer latit bileşimlidir. Lahar akıntıları, akma breşleri ve lav akıntıları içinde yanal ve düşey geçişli olarak yer almaktadır (Karacık ve diğer., 2007). Riyolit bileşimli lavlar ise Çandarlı doğusunda yer alır. Çeşitli araştırmacıların gerçekleştirdikleri yaş tayinleri sonucunda, lavların yaşı 16.7 milyon yıl (K/Ar yöntemi) (Borsi, Ferrara, Innocently, ve Mazzuoli, 1972) ve 18.1+ 0.4 milyon yıl arasında değişmektedir (Benda ve diğer., 1974). Volkanik kayalardan yapılan jeokimyasal incelemeler sonucunda lavlar kalkalen nitelikte gözlenmiştir (Borsi ve diğer., 1972; Ercan ve Günay, 1984).

Hornblend andezit ve biyotit hornblend andezit türünde kayalar, bölgenin Dikili Ilıcaları ve bu ılıcaların kuzeybatı kısmında yüzeylenmektedir (MTA-JICA, 1987). Bu tür kayalar, kökenleri aynı olan tüf breşleri içermektedir. Bölgede yüzeyleyen birimler, genel olarak hidrotermal alterasyon etkisindedir ve açık griden koyu-yeşilimsi griye değişen renklerde alterasyon yüzeyleri sunmaktadır. Kayaların içerdiği bazı çatlak yüzeyleri boyunca silis minerali, kalsit ve jips dolguları yer almaktadır. Bundan başka silisifiye alterasyon zonları ve killeşmiş zonlara sıkça rastlanır ve bu zonlar 150 m kadardır. Tektonizmanın etkisi ile mağmanın yeryüzüne yükselmesi sonucu bu kayalar oluşmuştur (MTA-JICA, 1987).

Bölgede gözlenen tüfler, daha çok dasitik ve riyoasitik bileşiminde, gri, sarı, beyaz renklindedir. Tüfler yer yer kaolenleşmiş yüzeyler sunmaktadır (Akyürek ve Soysal, 1983).

Laharlar bölgede Dikili İlçası güneybatısında gözlenmekte ve andezit, biyotit ve hornblend andezit üzerini örter. Laharların kalınlıkları 100 m'den azdır (MTA-JICA, 1987). Tüf matriksli gözlenen laharlar, orta ve iri boyutta ve genellikle andezit bileşimli çakıl bloklarından oluşmaktadır (Şekil 2.7) (Akyürek ve Soysal, 1983).



Şekil 2.7 Katıralanı köyü civarında gözlenen lahar (Koordinat: 489610/4317895).

Karasal çökellerden oluşan Soma Formasyonu altında Yuntdağ volkanitleri çökelmiştir. Soma Formasyonunda Yuntdağ volkaniti çakıllarına rastlanmaktadır. Yuntdağ volkanitinin çökelişi Soma Formasyonunun çökelişi süresince de devam etmiştir. Akyürek ve Soysal (1983), bölgede yaptığı çalışmalar sonucu birime Alt Miyosen-Pliyosen yaşını vermişlerdir ve bu birimi değişik evrelerde gelişmiş volkanizma ürünü olarak tanımlamışlardır.

2.3.2 Soma Formasyonu

Akyürek ve Soysal (1983) tarafından Soma Formasyonu olarak adlandırılan bu birim tabanda Yuntdağ volkanitlerinin çakıllarını içeren taban çakıltaşıyla başlar ve killi kireçtaşı, kiltası, çamurtaşı, silttaşı birimlerinden oluşan bir ardalanma sunmaktadır. Taze yüzey rengi beyazımsı olan Soma Formasyonu, genellikle beyaz, gri, sarı, bej renklerde dir.

Birim genelde yatay ve yataya yakın tabakalanmalıdır (Şekil 2.8). Yer yer yatık hatta devrik kıvrımlı yapı gösterir. Killi ve karbonatlı düzeyler lamine bir yapı sunar. Oolitli kireçtaşı yüzeyleri içermektedir. Tüfitler kısmen kaolinleşmiş olarak izlenirler. Çeşitli yerlerde kömürlü (Soma havzası) gözlenen birim, bütümlü şist düzeyleri de içermektedir (Akyürek ve Soysal, 1983).

Soma Formasyonu'nundan alınan örneklerde; *Cypria* cf. *ophthalmica* Jürine, *Candona meglecta* Sars, *Cyprinotus* cf. *solinus* Brady, *Caspiocypris* sp., *Cypridopsis* sp., *Miocyprideis* sp., *Cheikella* sp., *Lineocypris* cf. *trapezoides* Zalanı, *Candona angulata* G.W. Muller, *Ilyocypris brady* Sars, *Pyrgula* cf. *masa incisa* Fuchs, fosilleri saptanmıştır. Formasyonun yaşı, belirlenen fosil topluluğuna göre Alt Miyosen-Pliyosen olarak verilmiştir (Akyürek ve Soysal, 1983).



Şekil 2.8 Killi kireçtaşı-marn (tabaka eğimleri 10-15°) (Koordinat: 485183/4319271).

Soma Formasyonunun Yuntdağı volkanitleri ile olan dokanağı normal faylıdır. Yuntdağ volkanitleri karasal çökellerden oluşan Soma Formasyonunun altında görülmektedirler (Karacık, 2000).

2.3.3 Dededağ Bazaltı

Birim çalışma alanında dar bir kesimde gözlenmektedir. Dededağ bazaltı, koyu siyah renkli, oldukça sert ve yer yer gaz boşluklu yer yer altıgen soğuma yüzeyleri içermektedir. Taze kırık yüzeyleri gri, yeşilimsi siyah olup, bozunmuş yüzeyleri kırmızımsı kahve renklindedir (Akyürek ve Soysal, 1983). Dededağ bazaltı, Soma Formasyonu, Yuntdağ Volkanitleri'ni kesmiş ve bu formasyonlar üzerine akmıştır. Birim bölgedeki volkanizmanın son ürünüdür. Buna bağlı olarak Pleyistosen yaşlı olarak belirlenmiştir (Ercan ve diğer., 1984).

2.3.4 Alüvyon ve Yamaç Molozu

Alüvyon genelde bulunduğu yerdeki kaya türünü içeren tutturulmamış veya yarı tutturulmuş malzemeden oluşur. Çalışma alanında dere ağzlarında ve düşük kotlu yerlerde yaygın olarak gözlenmektedir. Kum, çakıl, kil boyutunda kırıntılı malzemeler içermekte ve Dikili-Çandarlı ovalarını oluşturmaktadır. Çalışma alanında yer alan ana dereler ve bu derelere birleşen küçük dereler boyunca yamaç molozları gözlenmektedir. Arazi genelinde, yamaç molozları genelde temel kayalardan türemektedir (Şekil 2.9).

Bölgede gözlenen alüvyon/yamaç molozu tüm birimlerin üzerine uyumsuz olarak yerleşmekte ve yaşı Akyürek ve Soysal, (1983) tarafından Holosen olarak verilmiştir.



Şekil 2.9 Andezit bloklu yamaç molozu (Koordinat: 487695/4316087).

2.3 Yapısal Jeoloji

Batı Anadolu’da Miyosen ve Pliyosen’de açılma ve gerilme hareketleri sonucu grabenler oluşmuştur. Dikili-Çandarlı alanları da Bakırçay graben sistemi içinde yer alan önemli bir sahadır (Özen, 2002). Bu bölüm, MTA-JICA (1987) ve Karacık ve Yılmaz (2000)’den derlenerek alınmıştır.

Dikili-Çandarlı bölgesinin ana yapı unsuru faylardır. Bölgede yer yer birbirlerini keser konumda olan başlıca iki fay sistemi tanınmaktadır. Çalışma alanının doğusunda izlenen fay setleri KD-GB ve KB-GD doğrultuludur. Genel olarak yanal atımlı olmakla birlikte oblik atımlı olan faylarda yaygındır. Çalışma alanının kuzeydoğusunda izlenen KB-GD doğrultusundaki fay takımı Dikili fayı, güneyde KD-GB doğrultusundaki fay takımı ise Çandarlı fayı olarak adlandırmışlardır (Karacık, 2000).

Dikili Fayı, birbirine paralel yaklaşık dört faydan oluşmakta ve sağ yanal atımlı olarak izlenmektedir. K25B/70-80 GB konumlu fay sistemi volkanik birimleri kesmiştir (Karacık, 2000).

Çandarlı Fayı ise, birbirine paralel beş faydan oluşmakta ve bölgenin güneydoğusunda yer almaktadır. Bu faylar karada yaklaşık 6 km boyunca açıklıkla izlenmektedir. Çandarlı Fayı, Dikili topluluğuna ait tüfleri ve feslik lavları kesmektedir. Fay düzlemi boyunca riyolitik çakıllarından oluşan (5-10 cm boyutunda) fay molozu ve beyaz fay kili gelişmiştir. Fay K45D/55GD konumludur (Karacık, 2000).

Sahili sınırlayan ve bu alanları denetleyen faylar, bölgede gözlenen ikinci fay takımıdır. KD-GB ve KB-GD doğrultulu olan bu faylar normal fay karakterlidir. Bölge fayların etkisi ile denize doğru basamaklar şeklinde alçalmıştır (Karacık, 2000).

Bademli Fayı olarak adlandırılan fay, KD-GB doğrultulu ve bölgenin kuzey batı kesimindedir. Fay düzlemi, çökel kayalar ile volkanik birimleri yan yana getirmektedir (Karacık, 2000).

Denizköy fay sistemi bölgenin güneybatısında izlenmektedir. Ana fayın konumu: K55-40B/55GB olarak belirlenmiştir. Fay üzerinde K-G doğrultulu fay çizikleri yer almaktadır ve dalım açıları 25GD olarak ölçülmüştür (Karacık, 2000). Listirik karakterli bu fayda, küçük sol yanal atımlı bileşeni de izlenmektedir. Fay zonunda gözlenen latit andezitler makaslanarak ezilmiştir. Bölge genelinde yaygın olarak kükürtlü demirli alterasyonlar gelişmiştir. Sıcak su çıkışları bölgede oldukça yaygındır (Karacık, 2000).

Dikili bölgesinde sağ yanal atımlı, Çandarlı bölgesinde sol yanal atımlı olan egemen faylar arasında kalan bölge, batıya doğru ötelenerek denize doğru yarımada şeklinde sokulmuştur. Denize doğru basamaklar halinde alçalan bölgenin denize bakan batı tarafı, KB-GD ve KD-GB gidişli listirik faylarla sınırlanmıştır. Bu fayların denetiminde, ana karanın önünde adalar gelişmiştir. Faylar bölgedeki tüm birimleri keserek ötelemektedir. Ayrıca bölgenin morfolojisini ve sahil çizgisini bu faylar denetlemektedir. Bu yapıların tümü Erken Pliyosen'den daha genç olup, K-G gerilme rejimi ile uyumlu yapıdadır (Karacık, 2000).

Gediz graben sistemi dışındaki neotektonik dönem yapıları KB ve KD uzanımlıdır. Doğrultu atımlı faylar, neotektonik dönem deformasyonlarını etkilemektedir (Emre ve Barka, 2000). KD uzanımlı yapılar daha baskın ve daha uzundurlar. Yuntdağ bloğunu batıdan sınırlayan kuzeydeki Zeytindağ-Bergama Fay zonu, bölgedeki ana yapısal unsurdur (Genç ve Yılmaz, 2000).

KB-GD, KD-GB konumlu faylanmalar Kaynarca jeotermal alanında yer almaktadır. Gravite çalışmaları sonucunda grabeni oluşturan kuzeydeki fayın Kaynarca'nın bulunduğu yerden geçerek D-B doğrultusunda uzandığı, aynı şekilde grabenin güneyini sınırlayan fayın Kargın Tepe kuzeyinden geçmektedir (MTA-JICA, 1987).

Yuntdağı volkanitlerinde yaygın bir şekilde farklı konumlu süreksizlik takımları bulunmaktadır. Bu durum bölgenin geçirmiş olduğu aktif tektonik deformasyondan kaynaklanmaktadır. Bölge tektonik evrimi devam etmekte ve birinci derece deprem bölgesidir (Şekil 2.10).

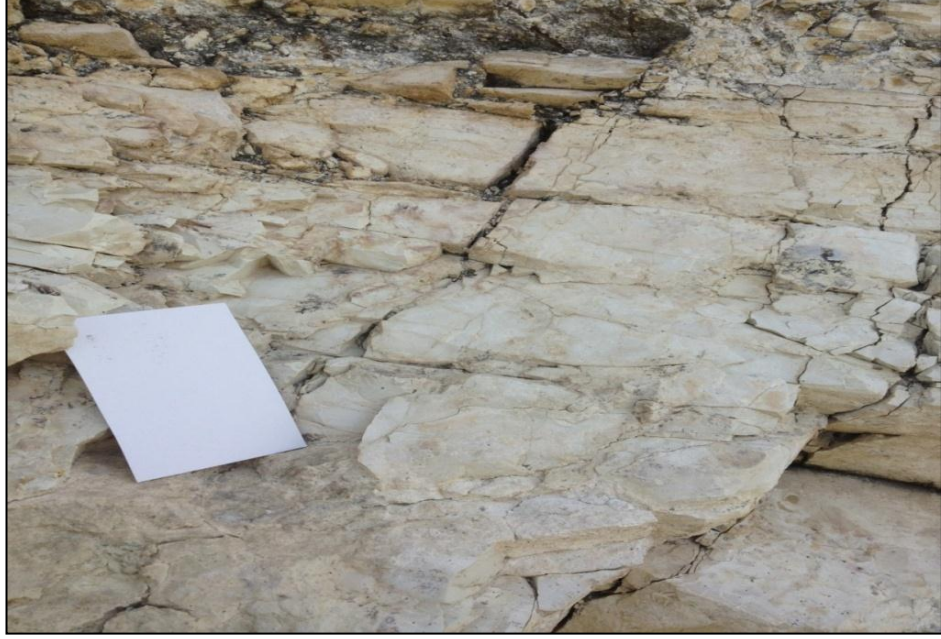


Şekil 2.10 Yuntdağ volkanitlerinde gözlenen süreksizlik takımları.

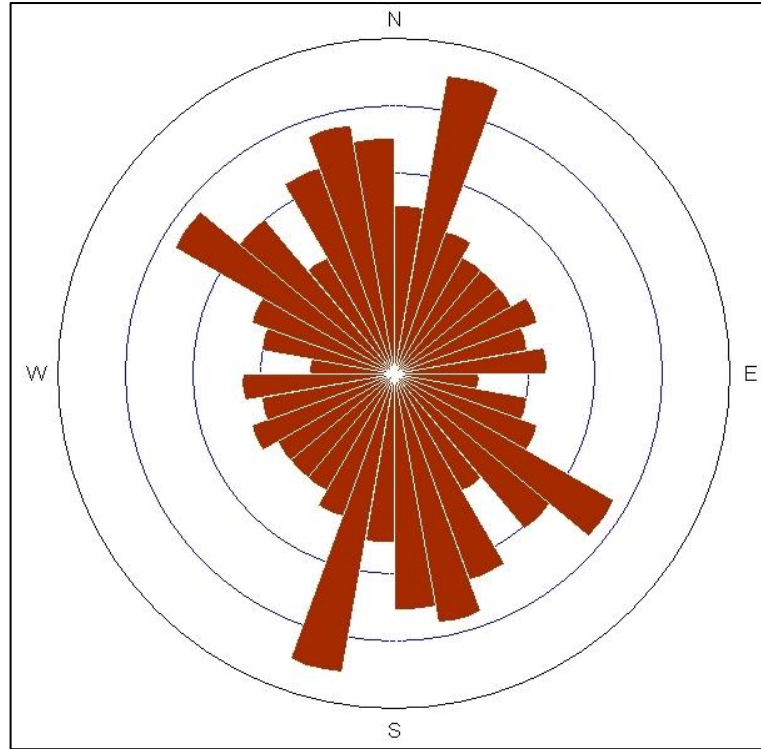
Soma formasyonu yataya yakın bir tabakalanma göstermektedir. Bölgedeki KB-GD fayların etkisi ile Soma formasyonunda çatlak eklem takımları oluşmuştur (Şekil 2.11). Küçük ölçekli antiklinal ve senklinal yapılar bulunmaktadır.

Çalışma boyunca farklı birimlerden ölçülen tüm süreksizlik takımı konumlarını içeren, doğrultulu gül diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 2.12). Toplam 270 süreksizlik ölçümünden yararlanarak hazırlanan gül diyagramına göre hakim

süreksizlik takımı KD-GB uzanımlıdır. Bunun yanı sıra KB-GD uzanımlı süreksizliklerde bulunmaktadır.



Şekil 2.11 Bademli civarındaki Soma formasyonunda fayların etkisi ile oluşan süreksizlik takımları (Koordinat: 484028/4318995).



Şekil 2.12 Çandarlı-Dikili arası yol güzergahı boyunca ölçülen süreksizlik takımlarının doğrultu gül diyagramı (270 süreksizlik ölçümünden yararlanarak oluşturuldu).

2.4 Deprem Durumu

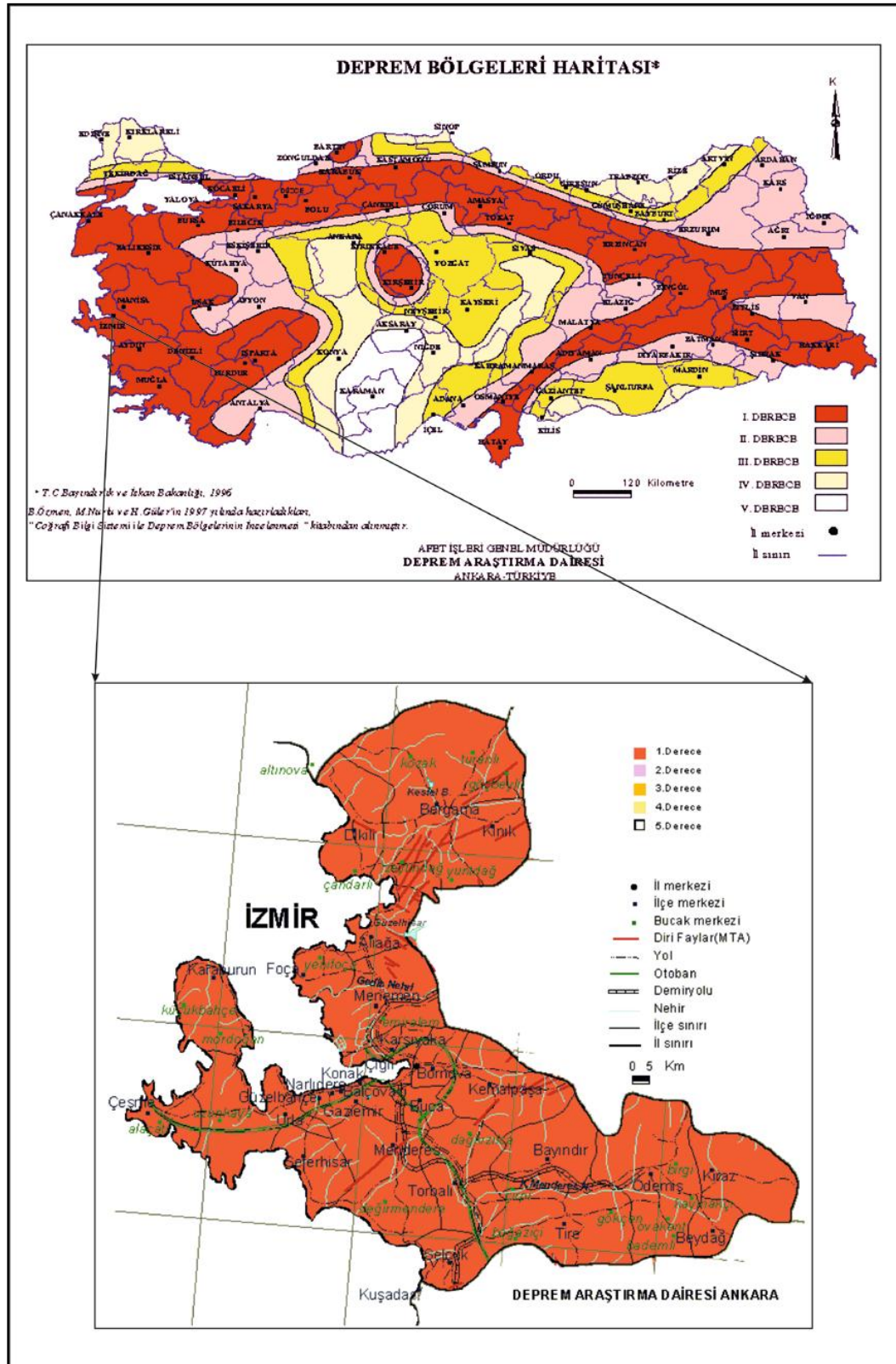
Çandarlı ve Dikili (İzmir) çevresini de kapsayan Ege Bölgesinin tamamı birinci derecede deprem bölgesi içinde yer almaktadır (Şekil 2.13). Bu nedenle yapılan tüm kazı ve açılan yol şevlerinde deprem riski göz önünde bulundurulmalıdır.

Çandarlı – Dikili arasında yol şevlerinde gözlenen kama tipi kaymalar ve düzlemsel kaymaların oluşacak depremlerden ve bu depremlerin yaratacağı ivme büyüklüklerinden etkileneceği düşünülmektedir.

Bölgede yer alan faylar ve sismik aktivite ve kütle hareketleri arasındaki ilişki önemlidir. İzmir ili ve çevresinde oluşan depremler ($M \geq 5,5$) ve bu depremlerin çevrede yarattığı etkiler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tez kapsamında, bölgeye en yakın aktif fayın üretebileceği en büyük deprem dikkate alınarak, maksimum ivme değeri hesaplanmış ve bu değerın şev duraylılığı üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla farklı sismik katsayılar kullanılarak Phase² (v. 8.0) programı ile analizler yapılmıştır.

Yapılan analizlerle birlikte şevlerin sismik ivme büyüklüklerinde göstereceği kayma potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Maksimum ivme değerleri, bölgede yer alan aktif fayın üretebileceği depremin büyüklüğüne, alanın yırtılan faydan uzaklığına bağlı olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 2.13 Çalışma alanının Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'ndaki konumu (Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2012).

Tablo 2.1 İzmir ve yakın çevresinde son yüzyılda gelişmiş ($M \geq 5$) depremler (Türkelli ve diğerleri, 1990'dan derlenmiştir).

Tarih	Saat (UT)	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	Büyüklik (M)	Şiddet (Io)	Açıklama
19/01/1909 Foça Depremi	04:57	38.00	26.50	60	6.0	IX	Depremin merkezi Güzelhisar, Menemen ve Foça arasındadır. 700 ev yıkılmış, 1000 ev hasar görmüş, 8 kişi ölmüştür.
22 Eylül 1939 Dikili Depremi	00:36	39.07	26.94	10	6.6	VIII IX	Depremin merkezi Dikili'ye çok yakın olup, Dikili ile Midilli arasındadır. 1000 ev yıkılmış, 41 kişi ölmüş, 68 kişi yaralanmıştır. Depremden sonra termal kaynaklar oluşmuştur. Dikili ile Bergama arasında yarıklar oluşmuştur. Deprem bütün Batı Anadolu ' da hissedilmiştir.
23 Temmuz 1949 Karaburun Depremi	15:03	38.57	26.29	10	6.6	VIII VII X	Deprem sonucunda Karaburun-Çeşme yarımadasının doğusu, Mordoğan ile yarımadanın kuzey burnu arasında, Denize giren çevresinde, Çeşme yarımadasında ve çevresindeki köylerde oldukça ağır hasar meydana gelmiştir. Çeşme ılcasının suları çoğalmış, bazı akarsular da kesilmiştir. Sakız adasında da hasar olmuştur ve denizde çok şiddetli hareketler gözlenmiştir. 7 kişi ölmüş, 2200 ev yıkılmış veya hasara uğramıştır.
19 Haziran 1966 Menemen Depremi	17:55	38.55	27.35	9	4.8	VI	İzmir ve çevresinde şiddetlice hissedilen bu depremde Menemen' de 100 kadar evin duvarları çatlamıştır.
1 Şubat 1974 İzmir Depremi	00:01	38.55	27.22	24	5.3	VII	Depremin merkezi İzmir'den 15 km uzaklıkta olup birçok yapıda hasara neden olmuştur. İzmir' de 2 kişi ölmüş, 7 kişi yaralanmış, 47 evde ağır hasar görülmüştür. Şehir merkezi ve Karşıyaka' nın bir kısmında ve Alsancak' ta çeşitli hasarlar olmuştur.
16 Aralık 1977 İzmir Depremi	07:37	38.41	27.19	24	5.5	VIII	İzmir' de bu deprem ile bazı evler yıkılmış, 20 kişide yaralanmıştır. Özellikle Buca, Alsancak, Hatay, Karşıyaka, Bornova, Gültepe ve Tepecik semtlerinde bazı evler hasar görmüş, duvarlar çökmüş ve çatlaklar oluşmuştur.
10 Nisan 2003 Urla Depremi	03:40	38.26	26.83	16	5.6	VII	Depremin merkezi Urla ile Seferihisar arasına düşmektedir. Urla ve Seferihisar' da baz evlerin duvarlarında çatlaklar oluşmuştur. Deprem İzmir' de şiddetli olarak hissedilmiştir.

Deprem risk çalışmalarında, maksimum ivme, deprem büyüklüğü (M_w), spektral ivme gibi yer hareket parametreleri, deprem kaynak parametreleri, yayılma ortamı ve zemin özelliklerine bağlı olarak azalım ilişkileri belirlenir. Fukushima ve Tanaka (1990), yaptıkları çalışmalar sonucunda Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri ile farklı ülkelerde oluşan depremlere ait 1372 maksimum yer ivmesi yatay bileşen verilerini kullanarak azalım ilişkilerine karşı yaklaşım geliştirerek aşağıdaki eşitliği belirlemişlerdir.

$$\text{Log}_{10}a = 0.42 M_w - \log (R + 0.025 \times 10^{0.42M_w}) - 0.0033 R + 1.22 \quad (\text{Fukushima ve Tanaka, 1990}) \quad (2.1)$$

a: Maksimumu yatay yer ivme değeri (cm/sn^2)

M_w : Depremin moment büyüklüğü

R: Faya dik uzaklık (km)

Çalışma alanına yaklaşık 23 km uzaklıkta bulunan aktif Zeytindağ-Bergama Fay zonu (Genç ve Yılmaz, 2000) oluşacak 5.5, 5.8, 6.0 ve 6.5 büyüklüklerindeki olası depremlerde, Eşitlik 2.1'den yararlanarak maksimum ivme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2.2). Ve elde edilen maksimum yer ivmesi değerlerine göre, en büyük yatay deprem ivmesi 0,3 g olarak bulunmuştur.

Tablo 2.2 Bölgede çeşitli deprem moment büyüklük değerleri için Fukushima ve Tanaka (1990)'a göre hesaplanmış sismik katsayı değerleri.

<i>Tanım</i>	<i>Hesaplama Değerleri</i>			
M_w	5,5	5,8	6,0	6,5
R (km)	23	23	23	23
a (cm/sn^2)	121	162	197	319
α_s (g)	0,12	0,16	0,19	0,3

BÖLÜM ÜÇ

MINEROLOJİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLER

Çalışma alanında genellikle gri, sarı, yeşil, bordo ayrışma renginde ve gri-pembe taze yüzey renginde gözlenen farklı ayrışma derecelerine sahip Yuntdağı volkanitleri içinde yer alan andezitlerin, petrografik ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, belirli bölgelerden alınan numunelerden ince kesitler hazırlanmış ve bu kesitler alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop yardımıyla incelenmiştir.

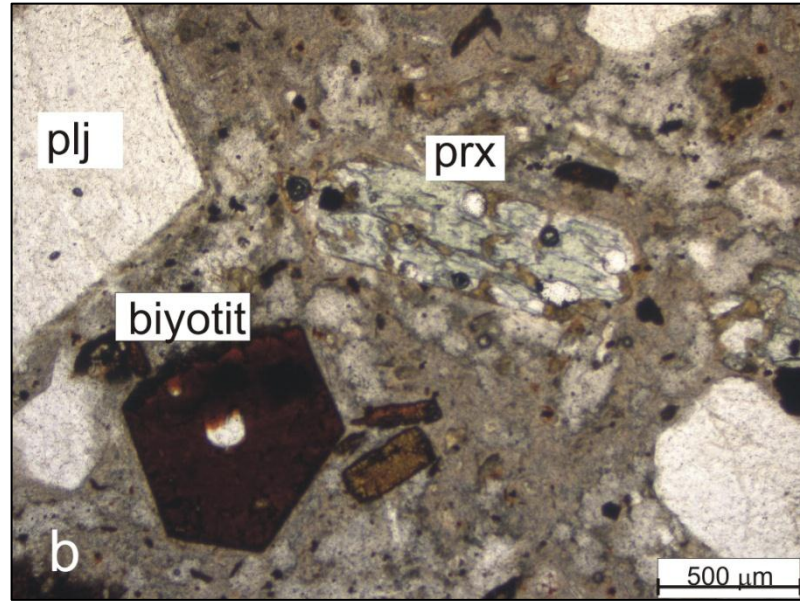
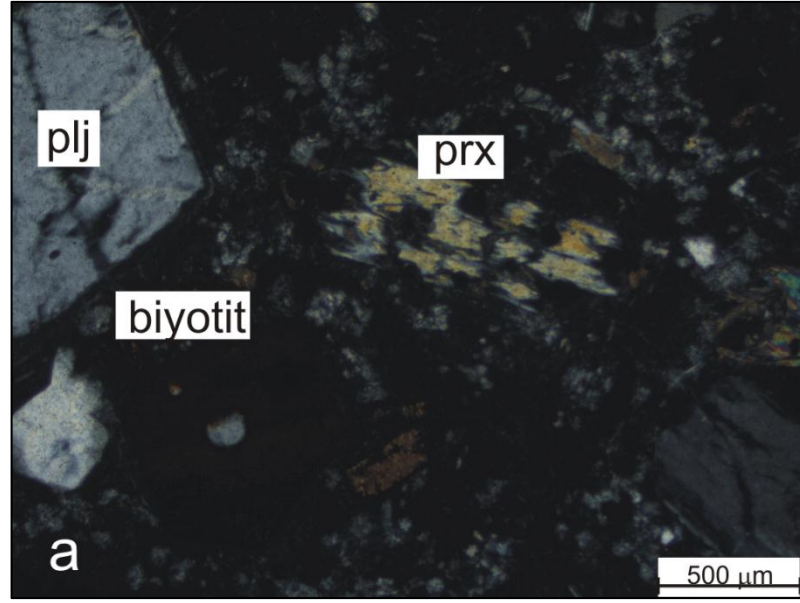
İncelenen ince kesitlerin yanı sıra, andezitlerin ana element bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla kimyasal analizler yapılmıştır. Hazırlanan ince kesitler ve elde edilen kimyasal bileşimler dikkate alınarak ayrışma hakkında yorumlara gidilmiştir. Gözlenen fenokristallerin durumları belirlenmiştir.

3.1 Minerolojik Özellikler

3.1.1 Taze-Az Ayrışmış Andezit

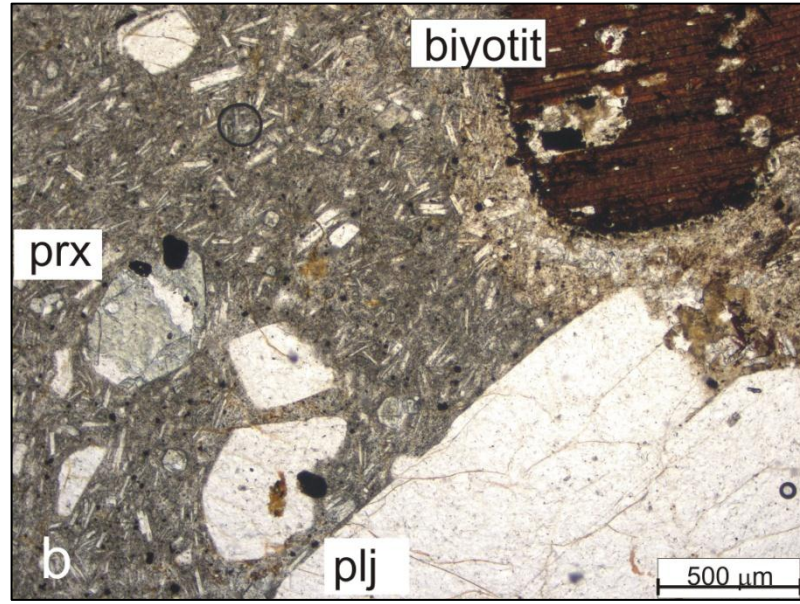
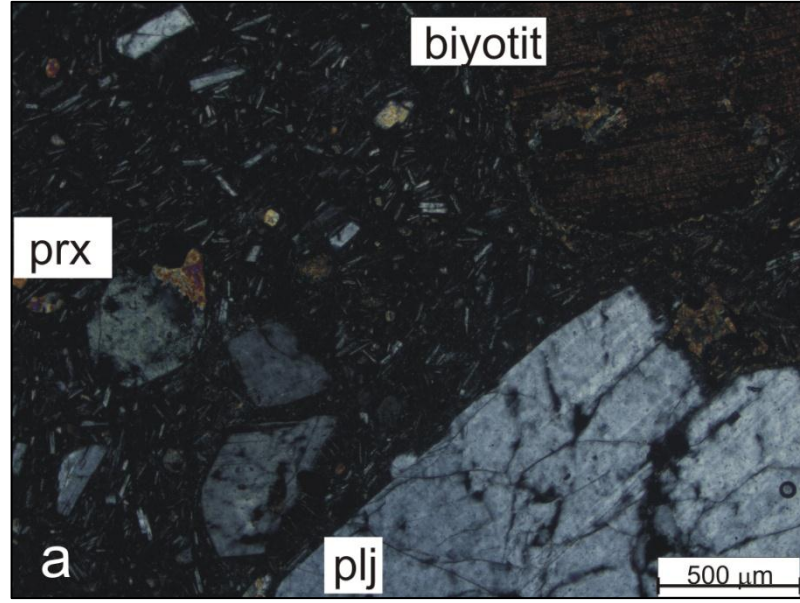
Taze-az ayrışmış andezitlerden hazırlanan ince kesitlerde gözlenen biyotit, piroksen ve plajiyoklas mineralleri öz şekilli (idiomorf) halde gözlenmektedir. Kayaç hipokristalen dokuda olup içerdiği tüm fenokristaller genellikle özşekillerini korumaktadır (Şekil 3.1 ve 3.2).

İncelenen kesitlerde, temel mineraller hornblend, piroksen, plajiyoklas ve biyotit olmakla birlikte kesitin bir kısmında opak minerallerde (çift nikol; +N ve tek nikolde; //N siyah gözlenen) yer almaktadır. Kesit genelinde bol miktarda piroksenler bulunmaktadır.



Şekil 3.1 Taze-az ayrışmış andezitin polarizan mikroskop altındaki görüntüsü. (a:Çift Nikol: +N, b: Tek Nikol: //N) (prx: piroksen, plj: plajioklas) (Koordinat: 489550/4309182).

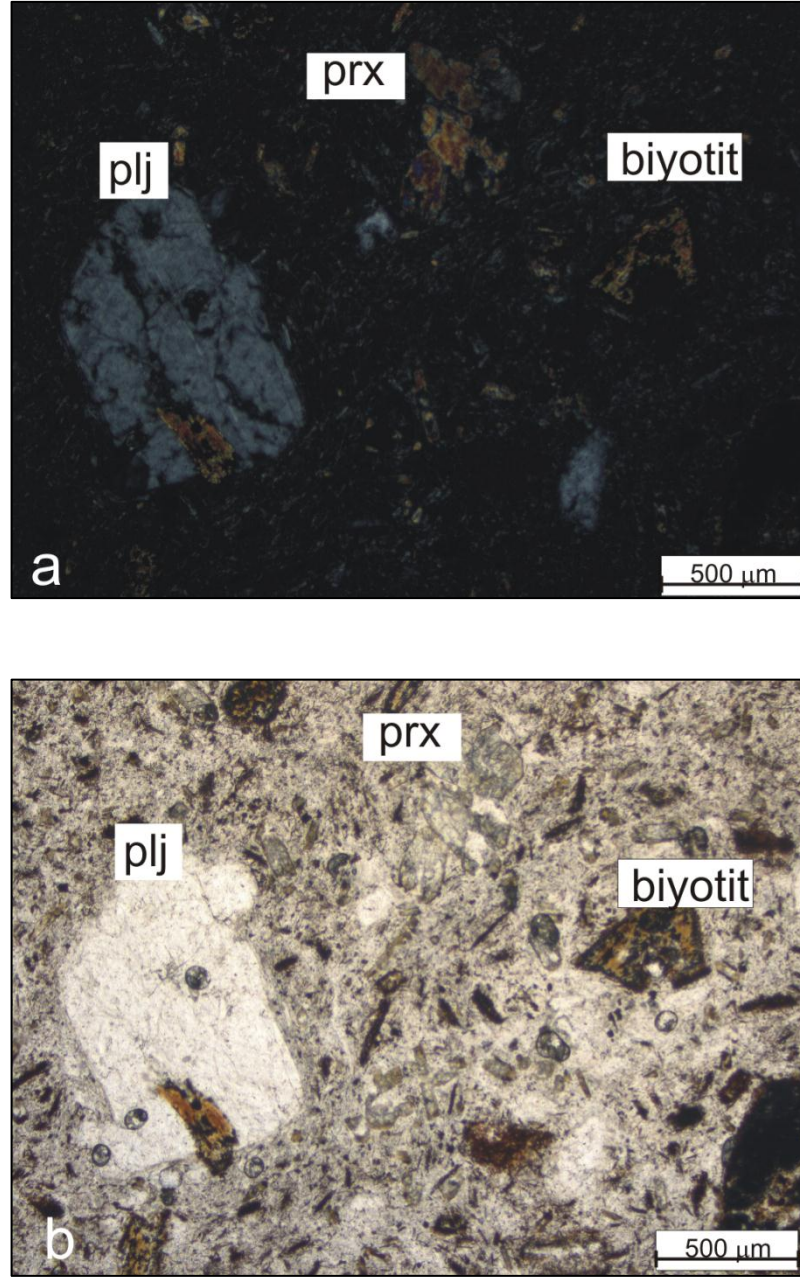
Şekil 3.2’de gözlenen kesitte plajioklas mineralinde herhangi bir bozunma görünmemekle birlikte, kayaç içerisinde mikrolitler yer almaktadır. Hipokristalen mikrolitik dokuda olup özşekilli piroksen, plajioklas ve biyotit mineralleri içermekle birlikte kesit genelinde plajioklas mineralleri hakimdir.



Şekil 3.2 Taze-az ayrıışmış andezitin polarizan mikroskop altındaki görüntüsü (a:Çift Nikol: +N, b: Tek Nikol: //N) (prx: piroksen, plj: plajiolalas) (Koordinat: 491076/4319472).

3.1.2 Orta Derecede-Oldukça Ayrıışmış Andezit

Orta derecede-oldukça ayrıışmış andezitlerin ince kesitleri incelendiğinde, kayacı oluşturan biyotit, piroksen ve plajiolklas minerallerinin oranlarının azaldığını ve volkanik hamur oranının arttığı gözlenmiştir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4)

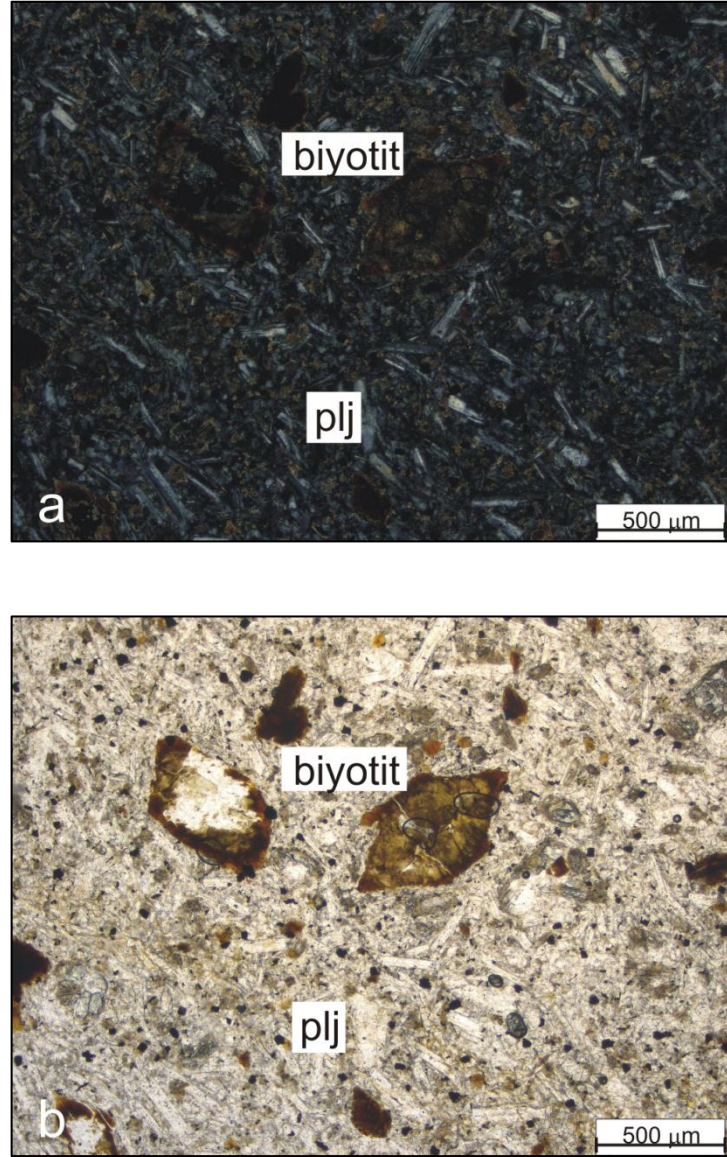


Şekil 3.3 Orta-oldukça ayrıışmış andezitin polarizan mikroskop altındaki görüntüsü. (a:Çift Nikol: +N, b: Tek Nikol: //N) (prx: piroksen, plj: plajiokalas)

Şekil 3.3 de gözlenen plajioklas minerallerinin ayrıışmanın etkisi ile, sönme açıları azalmış ve piroksen minerali oldukça az miktarda gözlenmektedir. Gözlenen piroksen fenokristallerinin sınırları bozulmuş ve aşınmıştır.

Taze-az ayrıışmış ve orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde gözlenen biyotit fenokristalleri, ayrıışmaya uğradığı yerlerde kahverenkli, ayrıışma olmayan alanlarda

ise koyu kahve-siyah renkli (opak mineral şeklinde) gözlenmiştir. Ayrışma olan bölgelerden alınan kesitlerde kesitte çatlaklar arasına karbonatlar yerleşmiş ve plajioklaslarda yer yer killeşme gözlenmiştir.



Şekil 3.4 Orta-oldukça ayrıışmış andezitin polarizan mikroskop altındaki görüntüsü (a:Çift Nikol: +N, b: Tek Nikol: //N) (plj: plajiokalas)

Genel olarak, taze az-ayrışmış andezitlerde gözlenen fenokristalen oranı, orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde gözlenen fenokristalen oranına göre daha fazladır. Buna göre ayrışma derecesi arttıkça, kesitlerde gözlenen fenokristalen oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

3.2 Kimyasal Özellikler

Farklı ayrışma derecelerine sahip andezitlerin ve dasitin kimyasal analizleri DEÜ Mühendislik Fakültesi Jeokimya Laboratuvarında yapılmıştır. Andezitlerde kayaçların % ateş kaybı değerleri hesaplanarak içerdikleri ana elementler bileşenleri yüzdesel olarak belirlenmiştir.

3.2.1 Numune Hazırlama

Çandarlı-Dikili yol şevlerinden alınan farklı ayrışma derecelerine sahip andezit numunelerinden kimyasal analiz için örnekler hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanma aşamasına öğütme işlemi ile başlanmıştır. Petrografi laboratuvarında halkalı kırıcı öğütme makinesi ile örnekler toz haline getirilmiştir (Şekil 3.5 ve 3.6).



Şekil 3.5 Örneklerin toz numuneler haline getirilmesi amacıyla kullanılan halkalı öğütme cihazı.



Şekil 3.6 Öğütülecek numunenin cihaza yerleştirilmesi.

3.2.2 % Ateş Kaybının (Kızdırma Kaybı) Bulunması

Numuneler üzerinde uygulanan öğütme işleminden sonra numunelerden belirli miktarlarda alınarak, öğütülmüş numuneler önceden ağırlıkları belirlenen krozelere yerleştirilmiş ve krozeler ile birlikte tartılmıştır. Krozelere konan örnekler bir saat bekletilmek üzere fırına verilir (1000 °C).

Fırından çıkan örnekler (kroze + kül) ağırlıkları hassas terazide ölçülerek (Şekil 3.7), % ateş kaybı (1000 C’de yakıldığında ortama verilen uçucu gazlar) hesaplanır. Hesaplanan ateş kaybı değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Kroze ve örnek ağırlıklarının hassas terazi ile ölçümü

Ateş kaybı değerlerinin bulunması için aşağıdaki formüller uygulanmış ve kayıp değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

$$\% \text{ Ateş Kaybı} = \frac{\text{Kaybolan miktar (kül ağırlığı)}}{\text{Örnek ağırlığı}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{Örnek Ağırlığı} = (\text{Kroze} + \text{Örnek}) - \text{Kroze} \quad (3.2)$$

Tablo 3.1’e göre orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde (A, B, 1-1 no’lu numunelerde) % ateş kaybı (kızdırma kaybı) değerleri yüksek çıkarken, taze-az ayrıışmış andezitlerde bu oran daha düşüktür. Buna göre kızdırma kaybı artışı oldukça ikincil mineral gözlenme oranında artış olabileceği yorumuna gidilebilir. Ayrıışmış kayalarda, daha fazla ikincil mineral oluşumları gözlenir.

Tablo 3.1 Kimyasal analizde elde edilen % ateş kaybı değerleri.

Örnek No	Kroze No	Krozinin ağırlığı (gr)	Kroze+örnek Ağırlığı (gr)	Kroze+kül Ağırlığı (gr)	% Ateş kaybı
A	N-14	19,07	22,34	22,17	5,43
B	L-7	17,16	19,92	19,71	7,70
1-1	H-1	20,90	23,10	22,99	5,07
D	V-3	18,60	22,78	22,70	2,06
6	H-3	20,62	24,21	24,10	3,03
3	L-2	20,14	22,75	22,69	2,47

Toz haline getirilen numuneler jeokimya laboratuvarında belirli miktarlarda ($\approx 0,25$ gr) alınarak 1,5 gr ağırlığında boraks (çözen malzeme) ile homojen bir hal alana kadar karıştırılmıştır.

Hazırlanan bu karışımlar 1000 °C sıcaklığındaki fırına yerleştirilerek bir saat bekletilmiş ve numunelerin yanması sağlanmıştır. Bir saat sonunda karışımlar behere konarak içerisine bir ölçek asit (HCl) ve su ilavesi ile karıştırma makinesinde bir süre karıştırılmıştır (Şekil 3.8).

Karıştırılarak homojen hale getirilen karışımları saf su ile 250 cc'ye tamamlayarak 1000 ppm'lik çözelti elde edilmiştir. Plastik şişelere konulan çözeltilerde analiz makinesi yardımıyla element ölçümleri yapılarak elde edilen element miktarları Tablo 3.2'de verilmiştir.



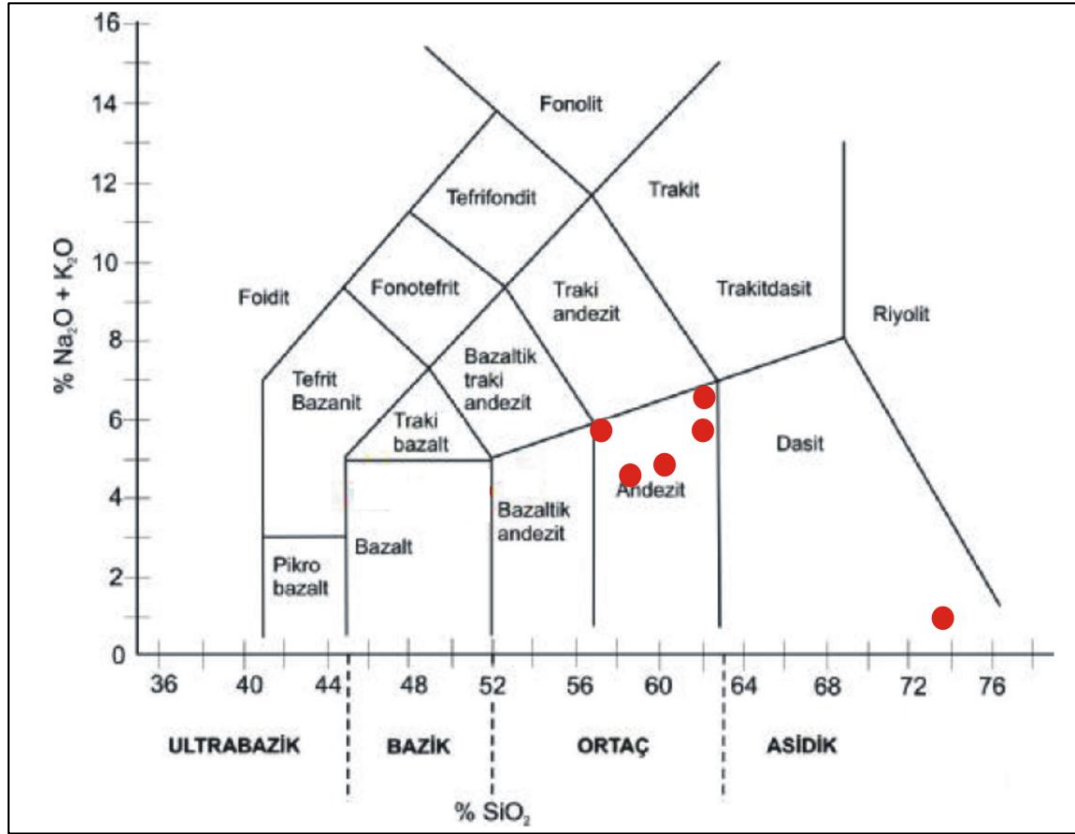
Şekil 3.8 HCl çözeltisi ve saf su ile hazırlanan karışımların homojen hale getirilmesi.

Tablo 3.2 Örneklerin kimyasal analiz sonucu elde edilen ana element oksitleri (A, 1-1 örnekleri orta-
oldukça ayrılmış andezitler; D, 6 ve 3 örnekleri taze-az ayrılmış andezitler).

Örnek → Element ↓	A	B	1-1	D	6	3
SiO₂	58,56	73,78	55,45	64,17	64,29	61,43
Al₂O₃	16,92	14,15	18,12	14,52	14,37	15,37
Σ Fe₂O₃	4,55	2,42	4,14	4,55	4,74	4,14
MgO	2,31	0,04	1,73	1,17	1,22	1,43
CaO	4,43	0,20	4,58	3,69	2,87	4,38
Na₂O	2,90	0,12	3,17	3,23	2,93	3,31
K₂O	2,97	0,43	3,02	4,67	5,09	4,07
TiO₂	0,60	0,40	0,70	0,50	0,70	0,50
MnO	0,10	0,01	0,05	0,06	0,03	0,05
Ateş Kaybı	5,43	7,70	5,07	2,06	3,03	2,47
TOPLAM	98,74	99,25	98,39	99,12	99,72	99,51

% Kızdırma kayıplarının, diğer örneklerle göre daha yüksek olduğu örnekler A, B, ve 1-1 orta-oldukça ayrıışmış numunelerdir. Bu örneklerde SiO_2 , K_2O oranları azalmakla birlikte, Al_2O_3 oranlarında artış gözlenmiştir. MnO , MgO , toplam Fe oksit (+2 ve +3 değerlikli oksitler), TiO_2 oranlarında önemsenecek bir değişiklik göstermemiştir.

Kimyasal analiz sonucunda elde edilen ana element değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Le Maitre (1984) (Şekil 3.9) tarafından önerilen alkali-silis (TAS) diyagramlarında yerine koyulmuş ve örneklerin andezit, trakiandezit bileşiminde olduğu gözlenmiştir. B numaralı örneğin ise içerdiği yüksek silis oranından dolayı riyodasit bileşiminde olduğu saptanmıştır.



Şekil 3.9 Örneklerin, Alkali-Silis (TAS) diyagramındaki yerleri (Le Maitre, 1984).

Kayaçların kimyasal bileşiminde ayrışmayla oluşan değişimleri sayısal olarak ifade etmek için değişik kimyasal indeksler farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir (Parker, 1970; Nesbitt ve Young, 1982; Harnois, 1988) (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Kimyasal ayrışma indeksleri.

A) Parker İndeksi, (Parker,1970)	(3.3)
$PrI = \frac{2 \text{ Na}_2\text{O}}{0,35} + \frac{\text{MgO}}{0,9} + \frac{2 \text{ K}_2\text{O}}{0,25} + \frac{\text{CaO}}{0,7}$	
B) Vogt Oranı, (Vogt, 1972)	(3.4)
$VO = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O}}{\text{N}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}}$	
C) Kimyasal Alterasyon İndeksi (Nesbitt ve Young, 1982)	(3.5)
$CIA = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \times 100}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{N}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O}}$	
D) Kimyasal Ayrışma İndeksi (Harnois, 1988)	(3.6)
$CIW = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \times 100}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{N}_2\text{O} + \text{CaO}}$	

Taze kayaçların, farklı ayrışma derecelerindeki malzemeye doğru ve nihayet toprağa dönüşümü ile sonuçlanan temel değişim; sağlam mineral oranının azalması ayrılmış mineral, mikrokırık ve boşlukların, ayrışma ürünlerinin artması ve bu süreçle birlikte kayaç dokusunun değişmesidir.

Araştırmacılar petrografik incelemelerle, söz konusu değişimlerin belirlenmesine dayanan, bir çok petrografik indeks geliştirmişlerdir. Bunların bir kısmı karmaşık ve pratikte uygulanmasında zorluk çıkartacak şekildedir, bir kısmı ise daha çok volkanik kayaçlar için geliştirilmiştir.

Ayrışma derecesi arttıkça Parker indeksi, Kimyasal Ayrışma indeksi ve Vogt Oranları artmaktadır. Özellikle Harnois (1988)'e göre kimyasal ayrışma indeksi değerleri andezitler için çok uygun sonuçlar vermiş ve ayrışma derecelerine göre farklılıklar sayısal olarak hesaplanarak ifade edilmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 Örneklerin hesaplanan ayrışma indeks değerleri.

Örnek No	Parker İndeksi Degerleri (Parker, 1970)	Vogt Oranı (Vogt, 1972)	Kimyasal Alterasyon İndeksi (Nesbitt ve Young, 1982)	Kimyasal Ayrışma İndeksi (Harnois, 1988)
A	49,22	2,06	62,16	69,77
1-1	50,73	2,22	62,72	70,04
D	62,38	2,37	55,61	67,72
6	62,91	2,77	56,88	65,24
3	59,32	2,13	56,65	66,65

Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde (A ve 1-1 örnekleri) Kimyasal Ayrışma İndeksi değeri (KAI); 69,77 ve 70,04 olarak belirlenirken, Taze-az ayrıışmış andezitlerde (D, 6, 3 örnekleri) bu değeri 67,72; 65,24 ve 66,65 olarak hesaplanmıştır.

BÖLÜM DÖRT

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

4.1 Giriş

Çalışma kapsamında, belirlenen yol şevlerine ait yüzeylerde gözlenen kama tipi kayma ve düzlemsel kayma olan bölgelerde şevlere ait yükseklikler ölçülerek Phase² programında geometriler oluşturmak için kullanılmıştır. Arazide kaya blokları üzerinde Tilt deneyi ve süreksizlik yüzeyleri üzerinde Schmidt testi uygulanmıştır.

Arazi çalışmaları süresince kayması muhtemel olarak belirlenen yol şevi yüzeylerinden alınan farklı ayrışma derecesine sahip kaya numuneleri testlere tabii tutularak malzemeye ait fiziksel ve mekanik özellikler laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Taze-az ayrışmış ve orta-oldukça andezitler ile riyodasit numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları kullanılarak Phase² programı yardımıyla şev duraylılık analizleri yapılmıştır.

Arazide lazer tarayıcı cihaz ile, yerinde ölçümler sonucu nokta bulutu şeklinde alınan veriler değerlendirilerek şevlerin deformasyonları belirlenmiştir.

4.2 Arazi Çalışmaları

Arazi gözlemleri boyunca, süreksizlik içeren şev yüzeylerinden süreksizlik konumları pusula yardımıyla ölçülmüş bunlara ait kontur diyagramları oluşturulmuştur. Süreksizlikler arasındaki kayma açılarının belirlenmesi amacıyla “Tilt deneyi” yapılmış ve malzemenin Schmidt sertliklerinin belirlenmesi için Schmidt çekici kullanılmıştır.

Şevlerde, arazide göreceli olarak belirlenen ayrışma derecelerine göre ayrışma derecesi zonlanma kesitleri oluşturulmuştur.

4.2.1 Süreksizlik Ölçümleri

Birden fazla tektonik yapı, yapısal kuvvetlerin denetimi altında oluşur. Özel diyagram çizimleri kullanılarak, arazi çalışmalarında belirlenen ve ölçülen süreksizlik takımları bir arada değerlendirilebilir. Bu diyagramlardan kontur diyagramı yaygın olarak kullanılmaktadır. Dips yazılımı yardımı ile çizilen kontur diyagramlarında kutup noktalarının yoğunlaştığı yerler belirlenir ve bu bölge hakim süreksizliğin kutup noktasını verir. Belirlenen kutup noktalarına göre süreksizlik yüzeylerinin büyük daireleri çizilir.

Ölçülen süreksizlik takım sayısı az ise; 2° aralıklı ekvatorial eş alan steorenetleri kullanılarak, süreksizliklerin temsil ettiği büyük daireler çizilebilir (Akbulut, 2012). Çok sayıda veriler değerlendirilirken; her süreksizliğin büyük dairesinin belirlenmesi karışıklığa yol açacağından sadece kutup noktalarının işaretlendiği 2° aralıklı kutupsal eş alan steorenetinin kullanımı daha pratiktir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Arazi çalışmaları boyunca gözlenen süreksizliklerden pusula yardımıyla ölçümler alınmış ve süreksizlik konumları kinematik analiz amaçlı stereografik projeksiyon üzerine aktarılmıştır. Projeksiyonlar oluşturulurken Dips bilgisayar programı kullanılarak süreksizliklerin kutup noktaları, kontur diyagramları ve hakim süreksizlik takımları çizilmiştir. Süreksizlik içeren Şev 1, Şev 3, Şev 4 ve Şev 6'dan alınan bu ölçümlerin projeksiyon üzerindeki görünümü ve bölgenin arazi görünümü Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'de topluca sunulmuştur.

4.2.2 Schmidt Çekici

Schmidt çekici, eklem düzeylerinin basma dayanımlarının dolaylı yoldan tesbiti için kullanılır. Ölçüm yapılacak süreksizlik yüzeyine çekicinin ucu dik olmalıdır (Ulusay ve Sönmez, 2007). Deney malzemesinin sertliği ölçüm aleti ile belirlenir.

Malzemenin sertliğini belirleyebilmek için, çekicinin basma silindiri (plunger) örnek üzerine gelecek şekilde konur ve çekiç örnek üzerinde bastırılarak silindirin içeri doğru itilmesi sağlanır. Yapılan ölçümler sırasında Schmidt çekici kaya yüzeyi

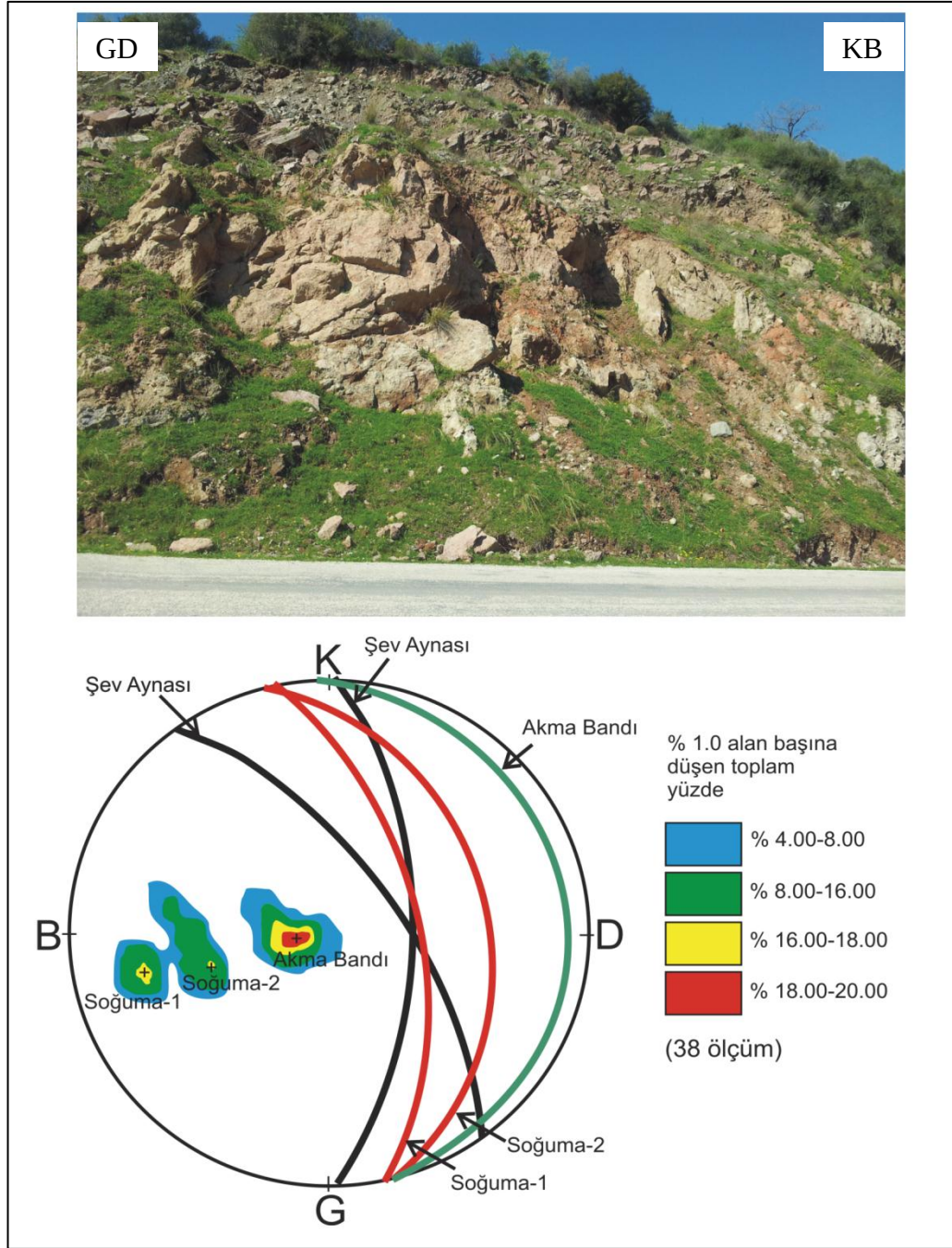
ile 90° açı yapacak şekilde dik olarak tutulmuştur. Geri tepme yüksekliği cihaz üzerinde okunur ve belirlenen değeri sertliğin ölçüsü olarak kabul edilir (Şekil 4.1).

Arazide, yüzeyleri temizlenmiş süreksizlik yüzeyleri boyunca Schmidt çekici ile ölçümler, her bir yüzeyden en az 20 adet olmak üzere yapılmış ve belirlenen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Schmidt sertliği değerleri kayanın ayrışma derecesine, dayanımına göre farklılıklar göstermiştir. Oldukça ayrılmış andezitlerde belirlenen ortalama ölçüm değeri 26 olurken; az-orta derecede ayrılmış andezitlerde bu değeri ortalama 41 olarak belirlenmiştir.

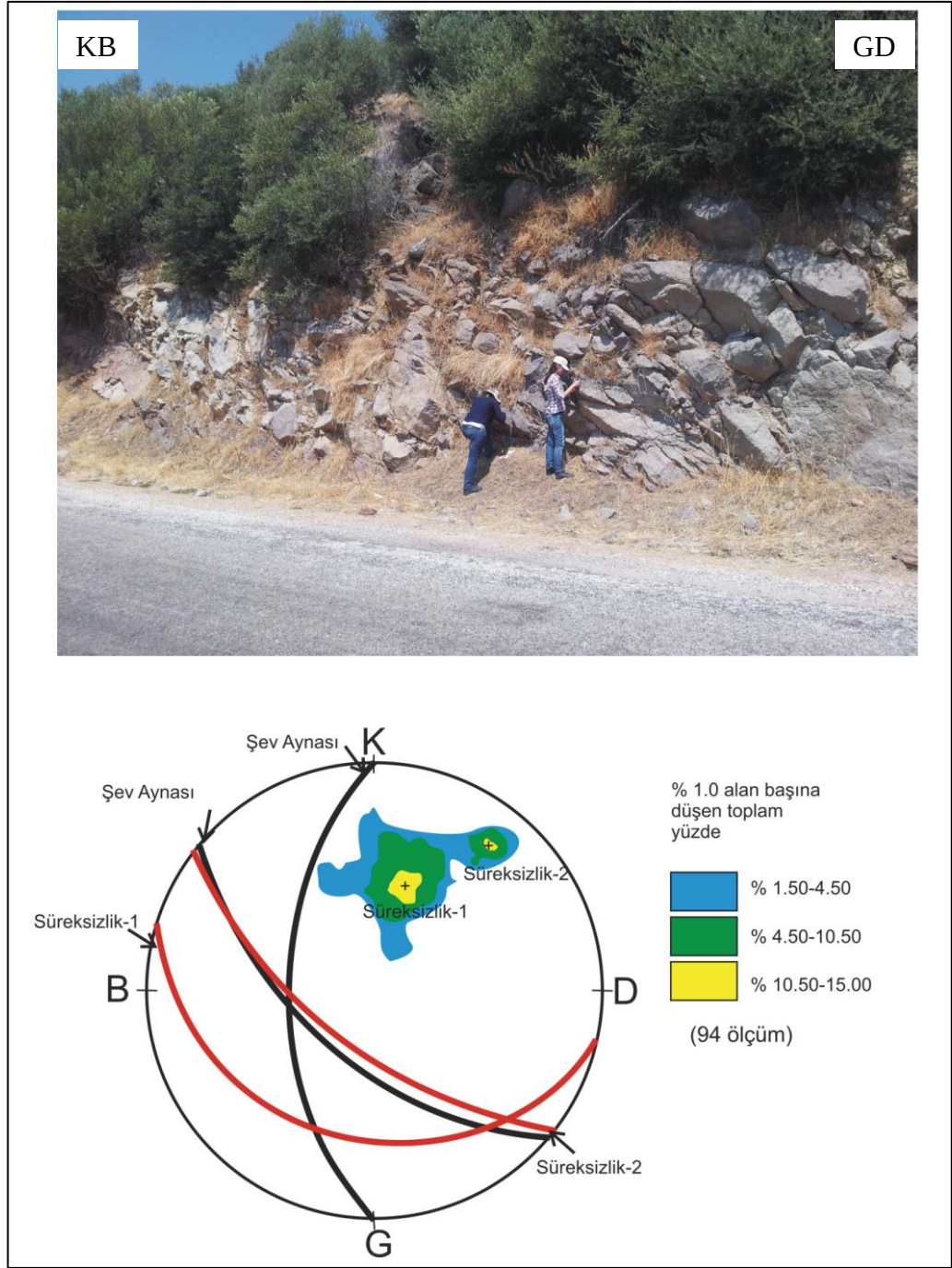


Şekil 4.1 Arazide kullanılan Schmidt çekici.



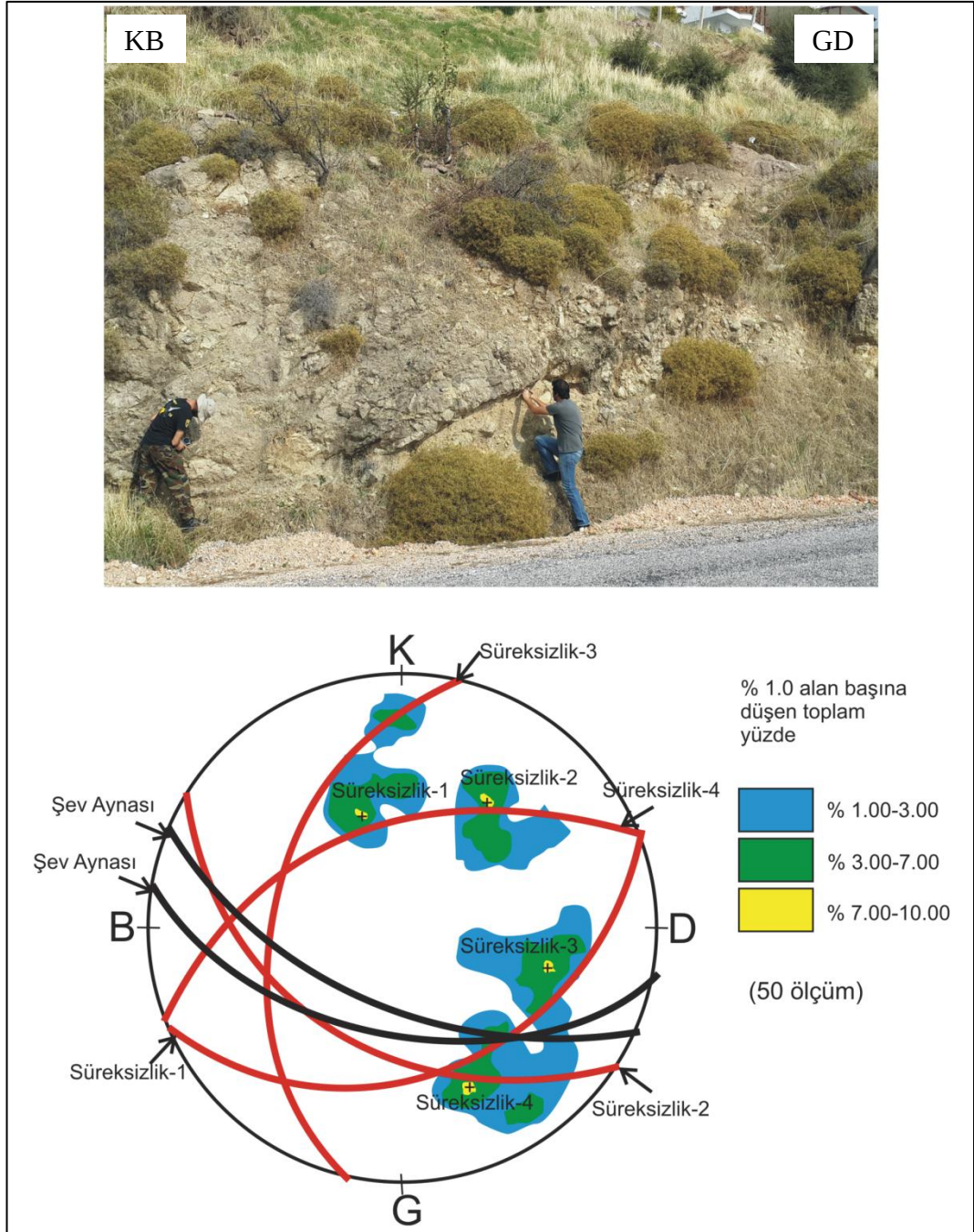
Şekil 4.2 Şev 1'in arazi ve ana çatlak takımlarının steorennet üzerinde görünümü (Koordinat:489535/4309269).

Şekil 4.2 de verilen kontur diyagramına göre hakim süreksizliğin kutup noktasını kırmızı renkli alan belirtmektedir. Otuz sekiz farklı süreksizlikten alınan ölçümlere göre hazırlanan diyagramda; akma bantlarının genel konumu 85/10; soğuma çatlaklarının genel konumu ise 78/62 ve 76/39 olarak belirlenmiştir. Şevin konumu ise 90/64 ve 54/68'dir.



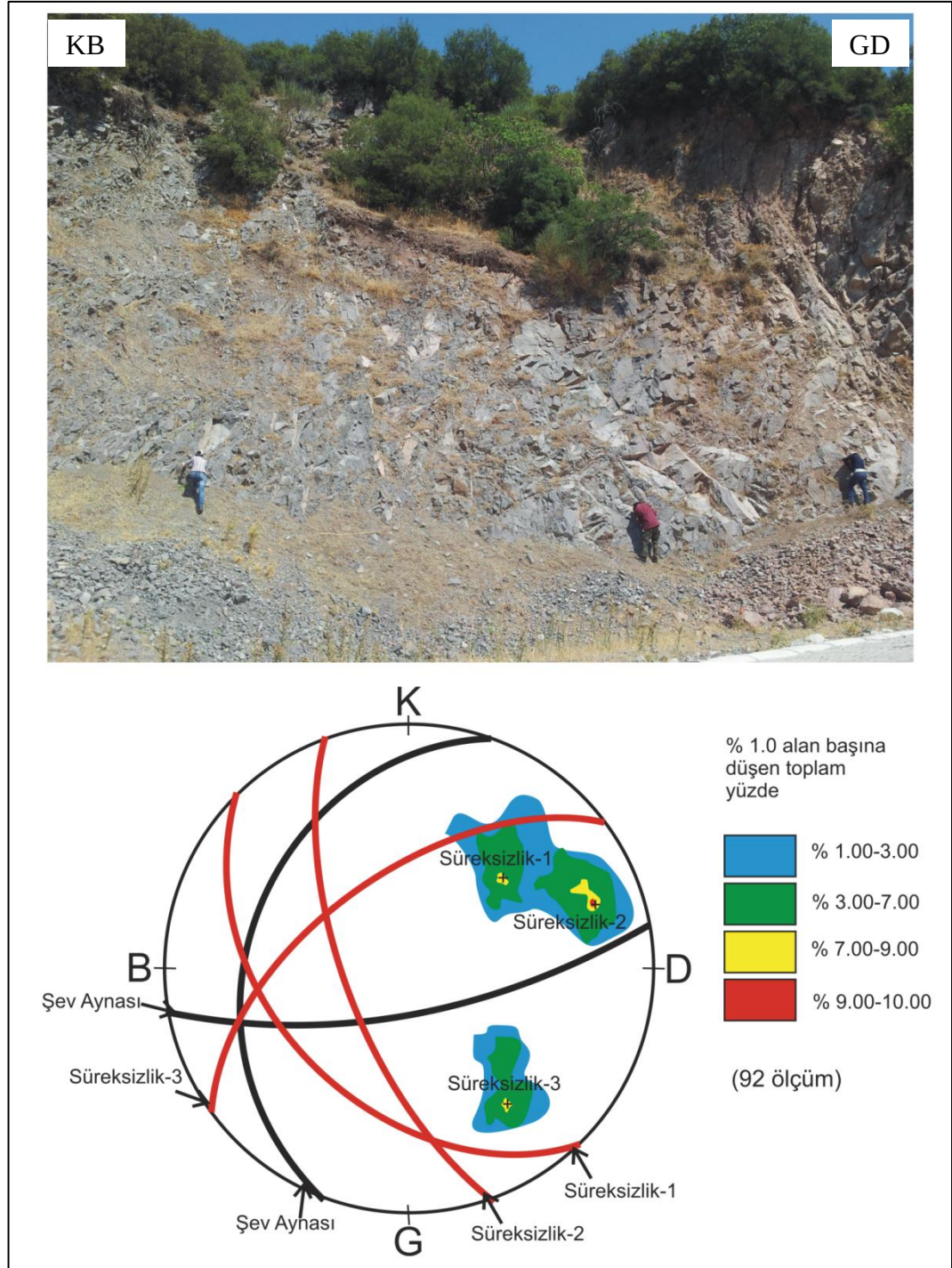
Şekil 4.3 Şev 3'ün arazi ve ana çatlak takımlarının stereonet üzerinde görünümü (Koordinat:487926/4309765).

Şekil 4.3'de 94 adet farklı süreksizlikten alınan ölçümlere göre soğuma çatlakları olarak belirlenen süreksizlik takımlarının genel konumu; süreksizlik-1 195/37 ve süreksizlik-2; 218/69 olarak belirlenmiştir. Şevin konumu ise 220/65 ve 270/60'tır.



Şekil 4.4 Şev 4'ün arazi ve ana çatlak takımlarının steorennet üzerinde görünümü (Koordinat:487322/4310102).

Şekil 4.4'de elli adet farklı süreksizlikten alınan ölçümlere göre soğuma çatlakları olarak belirlenen süreksizlik takımlarının genel konumu, süreksizlik-1 157/43; süreksizlik-2 212/50; süreksizlik-3 283/47 ve süreksizlik-4 339/56 olarak belirlenmiştir. Şevin konumu ise 190/55 ve 203/65'tir.



Şekil 4.5 Şev 6'nın arazi ve ana çatlak takımlarının steorenet üzerinde görünümü (Koordinat:485842/4318172).

Şekil 4.5'de görülen yüzey üzerinden 92 farklı süreksizlikten alınan ölçümlere göre soğuma çatlakları olarak belirlenen süreksizlik takımlarının genel konumu; süreksizlik-1 226/44; süreksizlik-2 250/68 ve süreksizlik-3 324/58 olarak belirlenmiştir. Şevin konumu ise 170/75 ve 290/35'tir.

4.2.3 Tilt Deneyi

Arazide tabakalar ya da süreksizlik arasındaki kayma açısını tahmin etmek için tilt testi uygulanır. Yapılan tilt deneyi ile yüzey sürtünme açıları belirlenir. Deney için şev yüzeylerinde süreksizlik içeren tabakalara ait blok numuneler ve kendiliğinden kaymış ya da devrilmiş süreksizliğin her iki yüzeyini de içeren (üst üste tabakalar) numuneler kullanılmıştır. Süreksizlikle ayrılmış alt ve üst bloklar, üst blok alt bloğun üzerinden kaydırılacak şekilde, bir ucundan yukarıya doğru kaldırılır ve üst bloğun kaydığı an deney tamamlanır ve bu eğim sabitlenir. (Şekil 4.6) sabitlenen bloğun eğimi pusula yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen bu açı, kohezyon sıfır kabul edilirse, şevin kaymadan durabileceği sınır değer açısı olarak kabul edilir. Yapılan tilt deneyi sonucu şevlerin oldukça ayrılmış andezitlerden oluşan bölgelerinde sınır kayma açısı değeri ortalama 32° , az-orta derecede ayrılmış bölgelerde ise 40° derece olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6 Arazide Tilt deneyi ile Tilt açısının bulunması.

4.2.4 Ayırışma ve Şev Yüzeylerinin Ayırışma Derecesi Zonlanma Kesitleri

Mühendislik yapıları, yüzeyde veya yüzeye yakın derinliklerde, belirli derecede ayrıışmış kaya zonları üzerinde yapılandırıldığından, ana kayadan farklı mühendislik özelliklerine sahip olan bu ayrıışmış kayaçlar önemli sorunlar doğurabilir. Ayırışma, kayaçların mühendislik ve indeks özelliklerini belirlemekte önemli bir parametredir.

Ayırışma, “kayaçların yüzey veya yüzeye kısımlarda herhangi bir yer değıştirmeye uğramadan, fiziksel ve kimyasal süreçlerle meydana gelen nitelik değışimleri” olarak tanımlanır (Fookes ve diğer., 1971). Oluşacak farklı koşullara uyum sağlarken oluşan değışiklikler sırasında, kayacı oluşturan birincil minerallerin bozunması için yeterli süre geçmez ise veya daha az etkili kimyasal maddeler dolayısıyla kayaç ayrıışmaya karşı duraylı olabilir. Bu nedenle ayrıışma, fiziksel ve kimyasal süreçler olarak iki aşamada gerçekleşir ve bu iki ayrıışma süreci birlikte oluşur ya da birbirine ortam hazırlar (Atalay, 2011). Tablo 4.1 de, ISRM (1981)’ye göre, arazide göreceli olarak, kayaçlarda ayrıışma derecesi tanımlamalarında sıkça kullanılan ayrıışma derecesi sınıflamaları yer almaktadır.

Ayırışmanın hızı ve derecesi; kayacın litolojisinin yanı sıra, içerdği süreksizliklere, yer altı ve yüzey sularının durumu, iklim, bitki örtüsü, topoğrafya ve zamana bağlı olarak değışim gösterir.

Fiziksel ayrıışma (kayaçlarda gözlenen ufalanma), suyun mekanik etkisi (don), basınç serbestlemesi, ani sıcaklık değışimleri ve kimyasal çözünmenin mekanik etkisi gibi olaylardan oluşur. Kayaçlarda yer alan çatlak sistemlerine giren sular, donarak hacim genişlemesi yaratır ve kayacın parçalanması ve ufalanmasına neden olur. Ani sıcaklık artış ve düşüşleri ise, kayacı oluşturan mineraller arasındaki bağlayıcılığı azaltır ve ufalanmaya neden olur.

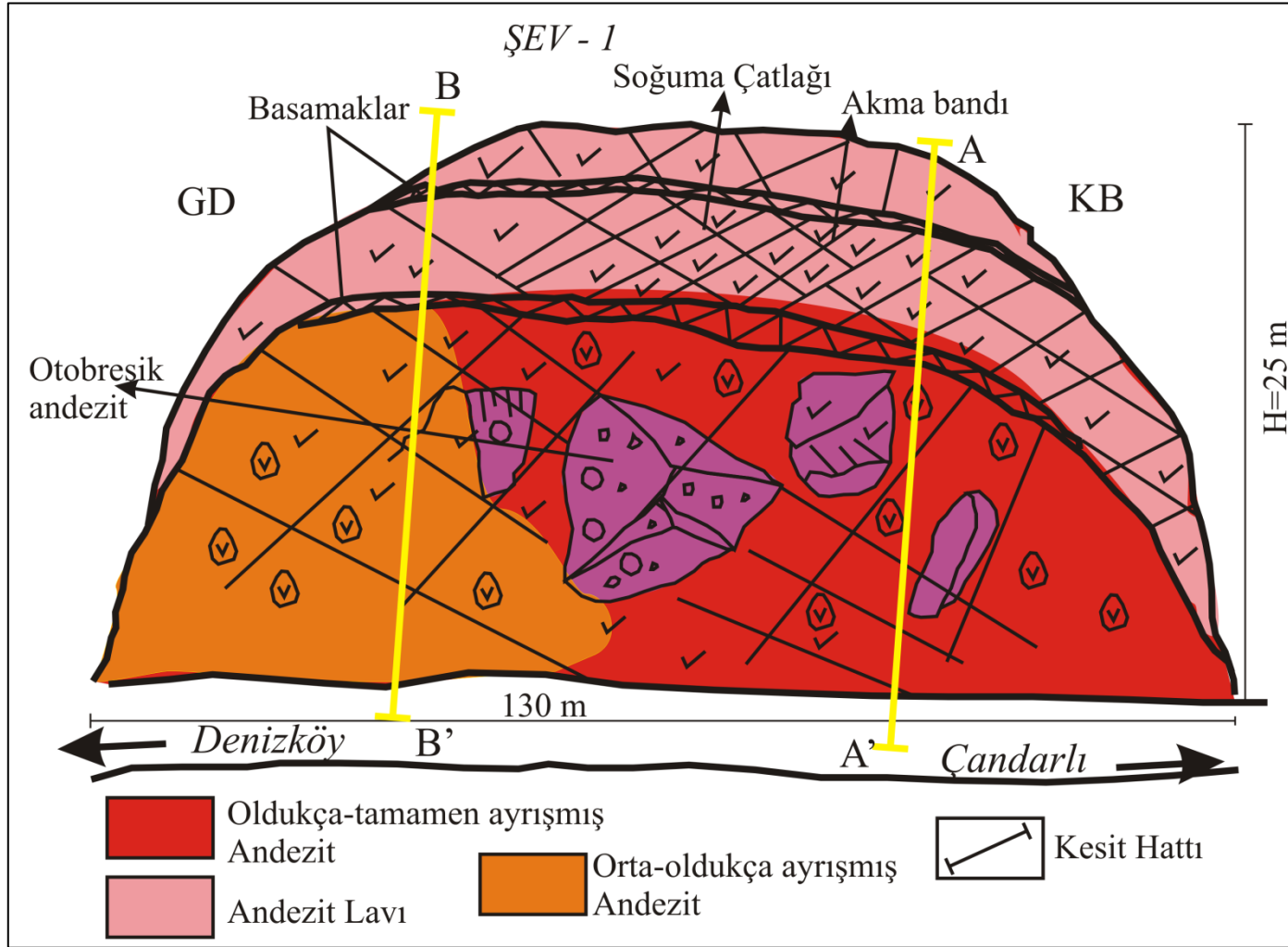
Kimyasal ayrıışma, kayaçların ve minerallerin, ana malzemenin bozunmasıyla kimyasal açıdan değıştiği süreçtir. Oksidasyon, hidroliz, hidratasyon vb. yollarla

gerçekleşir. Oksidasyon sonucu, kayaç yapıcı mineraller oksijenle birleşir. Hidroliz, ise suyun etkisi ile oluşur ve en yaygın kimyasal ayrışma sürecidir (Dirik, 2006).

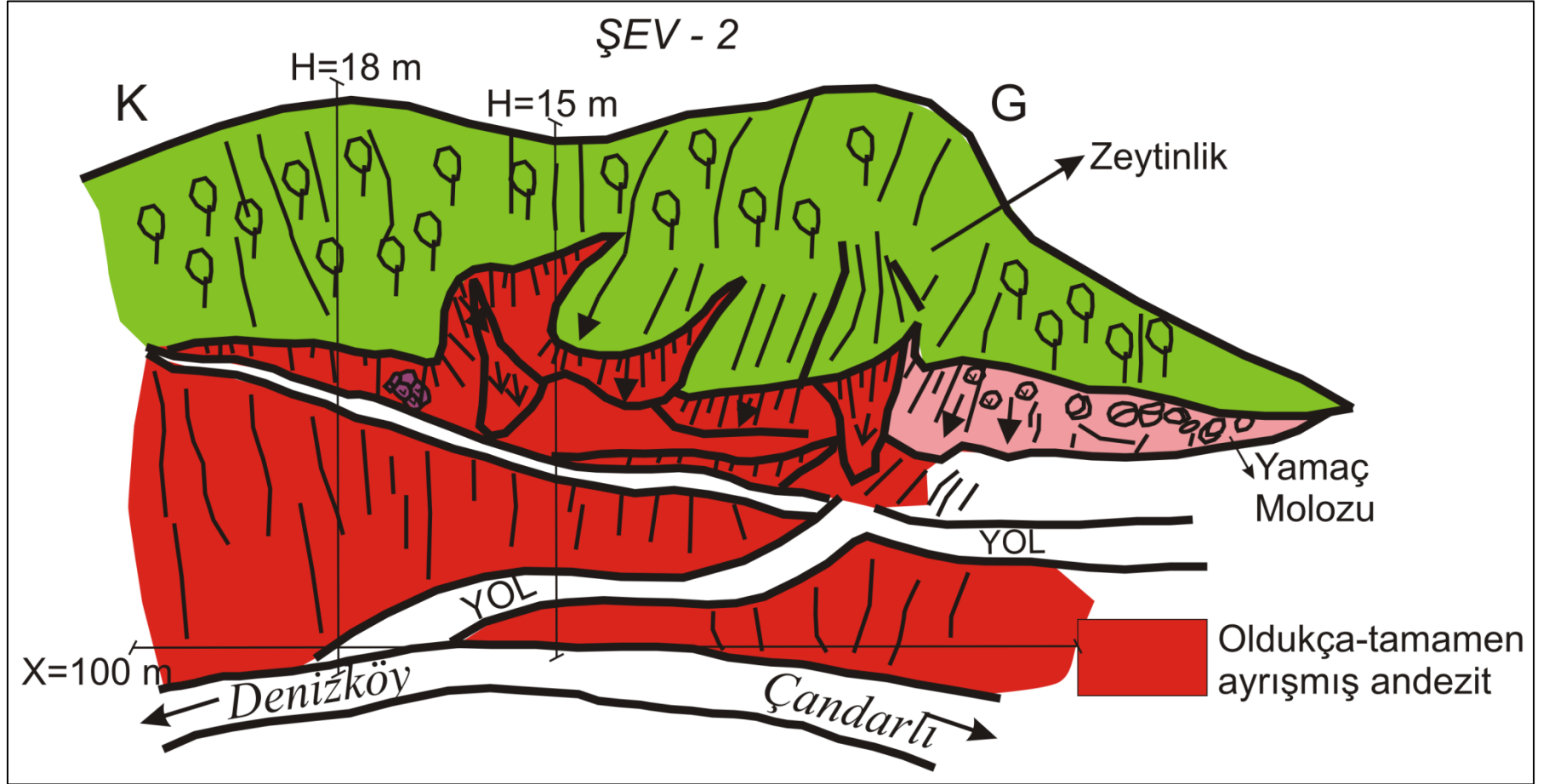
Kayaçlarda, artan ayrışma derecesi miktarlarıyla, kayaçların mühendislik ve indeks özellikleri farklılık gösterir. Gözlenen renk değişimleri ayrışma hakkında bilgi vermektedir. Ayrışma, şev aynalarında, sondaj karot örneklerinden, tünel veya galerilerde tanımlanabilir. Bozunmaya başlayan malzemenin kayaçtaki dağılımı, ayrışmanın süreksizlikler üzerindeki etkileri ve oluşan renk farklılıklarına göre kütlelerdeki ayrışma belirlenebilir. Ayrışma dereceleri, genel olarak Tablo 4.1’de yer alan sınıflamalara göre sınıflandırılabilir. Çalışma alanındaki şevleri oluşturan kayaçlar, az –orta derecede, orta-oldukça ayrışmış ve oldukça-tamamen ayrışmış birimler olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu farklı ayrışma zonları şev kesitlerinde ayrışma derecesi zonlanmaları olarak işaretlenmiştir (Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10).

Tablo 4.1 Kayaçların ayrışma derecesi sınıflamaları (ISRM, 1981).

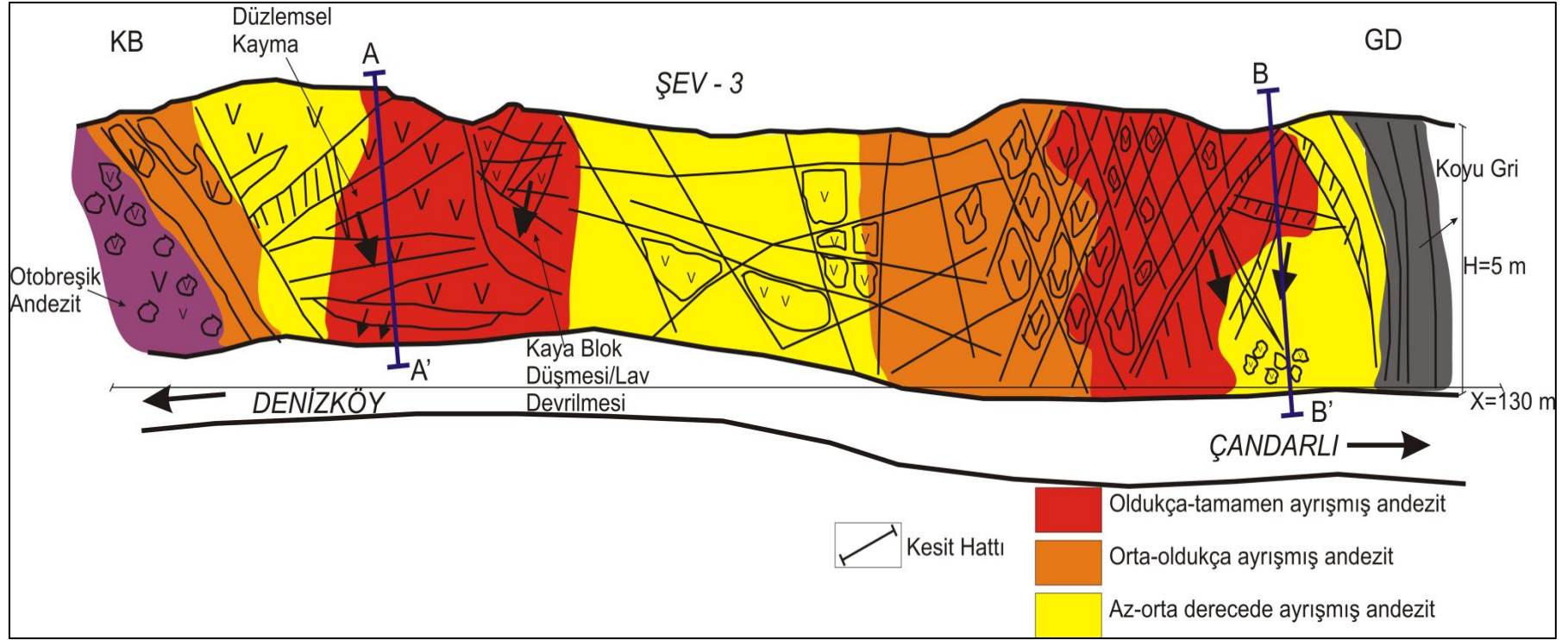
Ayrışma Derecesi	Ayrışma Grubu Adlaması	Ayrışma Grubu Simgesi	Ayrışma Grubu Tanımı
I	Taze	W1	Kayaçta hiçbir ayrışma etkisi görülmez. Ana süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi olabilir.
II	Az Ayrışmış	W2	Kayaçta ve süreksizlik yüzeylerinde kısmen renk değişimi görülür. Kayaç henüz direncinden bir şey kaybetmemiştir.
III	Orta Derecede Ayrışmış	W3	Kayaç tümüyle renk değiştirmiş ve direncini önemli ölçüde kaybetmiştir. Kayaç süreksiz bir çatı altında veya kayaç elemanları halindedir. Kayacın yarıdan azı ayrışmış ve ufalanarak zemin görünümüne bürünmüştür.
IV	Çok Ayrışmış	W4	Kayacın yarıdan fazlası ayrışmış ve ufalanarak zemin görünümü kazanmıştır. Zemin içinde taze renk değiştirmiş veya dirençsiz kayaç elemanlarına süreksiz bir çatı altında veya ayırık elemanlar halinde rastlanır.
V	Tamamen Ayrışmış	W5	Kayaç tümüyle ayrışmış-ufalanmış ve tamamen zemin haline dönüşmüştür. Ancak ilksel kayaç yapısı ve dokusu halen korunmaktadır.
VI	Kalıntı (Toprak)	W6	Kayaç tümüyle topraksı zemine dönüşmüş, yapı ve doku özellikleri kaybolmuştur. Hacim büyük ölçüde artmış, fakat topraksı zemin henüz taşınmamıştır.



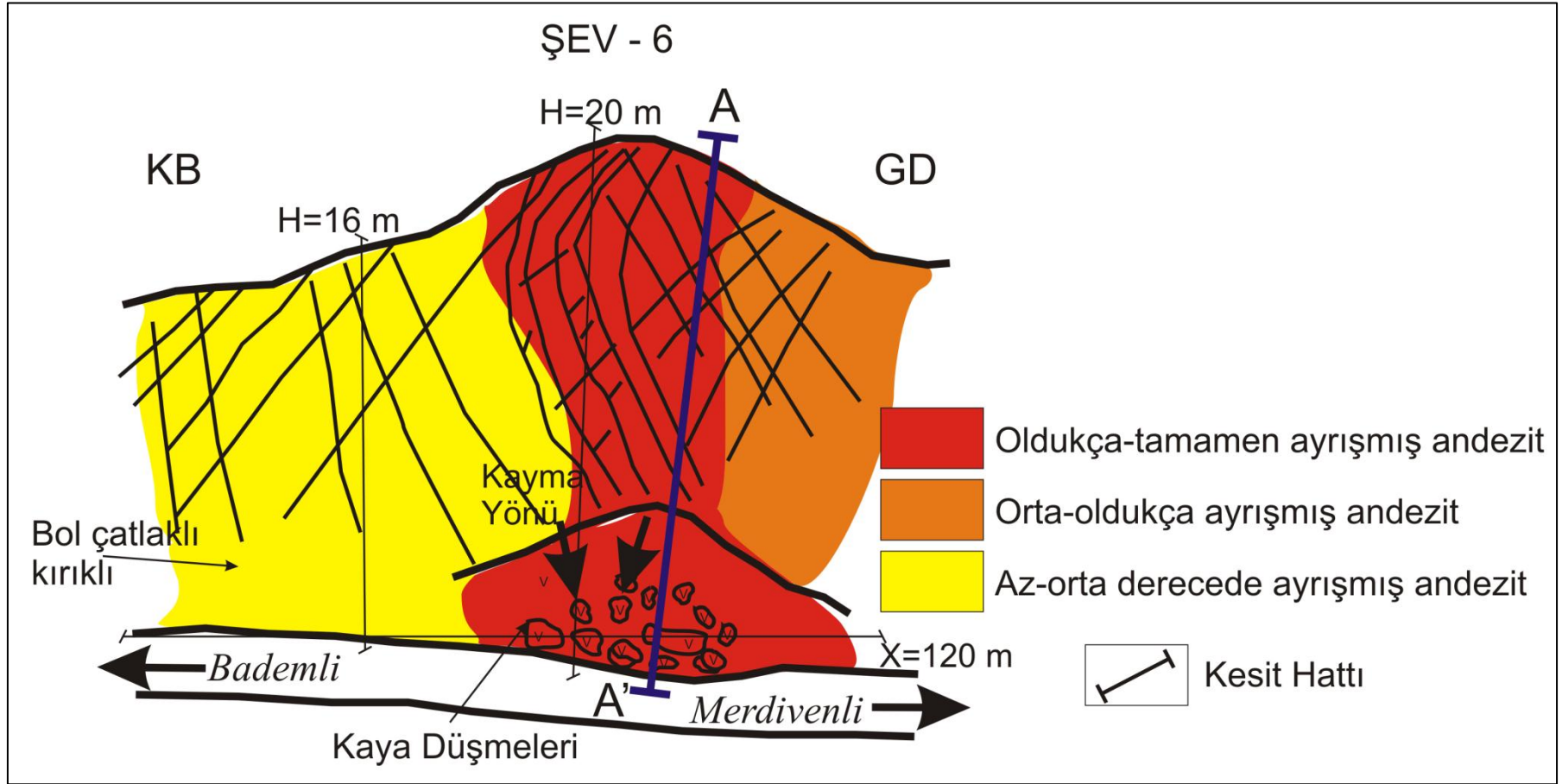
Şekil 4.7 Şev 1'in ayrışma derecesi zonlanma haritası.



Şekil 4.8 Şev 2'nin ayrışma derecesi zonlanma haritası.



Şekil 4.9 Şev 3'ün ayrışma derecesi zonlanma haritası.



Şekil 4.10 Şev 6'nın ayrışma derecesi zonlanma haritası.

4.3 Laboratuvar Deneyleri

Ön arazi çalışmalarında belirlenen yol şevlerinden alınan blok numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kayaçların bazı fiziko-mekanik özellikleri ve dayanım parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, kayaçların, doymuş ve kuru birim hacim ağırlıkları, porozite ve boşluk oranı ve ağırlıkça ve hacimce su içeriği, ses hızı iletkenliği gibi indis değerleri saptanmıştır.

Kesme kutusu deneyi yapılarak malzemeye ait makaslama dayanım parametreleri (c ve Φ) elde edilmiştir. Tek eksenli basınç direnci değerleri, yapılan deneyler sonucunda hesaplanmıştır.

Donma çözünme deneyi yapılarak, kayaçların deney öncesi ve deney sonrası fiziksel özelliklerinde gözlenen değişiklikler belirlenmiş ve toplam kütle kaybı değerleri hesaplanmıştır.

4.3.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Değişik kaya mekaniği deneylerinden sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla standartlara uygun boyutta ve nitelikte örnek hazırlanması, deneylerden önceki ilk ve en önemli aşamadır.

Araziden temin edilen blok örneklerinden TS 699 (1987)'da belirtilen deney boyutlarında numuneler Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında hazırlanmıştır. Dikey karot alma makinesiyle alınan karotlar (Şekil 4.11), elmas testere ile gerekli olan boy/çap oranlarında boyutlandırılmış (Şekil 4.12) ve numunelerin yüzeyleri aşındırıcı disk yardımıyla pürüzsüz hale getirilmiştir.



Şekil 4.11 Laboratuarda kaya bloklarından karot alma makinesi ile karot alımı.



Şekil 4.12 Karotiyer yardımıyla alınan karot numunelerinin görünümü.

4.3.2 Birim Hacim Ağırlık Tayini

Birim hacim ağırlık, kayacın herhangi bir birim hacimdeki toplam ağırlığı olarak tanımlanabilir (Erguvanlı, 1973). Kaya numunelerinde, katı kısım ile birlikte su ve hava tarafından doldurulan boşluk hacmi de vardır. Mühendislik çalışmalarında doğal, doymuş ve kuru birim hacim ağırlık değerleri kullanılır. Numune toplam ağırlığının, toplam hacme bölünmesi ile birim hacim ağırlık değeri hesaplanır.

Deney, düzenli bir geometriye sahip karotların birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Deney için ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

4.3.2.1 Araç ve Gereçler

- a) Fırın,
- b) Desikatör,
- c) Hassas Terazî,

4.3.2.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı

Deneye başlamadan önce, yüzeyi düzgün hale getirilen karotların alan ve hacimlerinin hesaplanması için, 0,1mm hassasiyetteki kumpas yardımıyla karotların çapları (D) ve boyları (L) ölçülmüştür (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Karotların en ve çaplarının kumpas ile belirlenmesi.

Silindirik numuneler 24 saat suda bekletildikten sonra hassas terazi ile tartılır. Bulunan değer suya doygun ağırlık (W_d) değeridir (Şekil 4.14). Bu değer toplam hacme oranı suya doygun birim hacim ağırlık değerini verir.

Örneklerin suya doygun birim hacim ağırlık değerleri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V_{top}} \quad (4.1)$$

Buradaki formülde;

γ_d : Suyu doygun birim hacim ağırlık

W_d : Numunenin doygun ağırlığı

V_{top} : Toplam hacmi simgelemektedir.



Şekil 4.14 Suyu doygun hale getirilen karotların ağırlığının Archimedes terazisi ile belirlenmesi.

Numuneler, suya doygun olarak tartıldıktan sonra, etüvde 105 °C’de 48 saat kurutulmuş ve daha sonra kuru numunelerin ağırlığı hassas terazi ile belirlenmiştir (W_k). Numunenin kuru ağırlığının toplam hacmine oranı kuru birim hacim ağırlığını verir ve aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$\gamma_k = \frac{W_k}{V_{top}} \quad (4.2)$$

Formülde;

γ_k : Kuru birim hacim ağırlık

W_k : Numunenin kuru ağırlığı

V_{top} : Toplam hacmi simgeler.

Oldukça ayrıışmış riyodasit, orta- oldukça ayrıışmış andezit ve taze – az ayrıışmış andezit numuneleri için ayrı ayrı belirlenen doygun birim hacim ağırlık ve kuru birim hacim ağırlık değerleri Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5’ de toplu olarak verilmiştir.

Anon, (1979)’a (Tablo 4.2) göre kayaçlar birim hacim ağırlıkları değerlerine göre sınıflandırıldığında; taze-az ayrıışmış andezitler “orta birim hacim ağırlığı”, orta- oldukça ayrıışmış andezitler “düşük birim hacim ağırlığı” ve riyodasit ise “düşük birim hacim ağırlığına sahip” kaya sınıfına girmektedir.

Tablo 4.2 Kayaçların kuru birim hacim ağırlığına göre sınıflamaları IAEG (Anon, 1979)

<i>Kaya Sınıfı</i>	<i>Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)</i>
Çok Düşük	< 1,8
Düşük	1,8-2,2
Orta	2,2-2,55
Yüksek	2,55-2,75
Çok Yüksek	>2,75

Tablo 4.3 Taze-az ayrılmış andezitlerin birim hacim ağırlıkları (BHA: Birim Hacim Ağırlığı, X: Ortalama, SD: Standart Sapma).

<i>Numune No.</i>	<i>Su İçerisindeki Doygun Ağırlık (gr)</i>	<i>Doygun Ağırlık (gr)</i>	<i>Kuru Ağırlık (gr)</i>	<i>Toplam Hacim (cm³)</i>	<i>Boşluk Hacmi (cm³)</i>	<i>Kuru BHA (gr/cm³)</i>	<i>Doygun BHA (gr/cm³)</i>
D-1	363,52	594,91	588,13	231,39	6,78	2,542	2,571
D-2	360,93	591,67	584,70	230,74	6,97	2,534	2,564
D-3	360,25	591,10	583,79	230,85	7,31	2,529	2,561
D-4	359,01	589,43	583,01	230,42	6,42	2,530	2,558
D-5	360,17	590,84	583,43	230,67	7,41	2,529	2,561
D-6	357,94	588,66	582,01	230,72	6,65	2,523	2,551
D-7	357,08	586,71	578,60	229,63	8,11	2,520	2,555
D-8	356,84	587,54	580,60	230,70	6,94	2,517	2,547
D-9	180,71	296,74	292,80	116,03	3,94	2,523	2,557
D-10	187,65	307,73	303,28	120,08	4,45	2,526	2,563
D-11	180,59	296,68	292,75	116,09	3,93	2,522	2,556
D-12	180,39	296,44	291,70	116,05	4,74	2,514	2,554
D-13	184,82	303,76	299,55	118,94	4,21	2,518	2,554
D-14	182,19	298,59	295,05	116,40	3,54	2,535	2,565
D-15	105,72	172,94	170,46	67,22	2,48	2,536	2,573
D-16	108,73	177,80	175,22	69,07	2,58	2,537	2,574
D-17	102,48	167,82	165,12	65,34	2,70	2,527	2,568
D-18	97,22	159,49	156,92	62,27	2,57	2,520	2,561
D-19	103,78	170,54	168,49	66,76	2,05	2,524	2,555
D-20	112,74	183,46	180,96	70,72	2,50	2,559	2,594
				X ± SD:		2,52 ± 0,010	2,56 ± 0,01

Tablo 4.4 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin birim hacim ağırlıkları (BHA: Birim Hacim Ağırlığı, X: Ortalama, SD: Standart Sapma).

<i>Numune No.</i>	<i>Su İçerisindeki Doygun Ağırlık(gr)</i>	<i>Doygun Ağırlık (gr)</i>	<i>Kuru Ağırlık (gr)</i>	<i>Toplam Hacim (cm³)</i>	<i>Boşluk Hacmi (cm³)</i>	<i>Kuru BHA(gr/cm³)</i>	<i>Doygun BHA (gr/cm³)</i>
A-1	265,01	492,88	441,65	227,87	51,23	1,938	2,163
A-2	267,34	494,66	390,33	227,32	104,33	1,717	2,176
A-3	264,16	491,68	439,4	227,52	52,28	1,931	2,161
A-4	262,72	491,33	437,80	228,61	53,53	1,915	2,149
A-5	267,25	496,00	442,87	228,75	53,13	1,936	2,168
A-7	283,63	511,81	470,92	228,18	40,89	2,064	2,243
A-8	272,07	499,74	451,13	227,67	48,61	1,982	2,195
A-9	265,03	493,80	439,99	228,77	53,81	1,923	2,158
A-10	269,37	498,56	447,94	229,19	50,62	1,954	2,175
A-11	271,05	499,72	450,01	228,67	49,71	1,968	2,185
A-13	275,68	503,81	456,61	228,13	47,20	2,002	2,208
A-14	266,65	495,64	443,14	228,99	52,50	1,935	2,164
A-16	130,60	241,42	217,00	110,82	24,42	1,958	2,178
A-17	120,48	230,72	200,86	110,24	29,86	1,822	2,093
A-18	133,08	245,04	221,14	111,96	23,90	1,975	2,189
A-19	113,56	222,84	191,56	109,28	31,28	1,753	2,039
A-20	121,64	233,25	202,88	111,61	30,37	1,818	2,090
A-22	109,36	218,78	184,91	109,42	33,87	1,690	1,999
A-23	132,94	244,03	219,82	111,09	24,21	1,979	2,197
				X ± SD:		1,89 ± 0,09	2,14 ± 0,05

Tablo 4.5 Oldukça ayrılmış riyodasit birim hacim ağırlıkları (BHA: Birim Hacim Ağırlığı, X: Ortalama, SD: Standart Sapma).

<i>Numune No.</i>	<i>Su İçerisindeki Doygun Ağırlık (gr)</i>	<i>Doygun Ağırlık (gr)</i>	<i>Kuru Ağırlık (gr)</i>	<i>Toplam Hacim (cm³)</i>	<i>Boşluk Hacmi (cm³)</i>	<i>Kuru BHA (gr/cm³)</i>	<i>Doygun BHA (gr/cm³)</i>
B - 1	213,90	438,96	383,46	225,06	55,50	1,704	1,950
B - 2	216,88	442,70	384,07	225,82	58,63	1,701	1,960
B - 3	225,81	451,08	398,01	225,27	53,07	1,767	2,002
B - 5	230,72	456,37	403,50	225,65	52,87	1,788	2,022
B - 6	217,85	440,76	405,65	222,91	35,11	1,820	1,977
B - 7	228,43	453,67	399,86	225,24	53,81	1,775	2,014
B - 8	274,35	439,15	382,98	164,80	56,17	2,324	2,665
B - 9	222,77	448,10	392,89	225,33	55,21	1,744	1,989
B - 11	226,61	452,29	418,63	225,68	33,66	1,855	2,004
B - 12	222,94	448,15	393,00	225,21	55,15	1,745	1,990
B - 14	99,91	209,13	177,12	109,22	32,01	1,622	1,915
B - 16	103,22	213,99	181,23	110,77	32,76	1,636	1,932
B - 17	113,37	225,08	197,06	111,71	28,02	1,764	2,015
B - 18	70,07	141,58	123,34	71,51	18,24	1,725	1,980
B - 19	61,39	127,14	110,36	65,75	16,78	1,678	1,934
B - 20	67,11	132,71	123,13	65,60	9,58	1,877	2,023
				X±SD:		1,78 ± 0,16	2,02 ± 0,17

4.3.3 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi

Kayacın su emme kapasitesini belirtir ve kayacın emdiği su ağırlığının kayacın kuru ağırlığına oranının yüzdesel olarak ifadesidir. Kayacın ağırlıkça su emmesi standartlarda belirtilen değerlerin üzerinde ise kayaç düşük durabilitelidir ve doğal çevre koşullarından fazlasıyla etkilenecek kısa sürede bozunur (Erdoğan ve Yavuz, 2004).

Bu deneyin amacı; düzenli bir geometrideki kayaç örneklerinin, ağırlık ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının belirlenmesidir. Deney için, TSE (1978) tarafından önerilen yöntemler kullanılmış olup deney sonuçları Tablo 4.6, 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

4.3.3.1 Araç ve Gereçler

- a) Su
- b) Su doldurulacak kap
- c) Kompas (0,1 mm duyarlılıkta),
- d) Hassas terazi (0,01 g duyarlılıkta)
- e) Etüv ($105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ kapasiteli)

4.3.3.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı

Deney sırasında karot (silindirik) kayaç örnekleri kullanıldığı için; bu örneklerin boyları (L) ve çapları (D) birbirine dik iki ayrı yönde ölçüldü. Örnekler, su doldurulmuş beherde 24 saat bekletildi. 12 saat sonunda örnekler saf sudan çıkarılarak, suya doymuş yüzeyleri kâğıt havlu ile kurulandı ve hassas terazi ile ıslak ağırlıkları belirlendi (W_d). Daha sonra örnekler, 105°C ’ye ayarlanmış fırına yerleştirilerek 12 saat boyunca kurutulmaya bırakıldı. Fırından çıkarılan örneklerin kuru ağırlıkları (W_k) hassas terazide yapılan tartı işlemi ile belirlendi. Aşağıdaki formüller yardımıyla numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları hesaplanmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

$$\text{Ağırlıkça Su Emme (\%): } A_w = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (4.3)$$

$$\text{Hacimce Su Emme (\%): } H_w = \frac{W_d - W_k}{V_{top}} \times 100 \quad (4.4)$$

W_d : Suya doygun ağırlık (gr)

W_k : Kuru ağırlık (gr)

V_{top} : Toplam Hacim

Taze-az ayrıışmış andezitlerin ağırlıkça su emme değeri ortalama % 1,34; hacimce su emme değeri ortalama % 3,40 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.6 Taze-az ayrıışmış andezitlerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları (X: Ortalama, SD: Standart Sapma).

<i>Numune No</i>	<i>Ağırlıkça Su Emme (%)</i>	<i>Hacimce Su Emme (%)</i>	<i>Numune No</i>	<i>Ağırlıkça Su Emme (%)</i>	<i>Hacimce Su Emme (%)</i>
D-1	1,153	2,930	D-11	1,342	3,385
D-2	1,192	3,020	D-12	1,625	4,084
D-3	1,252	3,166	D-13	1,405	3,539
D-4	1,101	2,786	D-14	1,200	3,041
D-5	1,270	3,212	D-15	1,455	3,689
D-6	1,143	2,882	D-16	1,472	3,735
D-7	1,402	3,531	D-17	1,635	4,132
D-8	1,195	3,008	D-18	1,638	4,127
D-9	1,346	3,395	D-19	1,217	3,070
D-10	1,467	3,705	D-20	1,382	3,535
			$X \pm SD$:	1,34 $\pm$ 0,16	3,40 $\pm$ 0,41

Tablo 4.7 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları (X: Ortalama, SD: Standart Sapma).

<i>Numune No</i>	<i>Ağırlıkça Su Emme (%)</i>	<i>Hacimce Su Emme (%)</i>	<i>Numune No</i>	<i>Ağırlıkça Su Emme (%)</i>	<i>Hacimce Su Emme (%)</i>
A-1	11,600	22,482	A-18	10,808	21,346
A-2	26,729	45,895	A-19	16,329	28,623
A-3	11,898	22,978	A-20	14,969	27,210
A-4	12,227	23,415	A-22	18,317	30,954
A-5	11,997	23,226	A-23	11,014	21,793
A-7	8,683	17,920	A-24	11,397	22,102
A-8	10,775	21,351	A-25	13,273	24,901
A-9	12,230	23,521	A-26	16,760	29,319
A-10	11,301	22,086	A-27	14,120	26,036
A-11	11,046	21,738	A-28	12,506	24,059
A-13	10,337	20,689	A-29	13,729	25,585
A-14	11,847	22,926	A-30	11,882	22,862
A-16	11,253	22,035	X ± SD:	13,15 ± 3,45	24,69 ± 5,12
A-17	14,866	27,086			

Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde ağırlıkça su emme oranı % 13,150; hacimce su emme oranı %24,698 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, andezitlerde ayrışma derecesi arttıkça, kayalarda hacimce ve ağırlıkça su emme oranlarında artış gözlenmektedir. Yani bünyesine aldığı su oranı artmakta ve doğal çevre koşullarına karşı durabilitesi azalmaktadır. Durabilitesi azalan kayaç doğada kolaylıkla bozunur.

Tablo 4.8 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları (X: Ortalama, SD: Standart Sapma).

<i>Numune No</i>	<i>Ağırlıkça Su Emme (%)</i>	<i>Hacimce Su Emme (%)</i>	<i>Numune No</i>	<i>Ağırlıkça Su Emme (%)</i>	<i>Hacimce Su Emme (%)</i>
B - 1	14,473	24,660	B - 11	8,041	14,914
B - 2	15,265	25,963	B - 12	14,033	24,488
B - 3	13,334	23,558	B - 14	18,072	29,307
B - 5	13,103	23,430	B - 16	18,076	29,574
B - 6	8,655	15,750	B - 17	14,219	25,087
B - 7	13,457	23,890	B - 18	14,788	25,506
B - 8	14,667	34,083	B - 19	15,205	25,520
B - 9	14,052	24,501	B - 20	7,780	14,603
			X±SD:	13,576±3,045	24,052±5,233

Riyodasitlerde ağırlıkça su emme oranı, % 13,576 olarak belirlenirken, hacimce su emme oranı % 24,052'dir. Bu oranlar orta-oldukça ayrıışmış andezitte belirlenen oranlara yakındır. Riyodasitlerin su emme kapasitesi ayrıışmış andezitlerde eş çıkmaktadır.

4.3.4 Görünür Gözeneklilik (Porozite) ve Boşluk Oranı Tayini

Deney düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin gözenekliliğinin (porozitesinin) tayini için yapılmıştır.

Kayaçların dokusundaki gözeneklerin artması ile kayacın dayanımı azalmaktadır. Dayanım ile gözeneklilik ters orantılıdır. Dolayısıyla, porozite bir kayaç için önemli fiziksel indeks parametrelerden birisidir. Bunun yanı sıra, bir kayacın su alabilme kapasitesi de bir diğer önemli indeks parametredir (Binal ve diğer., 1997).

Porozite ve boşluk oranının bilinmesi, kayacın temel olma özelliklerinde, sızma problemlerinde, permeabilitenin saptanmasında, baraj temellerinde ve çatlaklı kayaların içerisinde su hareketlerinin bilinmesinde ve temellerde oturma hesaplamalarında zorunludur (Kıncal, 2004). Kayaçların poroziteye göre sınıflandırılması Tablo 4.9'daki gibidir.

Tablo 4.9 Kayaçların poroziteye göre sınıflandırılması IAEG (Anon, 1979).

Porozite (%)	Kaya Sınıfı
1	Çok Kompakt
1-2.5	Az Boşluklu
2.5-5	Orta Boşluklu
5-10	Oldukça Boşluklu
10-20	Çok Boşluklu
>20	Çok Fazla Boşluklu

Bir kayacın porozitesi, kayacın içinde birbiri ile bağlantılı olan gözeneklerin oluşturduğu boşluk hacminin, toplam kaya hacmine oranıdır ve (n %) ile gösterilir ve % ile ifade edilerek aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\% n = \frac{V_b}{V_T} \times 100 \quad (4.5)$$

% n: Porozite

V_b : Boşluk hacmi (cm^3)

V_T : Toplam hacim (cm^3)

$$V_b = W_d - W_k \quad (W_d: \text{Suya doymuş ağırlık (gr)} \quad W_k : \text{Kuru ağırlık (gr)})$$

$$V_T = W_d - W_{sd} \quad (W_d: \text{Suya doymuş ağırlık (gr)} \quad W_{sd}: \text{Su içerisindeki doymuş ağırlık (gr)})$$

Kayaçların, boşluk hacmi (V_b) ile katı kısımların hacmi oranına da boşluk oranı denir ve ($e \%$) ile gösterilir ve yüzde olarak ifade edilir. Kayaçların birbirleri ile ilişkili boşluk hacmini belirlemek için kullanılır ve aşağıdaki formül yardımıyla boşluk oranı değeri hesaplanır:

$$\% e = \frac{V_b}{V_k} \times 100 \quad (4.6)$$

% e: Boşluk oranı

V_b : Boşluk hacmi (cm^3)

V_k : Katı kısımların hacmi ($V_k = V_T - V_b$)

Farklı ayrışma derecesine sahip andezit ve riyodasit numuneleri üzerinde ISRM (1981)'e göre yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçları Tablo 4.10, 4.11 ve 4.12'de sunulmuştur.

Tablo 4.10 Taze-az ayrışmış andezitlerin porozite ve boşluk oranı (X:ortalama, SD: Standart sapma).

<i>Numune No</i>	<i>Porozite (%)</i>	<i>Boşluk Oranı (%)</i>	<i>Numune No</i>	<i>Porozite (%)</i>	<i>Boşluk Oranı (%)</i>
D-1	2,930	3,019	D-11	3,385	3,504
D-2	3,021	3,115	D-12	4,084	4,258
D-3	3,167	3,270	D-13	3,540	3,669
D-4	2,786	2,866	D-14	3,041	3,137
D-5	3,212	3,319	D-15	3,689	3,831
D-6	2,882	2,968	D-16	3,735	3,880
D-7	3,532	3,661	D-17	4,132	4,310
D-8	3,008	3,102	D-18	4,127	4,305
D-9	3,396	3,515	D-19	3,071	3,168
D-10	3,706	3,848	D-20	3,535	3,665
			X ± SD:	3,40 ± 0,41	3,52 ± 0,44

Tablo 4.11 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin porozite ve boşluk oranı (X:ortalama, SD: Standart sapma).

<i>Numune No</i>	<i>Porozite (%)</i>	<i>Boşluk Oranı (%)</i>	<i>Numune No</i>	<i>Porozite (%)</i>	<i>Boşluk Oranı (%)</i>
A-1	22,482	29,002	A-18	21,347	27,141
A-2	45,896	84,828	A-19	28,624	40,103
A-3	22,978	29,833	A-20	27,211	37,383
A-4	23,415	30,575	A-22	30,954	44,831
A-5	23,226	30,253	A-23	21,793	27,866
A-7	17,920	21,832	A-24	22,103	28,375
A-8	21,351	27,147	A-25	24,901	33,158
A-9	23,521	30,756	A-26	29,319	41,481
A-10	22,086	28,347	A-27	26,036	35,202
A-11	21,739	27,777	A-28	24,059	31,682
A-13	20,690	26,087	A-29	25,586	34,382
A-14	22,927	29,747	A-30	22,863	29,639
A-16	22,036	28,264	X ± SD:	24,69 ± 0,12	33,57 ± 0,45
A-17	27,086	37,149			

Taze-az ayrıışmış andezitlerde, boşluk oranı % 3,52; orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde % 33,57; riyoasitlerde ise bu oran % 32,24 olarak belirlenmiştir. Taze-az ayrıışmış andezitlerde, porozite % 3,39 olup “orta boşluklu kaya”, orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde % 24,698 olup “çok fazla boşluklu kaya” ve riyoasitlerde porozite % 24,052 olarak hesaplanmış ve “çok fazla boşluklu kaya” sınıfında yer almaktadırlar.

Tablo 4.12 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin porozite ve boşluk oranı (X:ortalama, SD: Standart sapma).

<i>Numune No</i>	<i>Porozite (%)</i>	<i>Boşluk Oranı (%)</i>	<i>Numune No</i>	<i>Porozite (%)</i>	<i>Boşluk Oranı (%)</i>
B - 1	24,660	32,732	B - 11	14,915	17,529
B - 2	25,963	35,068	B - 12	24,488	32,430
B - 3	23,558	30,819	B - 14	29,308	41,458
B - 5	23,430	30,600	B - 16	29,575	41,995
B - 6	15,751	18,695	B - 17	25,083	33,481
B - 7	23,890	31,389	B - 18	25,507	34,241
B - 8	34,084	51,708	B - 19	25,521	34,266
B - 9	24,502	32,454	B - 20	14,604	17,101
			X±SD:	24,05 ± 5,23	32,24 ± 8,98

Taze-az ayrıışmış andezit, orta-oldukça ayrıışmış andezit ve riyodasit numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyi sonuçlarında elde edilen fiziksel özellik parametre değerleri toplu olarak Tablo 4.13, 4.14 ve 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.13 Taze-az ayrıışmış andezitlerin fiziksel özellikleri (X:ortalama, SD: Standart sapma).

<i>Fiziksel Özellikler</i>	<i>Deney Sonuçları (X ± SD)</i>
$\gamma_{kuru} (gr/cm^3)$	2,52 ± 0,01
$\gamma_{doymun} (gr/cm^3)$	2,56 ± 0,01
% Ağırlıkça su emme	1,34 ± 0,16
% Hacimce su emme	3,40 ± 0,41
Porozite (% n)	3,40 ± 0,41
Boşluk Oranı (% e)	3,52 ± 0,44

Tablo 4.14 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin fiziksel özellikleri (X:ortalama, SD: Standart sapma).

<i>Fiziksel Özellikler</i>	<i>Deney Sonuçları (X ± SD)</i>
<i>γ_{kuru} (gr/cm³)</i>	1,89 ± 0,09
<i>γ_{doygun} (gr/cm³)</i>	2,14 ± 0,05
<i>% Ağırlıkça su emme</i>	13,15 ± 3,45
<i>% Hacimce su emme</i>	24,69 ± 5,12
<i>Porozite (% n)</i>	24,69 ± 5,12
<i>Boşluk Oranı (% e)</i>	33,57 ± 11,45

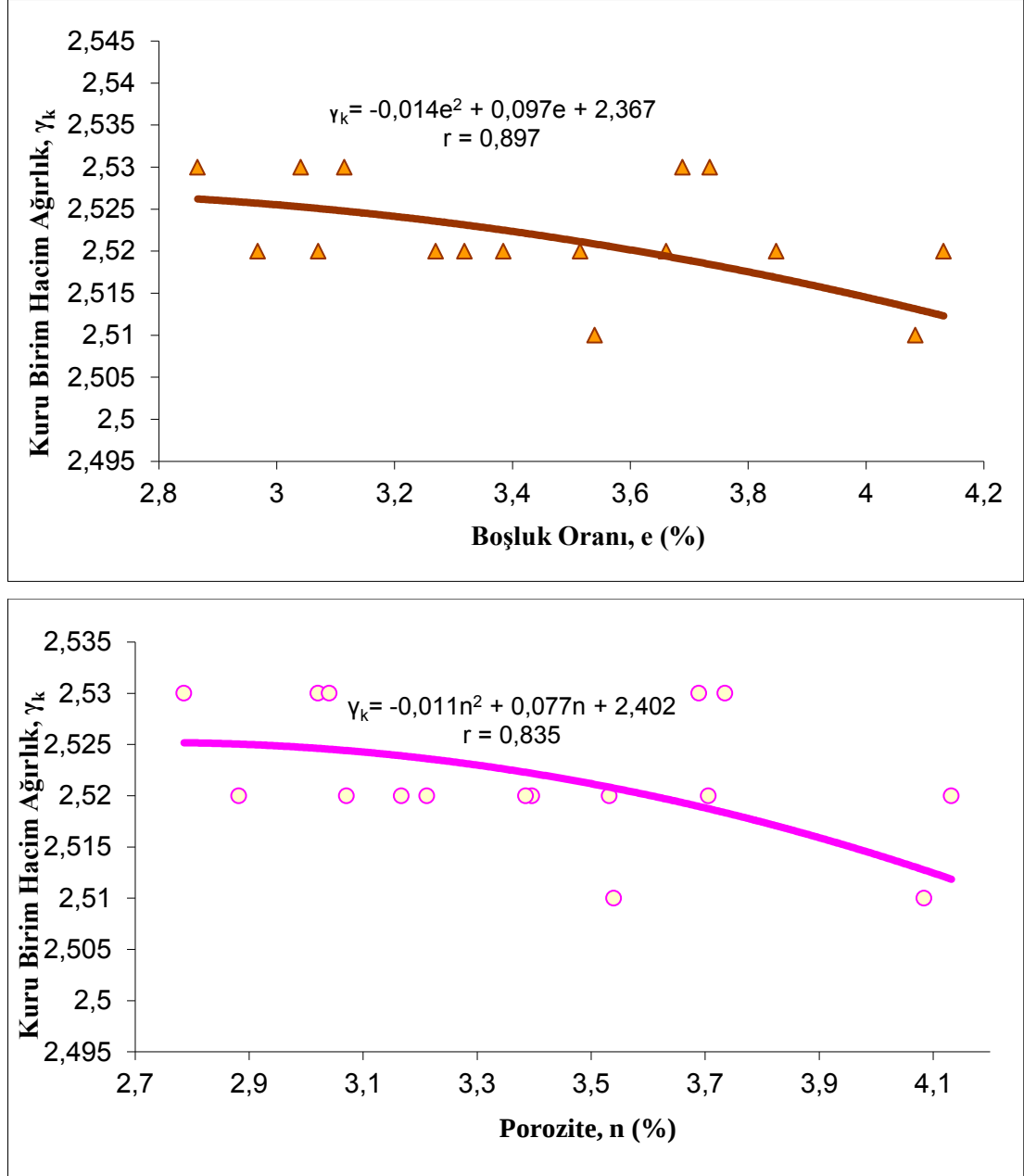
Tablo 4.15 Oldukça ayrıışmış riyoudasitlerin fiziksel özellikleri (X:ortalama, SD: Standart sapma).

<i>Fiziksel Özellikler</i>	<i>Deney Sonuçları (X ± SD)</i>
<i>γ_{kuru} (gr/cm³)</i>	1,78 ± 0,16
<i>γ_{doygun} (gr/cm³)</i>	2,02 ± 0,17
<i>% Ağırlıkça su emme</i>	13,576 ± 3,04
<i>%Hacimce su emme</i>	24,05 ± 5,23
<i>Porozite (% n)</i>	24,05 ± 5,23
<i>Boşluk Oranı (% e)</i>	32,24 ± 8,98

Deneyler sonucunda elde edilen verilere göre kayalara ait “Kuru birim hacim ağırlığı – Porozite” ve “Kuru Birim hacim ağırlığı – Boşluk oranı” grafikleri çizilmiştir.

Taze-az ayrıışmış andezit numunelerinde; “kuru birim hacim ağırlığı-boşluk oranı ve “kuru birim hacim ağırlık-porozite” ilişkisini gösteren grafikler regresyon bağıntıları ve regresyon katsayıları ile birlikte Şekil 4.15’de verilmiştir. Grafiklere göre; numunelerin boşluk oranı ve porozite değerleri arttıkça örneklerin kuru birim hacim ağırlık değerlerinde fazla bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Ancak porozite ve boşluk oranı değerlerinin en yüksek olduğu noktalarda birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Kuru birim hacim ağırlık-porozite korelasyon

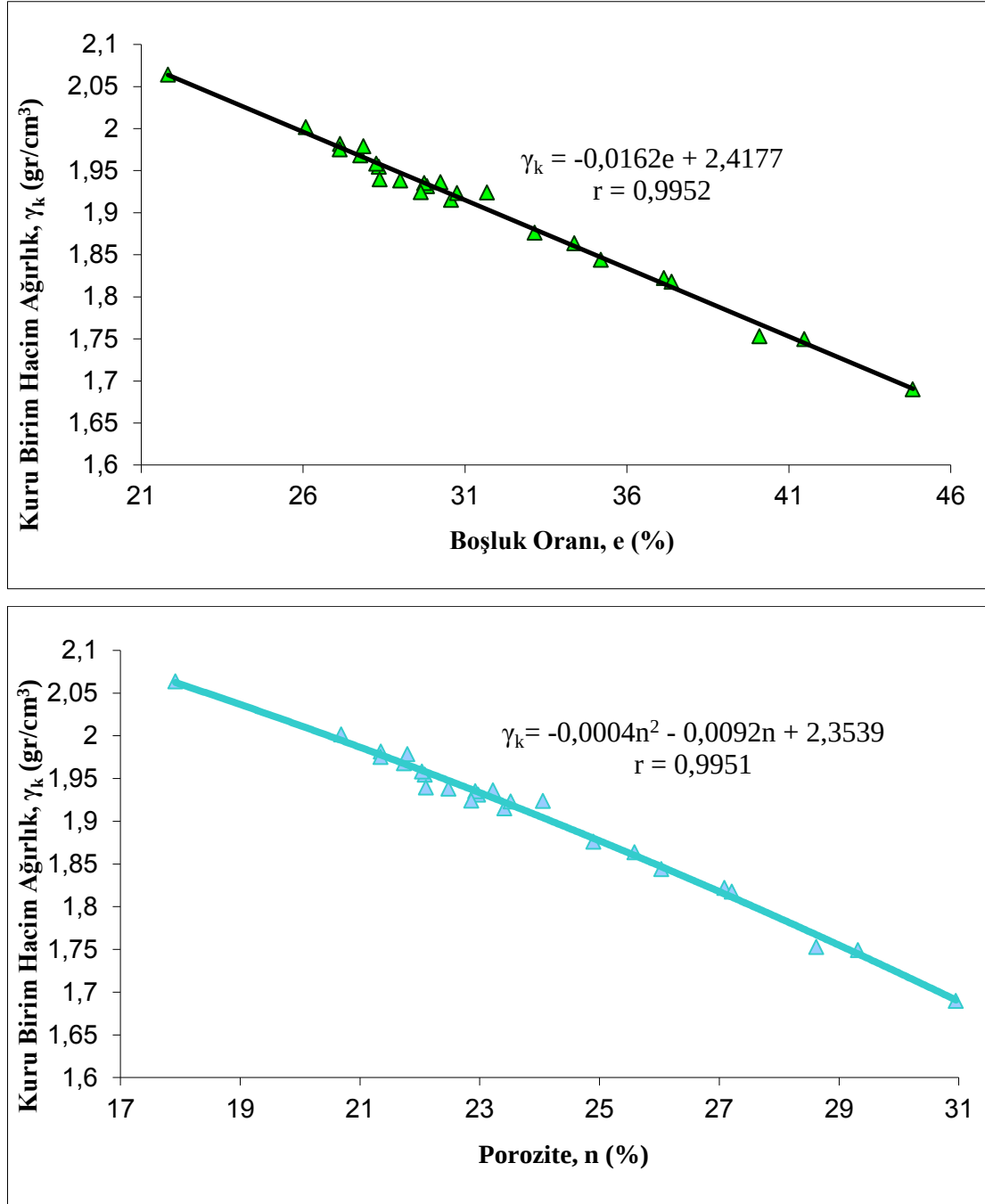
katsayısı $r = 0,835$ iken, bu değer kuru birim hacim ağırlık-boşluk oranında $r = 0,897$ 'dir.



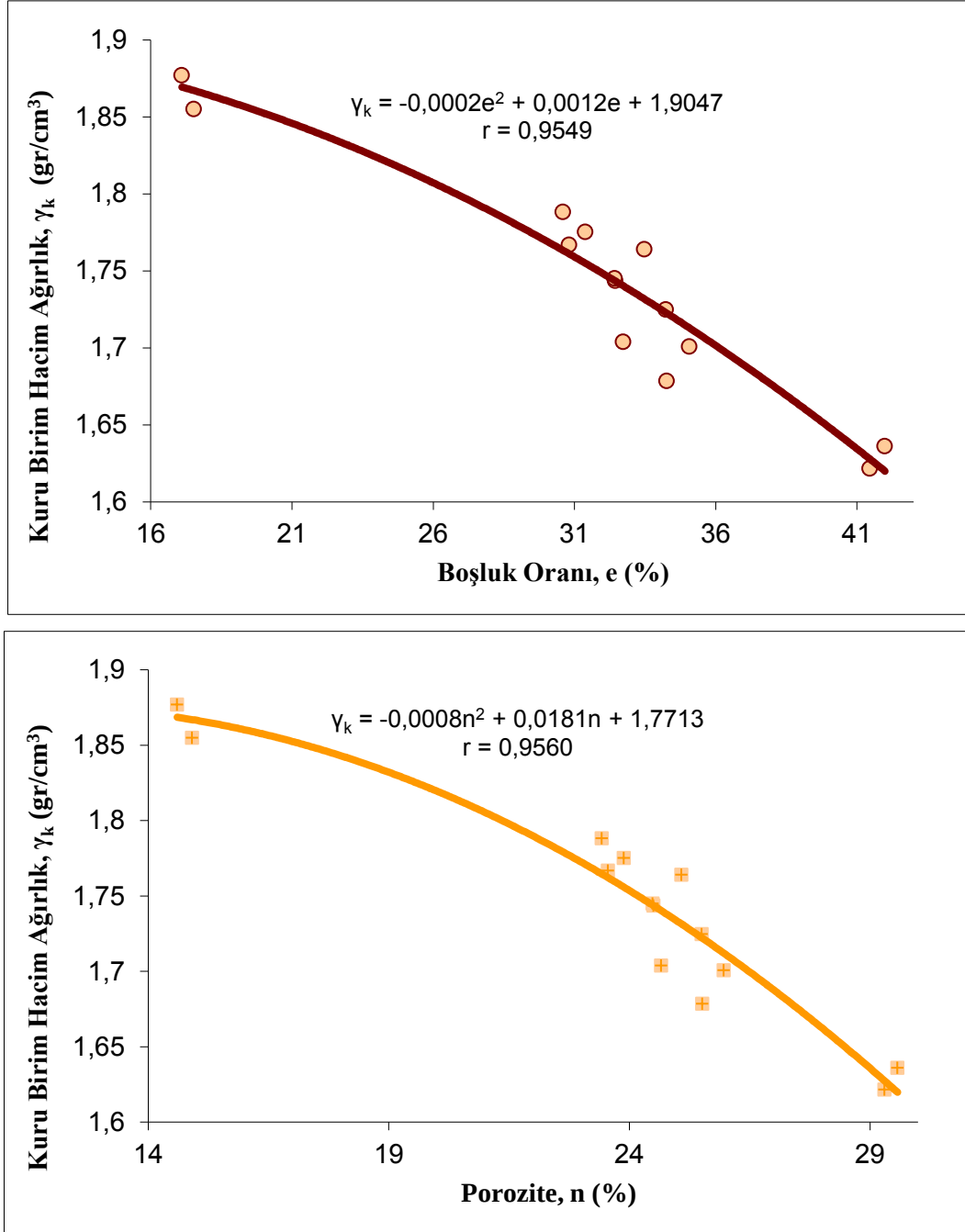
Şekil 4.15 Taze-az ayrıışmış andezitlerin fiziksel özelliklerinde gözlenen değişim grafikleri.

Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin kuru birim hacim ağırlık-boşluk oranı ve kuru birim hacim ağırlık-poroziteleri arasındaki ilişkiye bakıldığında, numunelerin porozite ve boşluk oranı değerleri arttıkça kuru birim hacim ağırlığı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Oluşturulan denklemlerin korelasyon katsayıları, her iki

grafikte de $r = 0,995$ olduğundan, orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişimin % 99'unun boşluk oranı ve poroziteye bağlı olduğu şeklinde açıklanabilir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin fiziksel özelliklerinde gözlenen değişim grafikleri.



Şekil 4.17 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin fiziksel özelliklerinde gözlenen değişim grafikleri.

Riyodasitlerde çizilen kuru birim hacim ağırlığı-boşluk oranı ve kuru birim hacim ağırlığı porozite grafiklerinde de orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde olduğu gibi birim hacim ağırlık porozite ve boşluk oranının ters orantılı olduğu gözlenmiştir. Porozite arttıkça birim hacim ağırlığı düşmektedir. Korelasyon katsayılarına bakıldığında $r = 0,956$, birim hacim ağırlıklarında gözlenen değişimin % 95'inin porozite ve boşluk oranından kaynaklandığı belirlenmiştir (Şekil 4.17).

4.3.5 Sonik Hız Deneyi

Ultrasonik ses hızı tayini deneyinde amaç, kayaç numunelerinden geçen P dalga hızının (V_p) bulunmasıdır. Bu deney, homojen, izotrop veya çok az anizotrop kayaçlarda uygulanabilir. Deney yapılacak numunelerin, alt ve üst yüzeyleri pürüzlü olmamalıdır. Karotların yüzeylerindeki pürüzlülüğü gidermek amacıyla, karot yüzeylerine ve sonik hız aletinin proplarına ultrasonik jel sürülmüştür. Böylelikle, aletin propları ile karot yüzeyi arasında oluşacak boşluk ortadan kaldırılmış olur.

Ses, homojen kayaçlarda belirli bir hızla ilerler. Ancak kayaç içerisindeki süreksizliklere rastlayınca ses hızı azalır. Kayaçları içindeki çatlak sıklığı ve yoğunluğu, çatlakların kayaçlarda oluşturdukları ikincil gözeneklilik hakkında yapılan ses ölçümleri ile fikir edinilebilir (Davis, 1972).

Kaya kütlesi içindeki, sarsıntı dalgalarının yayılım hızı, sismik hızı vermektedir. Bu değer kaya kütlesi içindeki mineral bileşimini, yoğunluğu, poroziteyi, elastisiteyi ve kırılma derecesini etkiler. I.A.E.G (Anon 1979)'nın kayalar için tanımladığı ses hız sınıflaması Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16 P dalga hızı sınıflaması I.A.E.G. (Anon,1979)

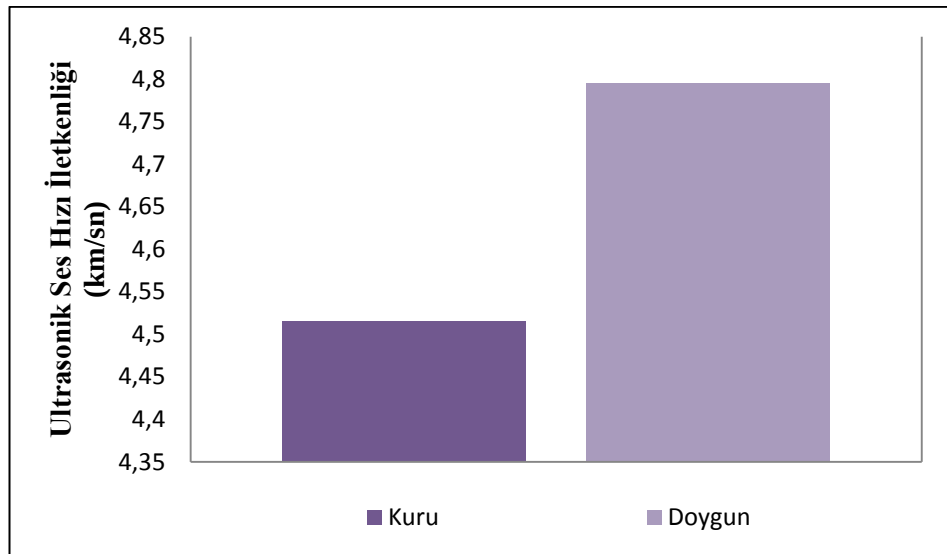
<i>Sınıf</i>	<i>P-Dalga Hızı (m/sn)</i>	<i>Tanımlama</i>
1	2500' den az	Çok Düşük
2	2500 – 3500	Düşük
3	3500 – 4000	Orta
4	4000 – 5000	Yüksek
5	5000' nin üzeri	Çok Yüksek

Yapılan laboratuvar deneylerinde, farklı ayrışma derecelerine sahip andezit numuneleri üzerinde ultrasonik ses hızı ölçümleri PUNDIT Plus aleti yardımıyla (V_p) suya doygun ve kuru numuneler üzerinde yapılmış (Şekil 4.18) ve sonuçlar Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'de verilmiştir.

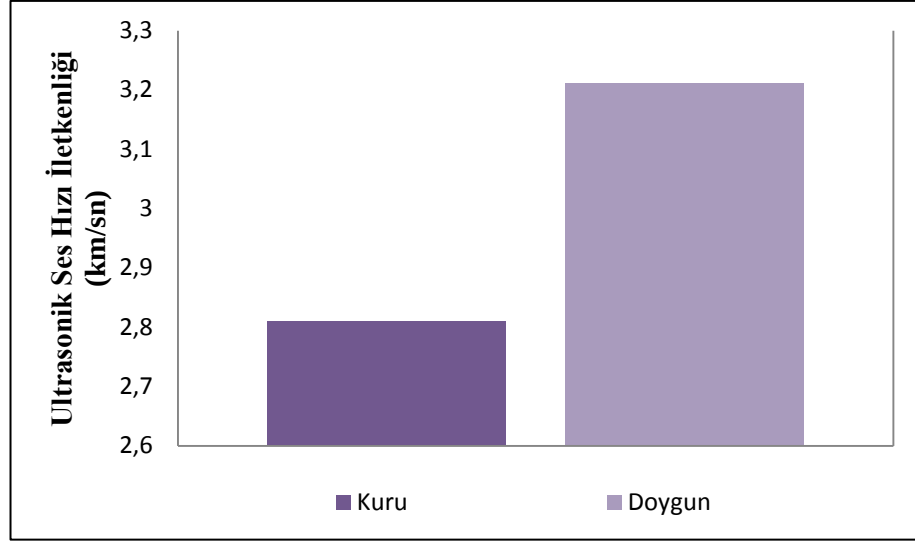
$V = \frac{X}{t}$ bağıntısından yararlanarak geçiş hızı bulunur. Burada X: Karotun boyu (mm) ve t:geçiş süresi (μs)'dir. Bulunan bu değer numunenin boşluk oranı ile ilgili fikir edinmemizi sağlar.



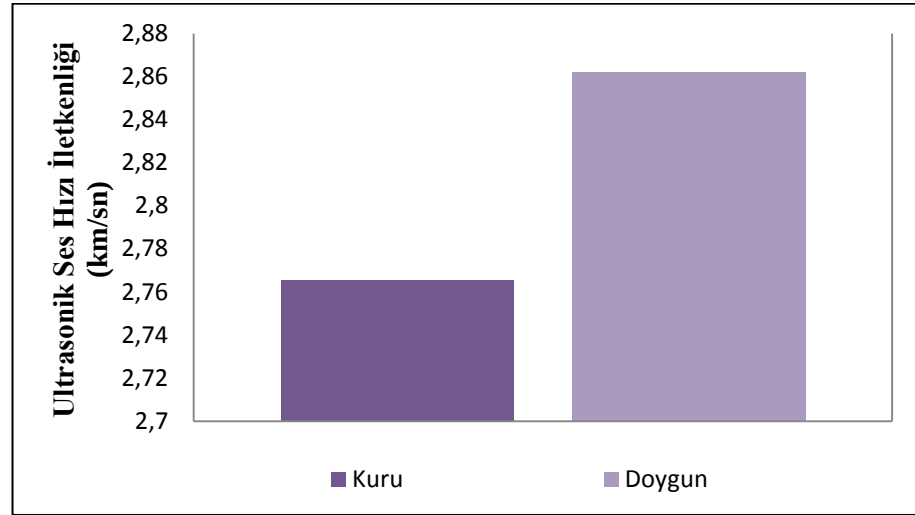
Şekil 4.18 Sonik hız cihazı ve aparatları ile ölçüm yapma.



Şekil 4.19 Taze-az ayrılmış andezitlerin kuru ve suya doygun koşullarda ultrasonik ses hızı iletkenliği grafiği.



Şekil 4.20 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin kuru ve suya doygun koşullarda ultrasonik ses hızı iletkenliği grafiğı.



Şekil 4.21 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin kuru ve suya doygun koşullarda ultrasonik ses hızı iletkenliği grafiğı.

Taze-az ayrıışmış andezitlerin ses hızı iletkenliği kuru numunelerde $4,515 \pm 0,12$ km/sn, suya doygun numunelerde ise $4,795 \pm 0,11$ km/sn'dir. Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde $2,809 \pm 0,21$ km/sn, suya doygun numuneler de $3,211 \pm 0,28$ km/sn olarak hesaplanmıştır. Riyodasitlerde yapılan ölçümlerde ise, kuru numunelerde $2,76 \pm 0,11$ km/sn, doygun numuneler de $2,86 \pm 0,21$ değerleri ölçülmüştür. Genel olarak, suya doygun kayalarda belirlenen Vp dalga hızı değeri kuru numunelere göre daha yüksektir. Kayalarda dalga hızının artmasıyla porozitenin düştüğü gözlenmiştir.

4.3.6 Donma-Çözünme Deneyi

Nem ve atmosferik ısı değişimleri, doğal taşların bozunmasına sebep olan ve bozunma sürecini hızlandıran olumsuz faktörlerdir. Nemli ortamlarda don ve sıcaklık farklılıkları, gerilmeler yaratarak kayacın içerisinde parçalanmalara ve kopmalara neden olmaktadır (Küçükkaya, 1995).

Kayacın gözenek ve çatlaklarındaki sular, iklimlere ve mevsimlere bağlı olarak gelişen donma-çözünme süreçleri sonrasında o kayacın bozunmasına sebep olmaktadır. Donma sırasında suyun hacminin % 9 oranında genişmesi sebebiyle kayaç gözeneklerinde donan su bir basınç oluşturmaktadır. Tekrarlanan donma-çözünme olayları sonucunda kayaç içerisinde yeni mikro çatlaklar gelişir ve önceden var olan çatlaklar daha da derinleşerek çatlak açıklıklarının artmasına yol açar. Bu nedenle çözünme sonrasında su, gözenekler içerisinde rahatlıkla yer değiştirip daha derine göç edebilir (Erdoğan ve Yavuz, 2004).

Suyun buz haline gelip kristalleşmeye başlaması ve kristallerin büyümesi sonucunda, taşın içinde çatlakların ve parçalanmaların gelişmesi gözlenir. Su, normal atmosferik koşullarda 0°C’ de donmaktadır. Ancak kayaçların içerisindeki su, 0°C’ ın altında kristalleşmeye başlar (Rossi-Doria, 1985).

Donma-çözünme deneyi TS EN 12371 standardına uygun olarak şekilsiz kaya numuneleri üzerinde yapılmıştır. Donma-çözünme olaylarının kayaçlar üzerinde oluşturacakları kütle kayıplarını belirlemek için, deney numuneleri üzerinde öncelikle etüvde kuru hale getirilmiştir. Deney 25 periyot olacak şekilde tekrarlanmıştır. Deneyin bir periyodunda numuneler 6 saat derin dondurucuda, yaklaşık 12 saatte su içerisinde bekletilerek tekrarlama şeklinde yapılmıştır. Başlangıçtaki kuru ağırlıkları hassas terazi ile ölçülen numuneler, 25’inci periyot sonrasında etüvde kurutularak, deney sonrası kuru ağırlıkları da terazi ile tartılmıştır. Bu değerlere bağlı olarak deney öncesi ve sonrası kuru ağırlıkları karşılaştırılarak, kütle kaybı değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır ve sonuçlar Tablo 4.17’de verilmiştir.

$$DÇ = \left(\frac{W_0 - W_1}{W_0} \right) \times 100 \quad (4.7)$$

DÇ: Donma çözünme deneyi sonrasındaki kütle kaybı (%)

W_0 : Donma çözünme deneyi öncesi kuru ağırlık (gr)

W_1 : Donma çözünme deneyi sonrası kuru ağırlık (gr)

Tablo 4.17 Numunelerin donma-çözünme deneyi sonrası kütle kaybı değerleri.

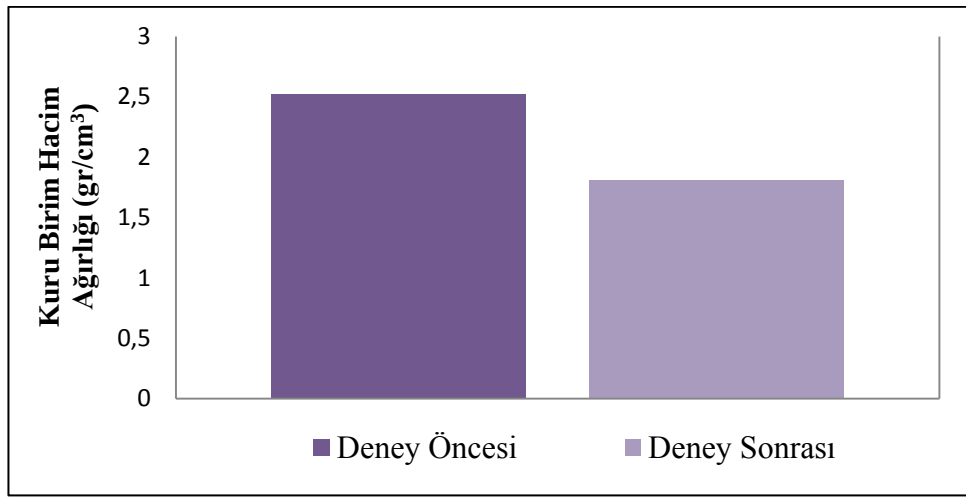
Örnek	Örneğin Deney Öncesi Kuru Ağırlığı A (gr)	Örneğin Deney Sonrası Kuru Ağırlığı B (gr)	Ağırlık Kaybı ((A-B)/A)*100 (%)	Kayaç Tanımı
D	988,56	985,37	0,32	Taze-az ayrıışmış andezit
A	1640,20	1449,41	11,63	Orta-oldukça ayrıışmış andezit
B	1794,91	1534,76	14,49	Oldukça ayrıışmış Riyodasit

Taze-az ayrıışmış andezitlerin, donma-çözünme deneyi 25. Periyodu sonunda % 0,32; orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin % 11,63 oranında ve riyodasitlerin % 14,49 oranında kütle kaybına maruz kaldıkları görülmüştür.

Kayaçların donma-çözünme etkisi ile fiziksel özelliklerinde değişimler gözlenmektedir. Numunelerin deneye tabii tutulmadan ve deney sonrası hesaplanan fiziksel özellik değerleri karşılaştırılmıştır ve belirlenen değerler grafiksel olarak sunulmuştur.

4.3.6.1 Taze-Az Ayırılmış Andezitlerin Donma Çözünme Deneyi Sonucu Fiziksel Özelliklerinin Değişimi

Taze-az ayırılmış andezitlerde, deney öncesi kuru birim hacim ağırlık değeri; $2,519 \text{ gr/cm}^3$ iken deney sonrası bu değer $2,091 \text{ gr/cm}^3$ olmuştur. Buna göre kuru birim hacim ağırlığında $0,428 \text{ gr/cm}^3$ azalma gözlenmiştir (Şekil 4.22). Deney öncesi $2,558 \text{ gr/cm}^3$ olan doygün birim hacim ağırlık değeri, deney sonrası $0,434 \text{ gr/cm}^3$ azalarak $2,121 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır.



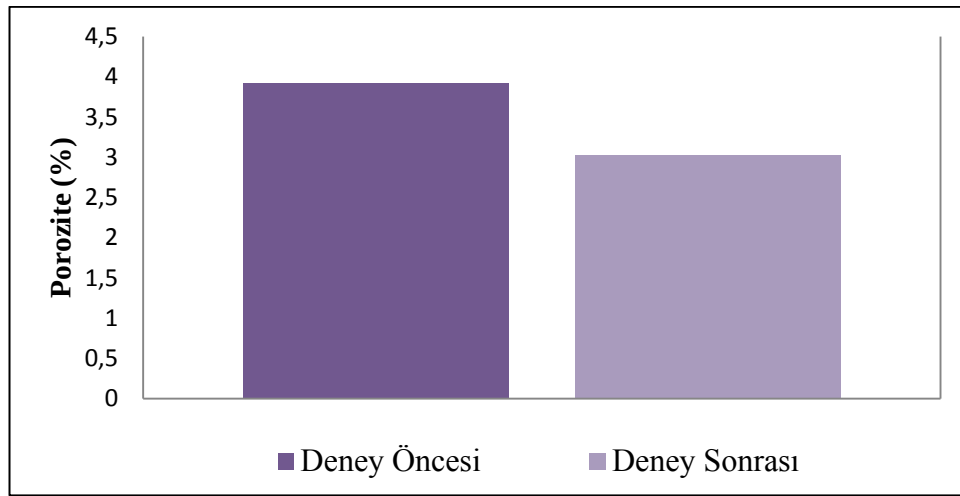
Şekil 4.22 Taze-az ayırılmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.

Deney öncesi porozite oranı % 3,919 iken, deney sonrası % 0,897 azalarak % 3,022 olmuştur (Şekil 4.23). Boşluk oranı, deney öncesi % 4,078 olarak belirlenmiş deney sonrası ise bu oran %3,111'e düşerek % 1,056 azalma göstermiştir. Ağırlıkça su emme oranı önce % 1,556 olarak belirlenmiş ve bu oran deney sonrası % 1,445'e düşmüştür (Şekil 4.25).

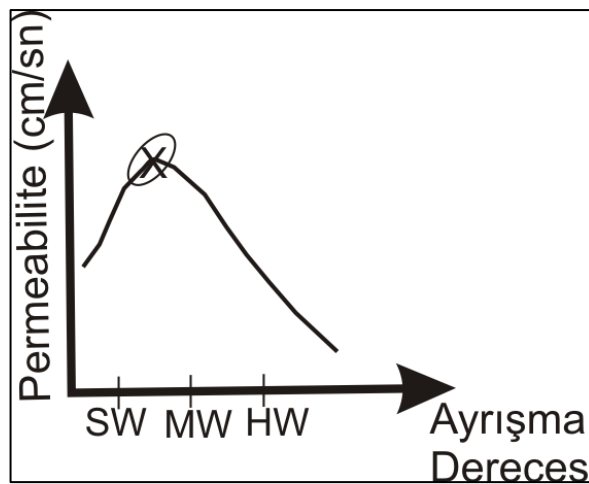
Ayrışma arttıkça örneklerde % porozite değeri artar. Ancak taze-az ayırılmış andezitler üzerinde yapılan donma çözünme deneyine göre 25 çevrim sonucunda porozite değerinin azaldığı gözlenmektedir. Az ayırılmış kayalarda permeabilite değeri azken bir noktaya kadar artarak pik noktasına ulaşır ve giderek azalır (Şekil 4.24). Bu durum az ayırılmış andezitlerde ayrışmadan dolayı kil minerallerinin

artması, artan kil minerallerinin/ayırışma materyalinin kayaç içerisindeki çatlakları kapatması şeklinde açıklanabilir. Çatlaklar kapatıldığı için kayaç az ayrıışmışken boşluk oranı değeri düşer. Boşluk oranının düşmesinden dolayı porozite değeri de düşmektedir.

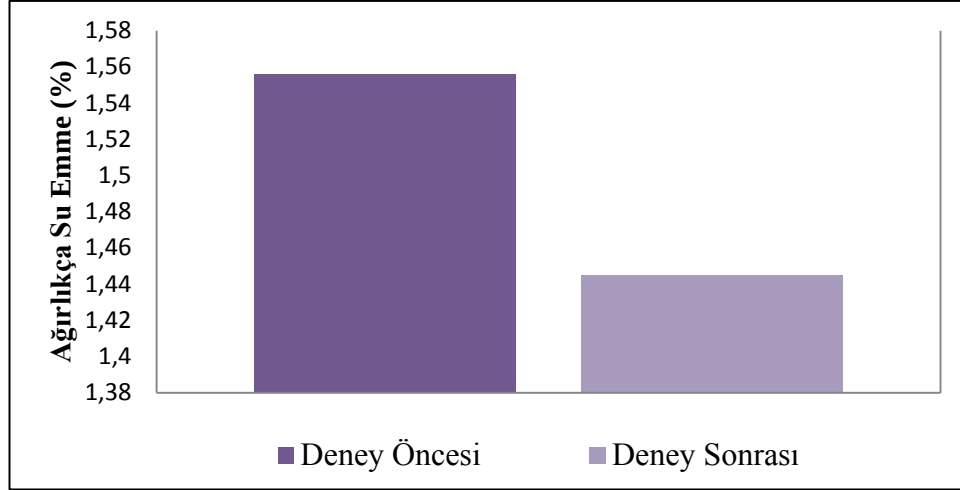
Donma çözünme deneyi sonucu kütle kaybı değeri % 0,32 olan taze-az ayrıışmış andezitlerin; kuru birim hacim ağırlığı, doygun birim hacim ağırlığı, porozite, boşluk oranı ve ağırlıkça su emme değerlerinin hepsinde azalma gözlenmiştir.



Şekil 4.23 Taze-az ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası % porozite değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.



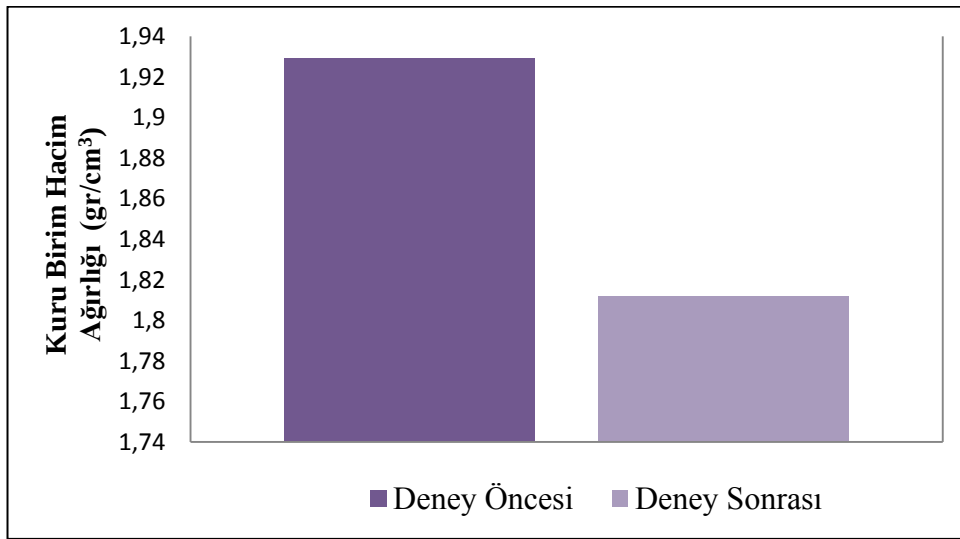
Şekil 4.24 Ayırışma derecesi permeabilite ilişkisini gösteren grafik.



Şekil 4.25 Taze-az ayrılmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası % ağırlıkça su emme oranlarının grafiksel karşılaştırılması.

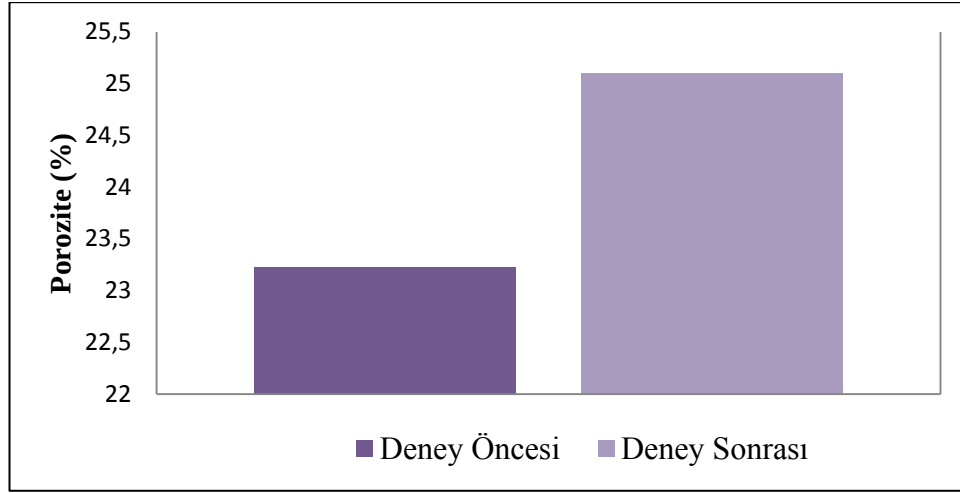
4.3.6.2 Orta-Oldukça Ayrılmış Andezitlerin Donma Çözünme Deneyi Sonucu Fiziksel Özelliklerinin Değişimi

Orta-oldukça ayrılmış andezitlerde, deney öncesi kuru birim hacim ağırlık değeri; $1,929 \text{ gr/cm}^3$ iken deney sonrası bu değer $1,812 \text{ gr/cm}^3$ olmuştur. Buna göre, numunenin kuru birim hacim ağırlığında $0,117 \text{ gr/cm}^3$ azalma görülmüştür (Şekil 4.26). Deney öncesi $2,161 \text{ gr/cm}^3$ olan doygun birim hacim ağırlık değeri, deney sonrası $0,098 \text{ gr/cm}^3$ azalarak $2,063 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır.



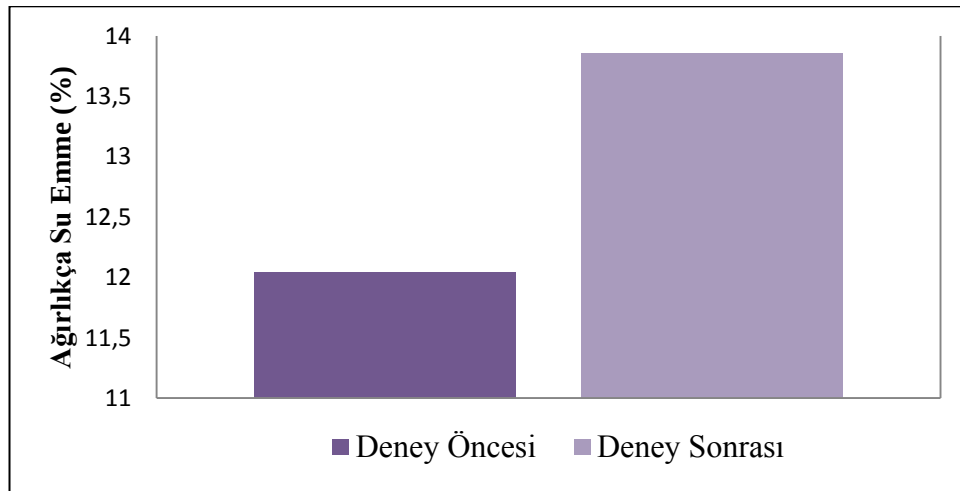
Şekil 4.26 Orta-oldukça ayrılmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.

Deney öncesi porozite oranı % 23,222 iken, deney sonrası % 5,152 oranında artış göstererek % 25,100 olmuştur (Şekil 4.27). Boşluk oranı değeri, deney öncesi % 30,252 olarak belirlenmiş deney sonrası ise bu oran % 3,269 oranında artarak % 33,511 olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça su emme oranı önce % 12,039 olarak hesaplanmış ve bu oran deney sonrası % 13,854 olarak artmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.27 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası % porozite değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.

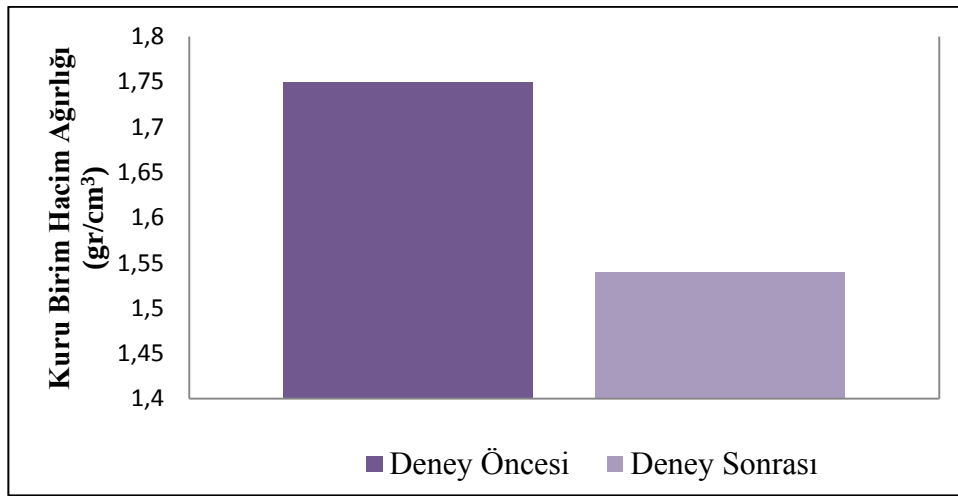
Donma-çözünme deneyi sonucu kütle kaybı değeri % 14,49 olan riyodasitlerin kuru birim hacim ağırlığı, doygun birim hacim ağırlığı değerleri azalırken, porozite, boşluk oranı ve ağırlıkça su emme oranlarında artış gözlenmiştir.



Şekil 4.28 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin deney öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme değişimi değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.

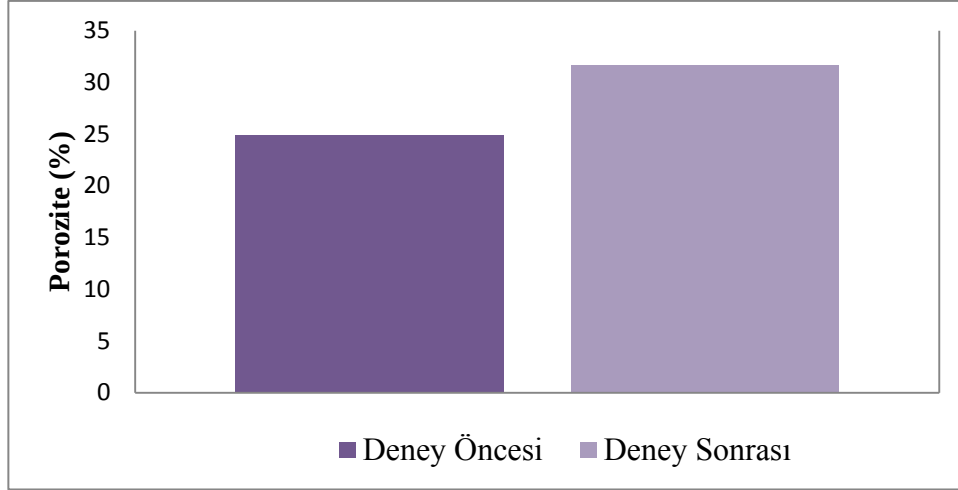
4.3.6.3 Riyodasitlerin Donma Çözünme Deneyi Sonucu Fiziksel Özelliklerinin Değişimi

Riyodasitlerde, deney öncesi kuru birim hacim ağırlık değeri; $1,75 \text{ gr/cm}^3$ iken deney sonrası bu değer $1,54 \text{ gr/cm}^3$ olmuştur. Buna göre kuru birim hacim ağırlığında $0,21 \text{ gr/cm}^3$ azalma gözlenmiştir (Şekil 4.29). Deney öncesi $1,99 \text{ gr/cm}^3$ olan doymuş birim hacim ağırlık değeri, deney sonrası $0,14 \text{ gr/cm}^3$ azalarak $1,85 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır.

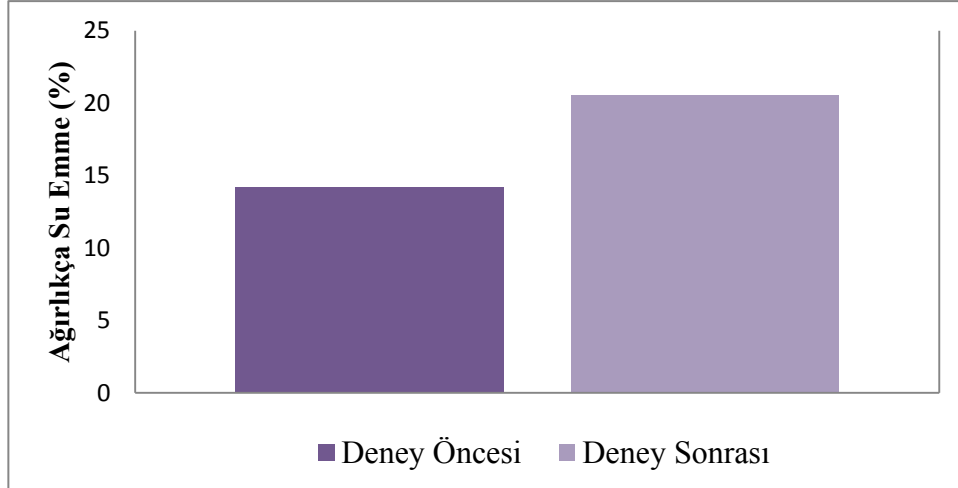


Şekil 4.29 Oldukça ayrıışmış riyodasitlerin deney öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.

Deney öncesi porozite oranı % 24,85 iken, deney sonrası % 6,8 oranında artış göstererek % 31,65 olmuştur (Şekil 4.30). Boşluk oranı değeri, deney öncesi % 33,07 olarak belirlenmiş deney sonrası ise bu oran % 13,23 oranında artarak % 46,3 olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça su emme oranı önce % 14,19 olarak hesaplanmış ve bu oran deney sonrası % 20,54 olarak artmıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.30 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin deney öncesi ve sonrası % porozite değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.



Şekil 4.31 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin deney öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme değişimi değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.

4.3.7 Kesme Kutusu Deneyi

Deney, kaya kütlelerinin içerdiği doğal süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanım parametrelerinin belirlenmesi amacıyla, taşınabilir bir makaslama düzeneği kullanılarak yapılır. Kaya malzemesinin makaslama dayanımı yaygın olarak doğrusal Mohr - Columb ya da eğrisel Hoek - Brown yenilme ölçütleri ile tanımlanır. Doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütü, kaya malzemesinin kohezyon (c), yenilme

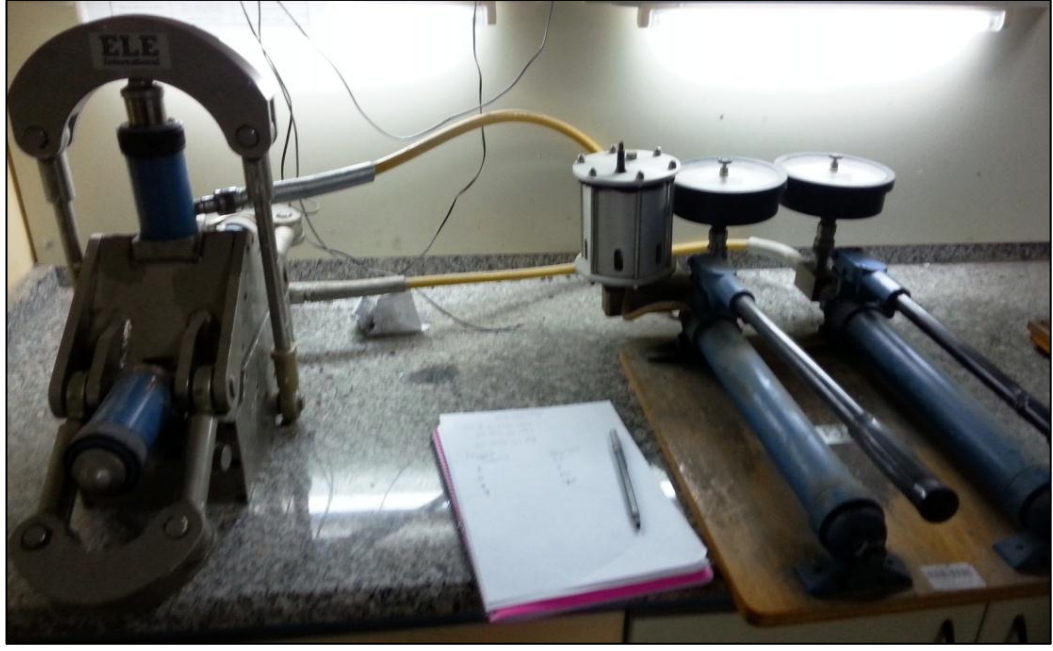
yüzeyine etkiyen normal gerilme (σ) ve içsel sürtünme açısı (Φ) değerlerini esas alır ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\tau = c + \sigma \tan (\Phi) \quad (4.8)$$

Kesme deneyi, arazide andezitlerin içerdiği süreksizlik yüzeyleri boyunca yapılmıştır. Deney, ISRM (1981)'e göre yapılmıştır.

4.3.7.1 Araç ve Gereçler

- a) Taşınabilir makaslama kutusu deney düzeneği; süreksizlik içeren deney numunesine yanal ve düşey yönde kuvvet uygulanması için iki hidrolik pompa, pompalara takılı yük okuma göstergeleri,
- b) Alçı kalıbıyla birlikte deney numunesinin yerleştirildiği metalden yapılmış alt ve üst kutulardan oluşmaktadır (Şekil 4.32).
- c) Yanal ve düşey yönlerde oluşacak yer değiştirmelerin ölçülmesi için göstergeler
- d) Örnek hazırlama kalıpları ve bu kalıpların deneye hazır hale getirilmesi amacıyla alçı, çimento gibi bağlayıcı malzeme. Deney sırasında alçı kullanılmıştır.
- e) Bağlayıcı malzemenin metal kalıplara yapışmasını önlemek için özel bir beton yağı veya vazelin. Deney sırasında yapışmayı önlemek için özel naylon poşet kullanılmıştır.



Şekil 4.32 Deneyde kullanılan portatif kesme kutusu deney düzeneği.

Karot kesme makinesi ile alınan, süreksizlik yüzeyi içeren numuneler deney kalıbına sığacak (sıkıştırılacak) şekilde hazırlanmıştır (Şekil 4.33). Bağlayıcı madde olarak alçı kullanılmıştır. Kullanılacak alçı su ile karıştırılıp kıvamlı hale getirilmiş ve alçı deney kalıplarının içine dökülmüştür. Kalıplarda boşluk kalmaması için kalıplar sallanır. Bağlayıcı madde kalıp içinde katılaşmadan üzerine süreksizlik içeren iki yüzeyden biri yerleştirilir ve alçının donması beklenir (Şekil 4.34).



Şekil 4.33 Deneye tabii tutulan numune.



Şekil 4.34 Süreksizlik içeren yüzeyin kalıba yerleştirilmesi.

Bağlayıcı malzeme kalıp içinde donduktan sonra kalıp vidaları çözülür ve süreksizlik içeren numunenin diğer yarısı içinde aynı işlemler tekrar edilir ve süreksizlik yüzeyinin alt bölümünde yeterli açıklık kalacak şekilde numune yeni hazırlanan bağlayıcı içine yerleştirilir ve donması beklenir. Donan kalıplar birbirinden ayrılır (Şekil 4.35).



Şekil 4.35 Numunenin kalıptan çıktıktan sonra ikiye ayrılması.

4.3.7.2 Deneyin Yapılışı

İki kalıp halinde hazırlanan deney numunesi portatif makaslama aletinin alt ve üst bölümlerine yerleştirilir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 Donan numune kalıplarının deney düzeneğine yerleştirilmesi.

Belirlenen düşey yük değerine ulaşana kadar, hidrolik pompa yardımıyla yükleme yapılır ve yatay yük değerleri göstergeden okunur. Farklı düşey yükler (normal gerilme) altında kesme kesme gerilmesi değerleri hesaplanır. Deney sırasında her defasında değiştirilen düşey yükler altında okunan yatay yük değerleri Tablo 4.18’de verilmiştir. Bu yüklere bağlı olarak normal gerilme ve kesme gerilmesi değerleri belirlenir (Tablo 4.19). Kesme kutusu deneyinde kullanılacak numunelerin genel olarak aynı süreksizlik yüzeylerini içermeleri istenmektedir. Düzensiz yüzeyli örneklerde gözlenen yüzey pürüzlülükleri deney sonuçlarının yanlış olmasına neden olur. Hesaplanan en güvenilir değerler örneğin, pürüzsüz, düzlemsel yüzeyler içermesi halinde elde edilir. Bu nedenle yapılan portatif kesme kutusu deneyinde en sağlıklı sonucu tek bir numune sağlamıştır.

Tablo 4.18 Uygulanan düşey yük ve okunan yatay yük değerleri

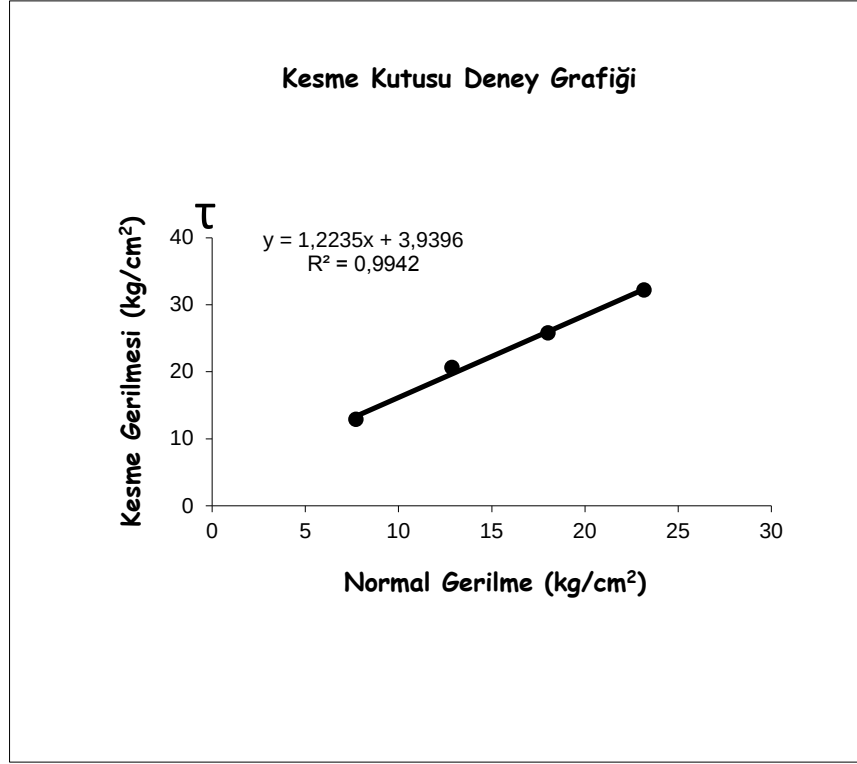
Numune NO	Düşey Yük (KN)	Yatay Yük (KN)
3	3	5
	5	8
	7	10
	9	12,5

Tablo 4.19 Portatif kesme kutusu deney sonuçları.

DİREK KESME DENEYİ					
ÖRNEK NO.	Düşey Yük F_c (kgf)	Kesme Yükü F_s (kgf)	Düzeltilmiş Alan A (cm²)	Normal Gerilme $\sigma=(F_c/A)*10^{-1}$ (kgf/cm²)	Kesme Gerilmesi $\tau=(F_s/A)*10^{-1}$ (kgf/cm²)
3	306	510	39,57	7,73	12,89
	510	815,36	39,52	12,89	20,61
	714	1019,2	39,49	18,04	25,76
	918	1274	39,47	23,20	32,20

Deney aynı süreksizlik üzerinde tekrarlanmıştır. (1KN=101,92 kgf)

Deney sonucunda elde edilen kesme direnci değerleri normal gerilmelerden daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bulunan normal gerilme ve kesme gerilmesi değerlerine ilişkin diyagram oluşturulmuş ve bu diyagramdan içsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri belirlenmiştir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37 Kesme kutusu deney sonuçları ve yenilme zarfı denklemi.

Grafikten;

Kohezyon değeri (c) (eğilim çizgisinin grafiği kestiği nokta): $3,94 \text{ kg/cm}^2 = 394 \text{ kPa}$

İçsel Sürtünme Açısı (Φ) : $28,7^\circ$ olarak belirlenmiştir.

4.3.8 Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi

Belli boyutlardaki kayaçların, belirli bir doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dayanıklılık tek eksenli basınç direncidir. Tek eksenli basınç deneylerinde, gevşek malzemelerde, kırılma anında numune alanında herhangi bir değişme gözlenmez. Daha sert nitelikteki kayaçlar ise tek eksenli basınç altında şekil değişikliğine uğrarlar. Numunenin kesit alanı, kırılma yükü altında, kayma çatlaklarının meydana geldiği anda büyür. Kırılma yükünün kırılma anındaki alanına oranı tek eksenli basınç direnci değerini verir. Basınç altındaki taşlarda meydana gelen kırılma tip ve şekil kayacın litolojik özelliğine, gerilme tipine, süresine, sıcaklığına, boşluk suyu basıncına vb. özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterir (Erguvanlı, 1973).

Genel olarak tek eksenli basınç direnci, belli bir yük altındaki kayaçların dayanımları hakkında bilgi verir. Bu bilgiler ışığında kayaçların dayanım derecelerine göre sınıflandırılır. Kayaçların gerilme altında kırılmaya karşı gösterdikleri direncin önceden belirlenmesi, bulunduğu alanda uzun dönem durabilitesi açısından son derece önemlidir (Erdoğan ve Yavuz, 2004).

Taze-az ayrıışmış andezit, orta-oldukça ayrıışmış andezitler ve riyodasit numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç direnci, boy/çap oranı 2 olan 54 mm çapındaki silindirik şekilli numuneler üzerinde 200 Ton' luk tam otomatik hidrolik pres kullanılarak ISRM 1981'e göre yapılmıştır ve aşağıdaki eşitlikle tek eksenli basınç dayanım değeri hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (4.9)$$

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm²)

P: Numunenin kırıldığı andaki yük (kg)

A: Numunenin en kesit alanı (cm²)

Ancak Tek eksenli basınç deneyinde örneklerin kesilmesi ve kesilen yüzeylerin düzeltilmesi esnasında L=2D oranında değişiklik olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalarda çap-boy arasındaki oranın basınç direncini etkilediği bilinmektedir. Tek eksenli basınç direnci değerleri aşağıdaki eşitlik gereğince düzeltilmiştir.

$$\sigma_c' = \frac{\sigma_c}{\left(\frac{b}{h}\right) \times 0,24 + 0,88} \quad (4.10)$$

σ_c' : Düzeltilmiş tek eksenli basınç dayanımı değeri (kg/cm²)

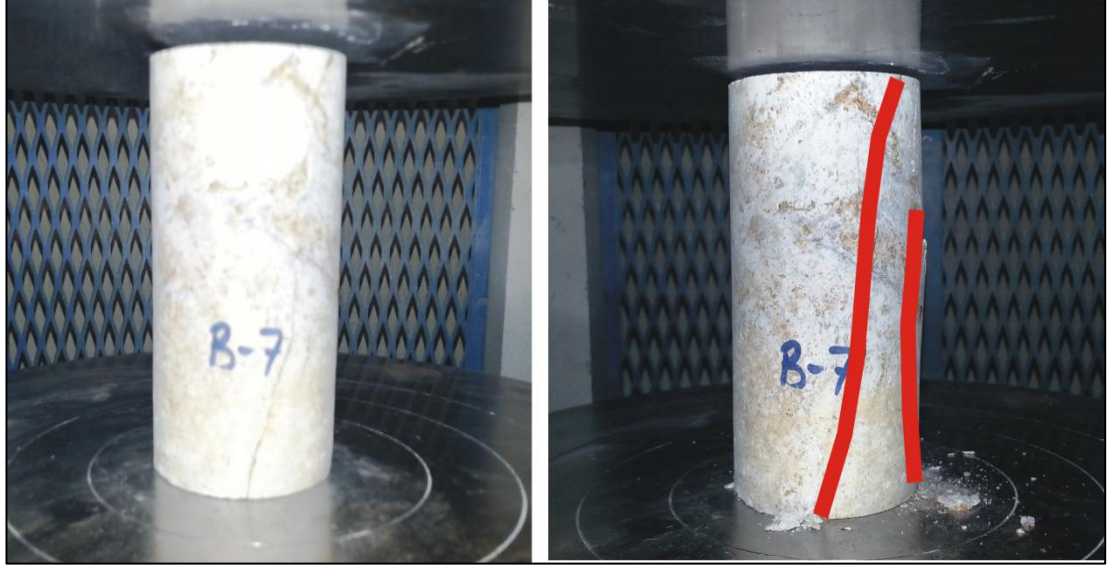
σ_c : Deney sırasında ölçülen tek eksenli basınç dayanım değeri (kg/cm²)

h: Karot boyu (cm)

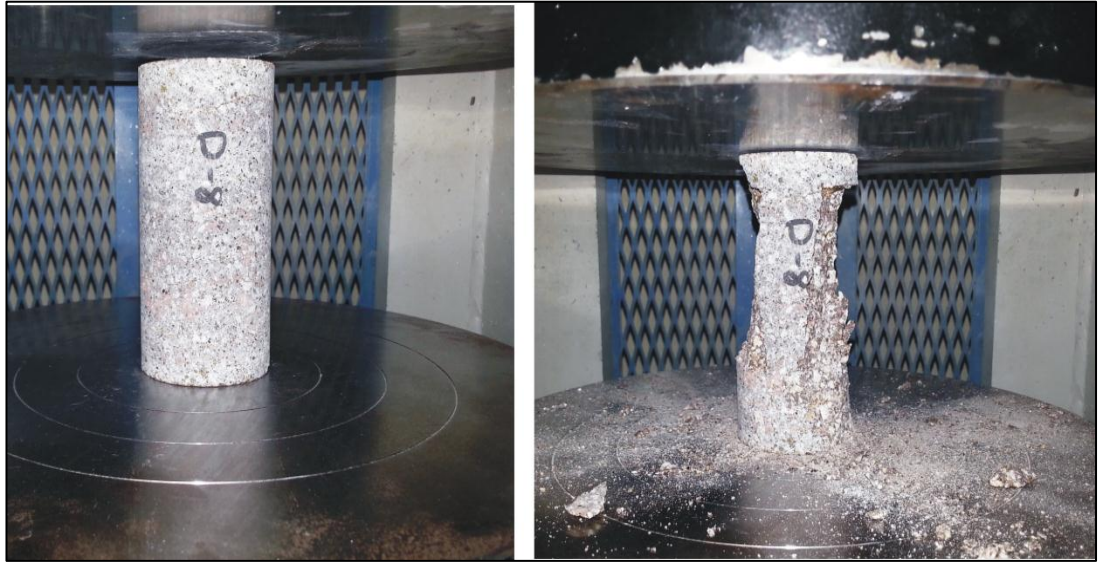
b: Karot çapı (cm)

Laboratuvarda tek eksenli basınç deneyleri yapılırken numunelerde belirli yerlerde çatlakların oluştuğu ve buralardan kırıldığı belirlenmiştir. Basınç altındaki

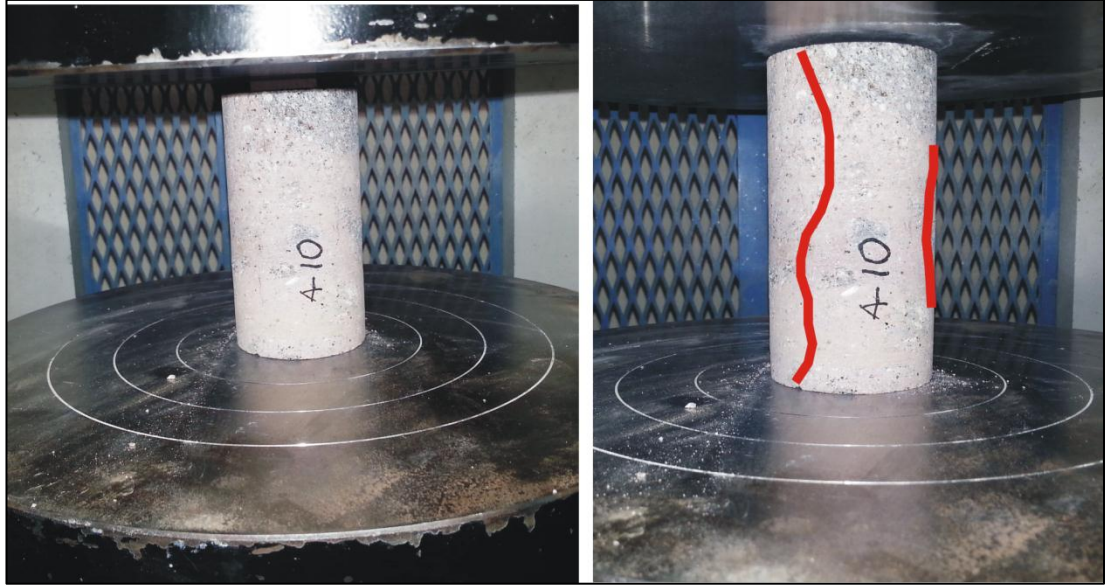
kayalarda meydana gelen kırılma tip ve şekilleri taşın litolojik özelliğine, ayrışma derecesine ve süreksizliklere bağlı olarak farklılıklar göstermiştir (Şekil 4.38 ve 4.39 ve 4.40). Orta- oldukça ayrılmış andezitler genellikle içerdikleri süreksizlik yüzeyleri boyunca kırılmalar göstermiştir.



Şekil 4.38 Riyodasit karotlarının tek eksenli basınç deneyi sonucunda kırılması.



Şekil 4.39 Taze-az ayrılmış andezitlerin tek eksenli basınç deneyi öncesi ve sonrası görünümü.



Şekil 4.40 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin tek eksenli basınç deneyi sonucunda kırılması.

Numuneler için belirlenen tek eksenli basınç dayanım değeri Tablo 4.21, 4.22 ve 4.23’de verilmiştir. Taze-az ayrıışmış andezitlerde tek eksenli basınç deneyi ortalamaları $939,10 \text{ kg/cm}^2$, orta-oldukça ayrıışmış andezitler $174,89 \text{ kg/cm}^2$ ve riyodasitler ise $256,58 \text{ kg/cm}^2$ tek eksenli basınç direnci değeri vermişlerdir. Uygulanan tek eksenli basınç direnci deneyi sonucunda elde edilen direnç değeri, Deere ve Miller (1966) sınıflamasına göre (Tablo 4.20); taze-az ayrıışmış andezitler “orta dayanımlı kaya”, orta-oldukça ayrıışmış andezitler “çok düşük dayanımlı kaya” ve riyodasitler “düşük dayanımlı kaya” sınıflamasında yer almaktadır.

Tablo 4.20 Kayaçların tek eksenli basınç dirençlerine göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1996).

<i>Kaya Sınıfı</i>	<i>Tek Eksenli Basınç Dayanım (kg/cm^2)</i>
Çok Yüksek Dayanımlı	>2000
Yüksek Dayanımlı	2000-1000
Orta Dayanımlı	1000-500
Düşük Dayanımlı	500-250
Çok Düşük Dayanımlı	< 250

Tablo 4.21 Taze-az ayrıışmış andezitlerin tek eksenli deney sonuçları

<i>Numune No</i>	<i>Boy (cm)</i>	<i>Çap (cm)</i>	<i>Alan (cm²)</i>	<i>Max Yük (F) (KN)</i>	<i>TEBD (kg/cm²)</i>
D-1	10,23	5,39	22,81	204,50	914,36
D-2	10,14	5,38	22,72	213,30	957,25
D-3	10,2	5,40	22,89	214,50	955,52
D-4	10,22	5,39	22,81	226,50	1012,72
D-5	10,18	5,38	22,72	162,40	728,82
D-6	10,18	5,38	22,72	236,80	1062,72
D-7	10,15	5,39	22,81	201,90	902,73
D-8	10,18	5,40	22,89	219,70	978,69
					X ± SD: 939,10 ± 09,29

Tablo 4.22 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerin tek eksenli deney sonuçları.

<i>Numune No</i>	<i>Boy (cm)</i>	<i>Çap (cm)</i>	<i>Alan (cm²)</i>	<i>Max Yük (F) (KN)</i>	<i>TEBD (kg/cm²)</i>
A-1	10,30	5,36	22,59	43,70	197,29
A-2	10,27	5,34	22,38	36,90	168,09
A-3	10,25	5,33	22,38	39,40	179,54
A-4	10,26	5,34	22,43	33,60	152,77
A-5	10,28	5,34	22,38	41,50	189,04
A-7	10,32	5,356	22,52	47,2	213,72
A-8	10,28	5,339	22,38	36,2	164,96
A-9	10,276	5,361	22,56	40,6	183,50
A-10	10,28	5,362	22,57	32,6	147,28
A-11	10,266	5,371	22,65	31,6	142,29
A-13	10,283	5,355	22,51	45,6	206,56
A-14	10,275	5,337	22,36	33,7	153,68
					X ± SD: 174,89 ± 10,77

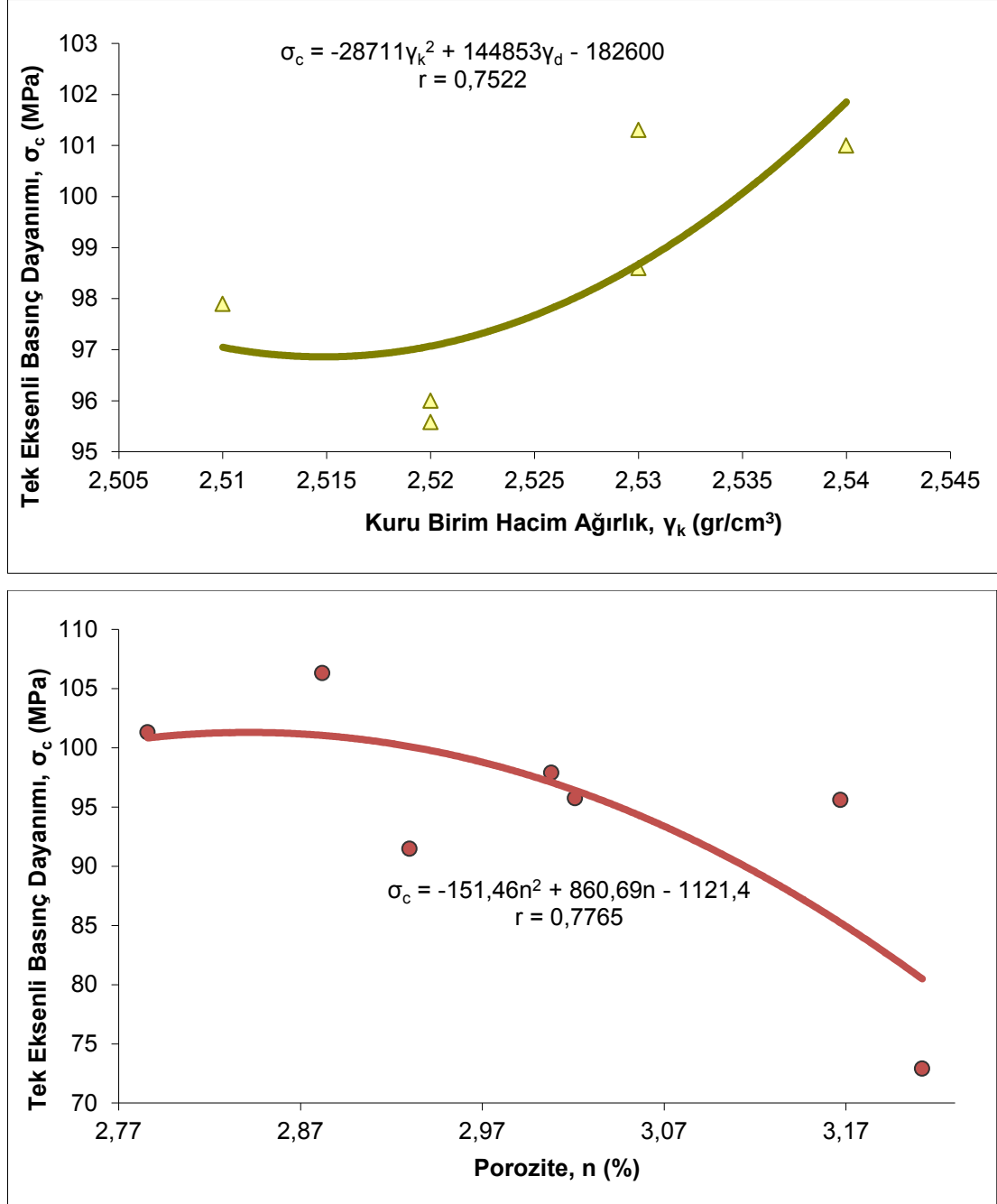
Tablo 4.23 Riyodasitlerin tek eksenli basınç dayanım sonuçları.

<i>Numune No</i>	<i>Boy (cm)</i>	<i>Çap (cm)</i>	<i>Alan (cm²)</i>	<i>Max Yük (F) (KN)</i>	<i>TEBD (kg/cm²)</i>
B-1	10,167	5,349	22,46	36,9	167,52
B-2	10,182	5,352	22,49	54,9	248,96
B-3	10,248	5,346	22,44	47,8	217,25
B-5	10,17	5,342	22,40	69,8	317,72
B-6	10,122	5,363	22,58	42,3	191,04
B-7	10,158	5,354	22,50	60,3	273,25
B-8	10,182	5,378	22,70	39,7	178,30
B-9	10,167	5,35	22,47	40,9	185,61
B-11	10,19	5,35	22,47	66,9	303,61
B-12	10,155	5,346	22,44	68,7	312,24
B-13	10,268	5,34	22,38	80,1	364,88
B-14	10,196	5,35	22,47	70,2	318,59
					X ± SD: 256,58 ± 7,34

Taze-az ayrıışmış andezitler, orta-oldukça ayrıışmış andezitler ve riyodasitlerde tek eksenli basınç dayanım değerlerinin kuru biirm hacim ağırlık ve porozite gibi, numunelerin fiziksel özellikleri ile olan ilişkilerini gösteren grafikler ve korelasyon katsayıları değerleri belirlenmiştir.

Taze-az ayrıışmış andezitlerde, tek eksenli basınç dayanımı ile kuru birim hacim ağırlığı arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0,752$ 'dir. Buna göre numunelerin tek eksenli basınç dayanımlarındaki değişimin % 75 lik bir kısmı kuru birim hacim ağırlığı ile açıklanabilir. Kayaçlarda birim hacim ağırlık değerleri arttıkça, kayaçların

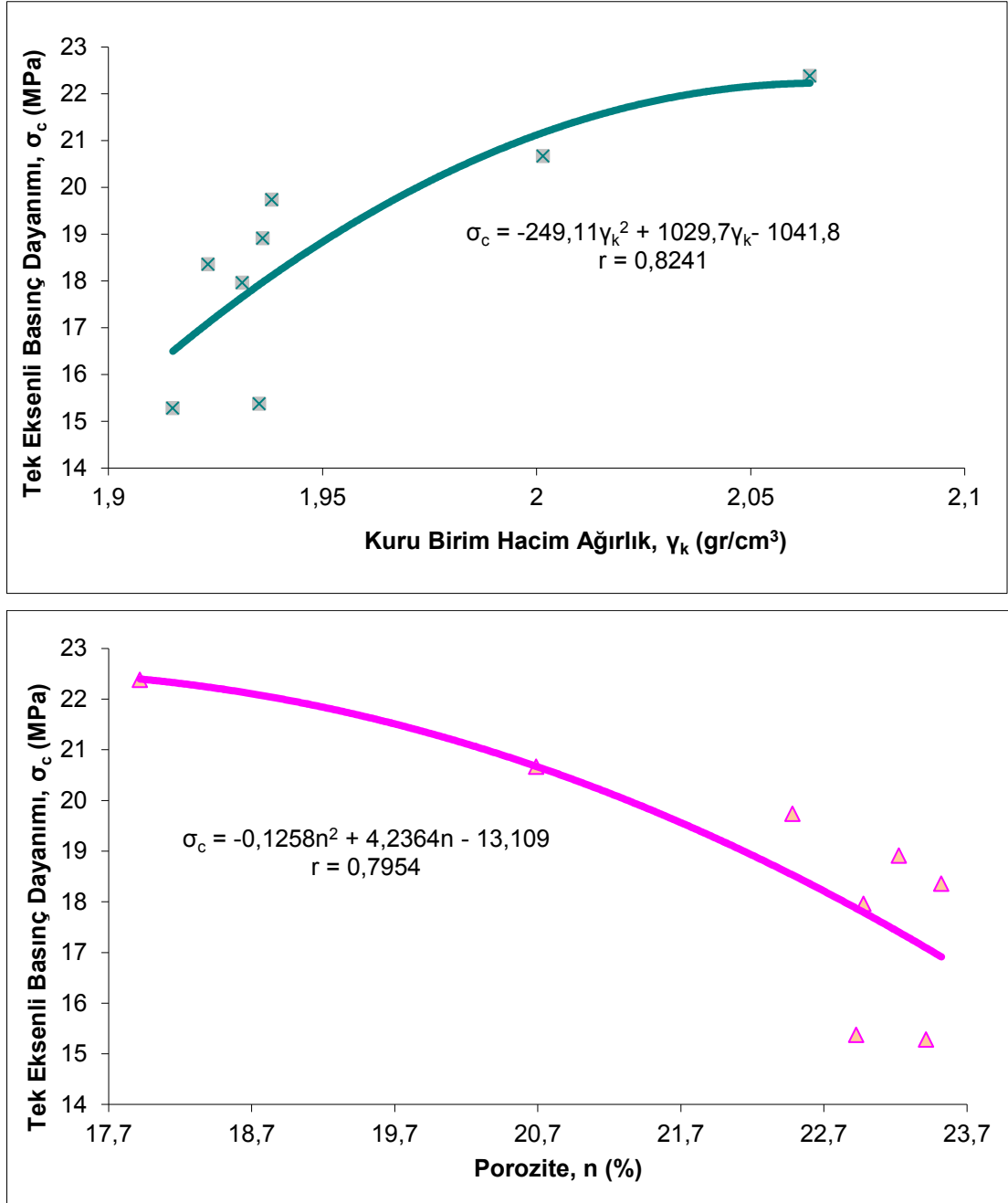
dayanımları da artmaktadır. Kuru birim hacim ağırlık-porozite arasındaki korelasyon katsayısı ise $r = 0,776$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41 Taze-az ayrıışmış andezitlerde tek eksenli basınç dayanımının fiziksel özelliklere göre değişimi.

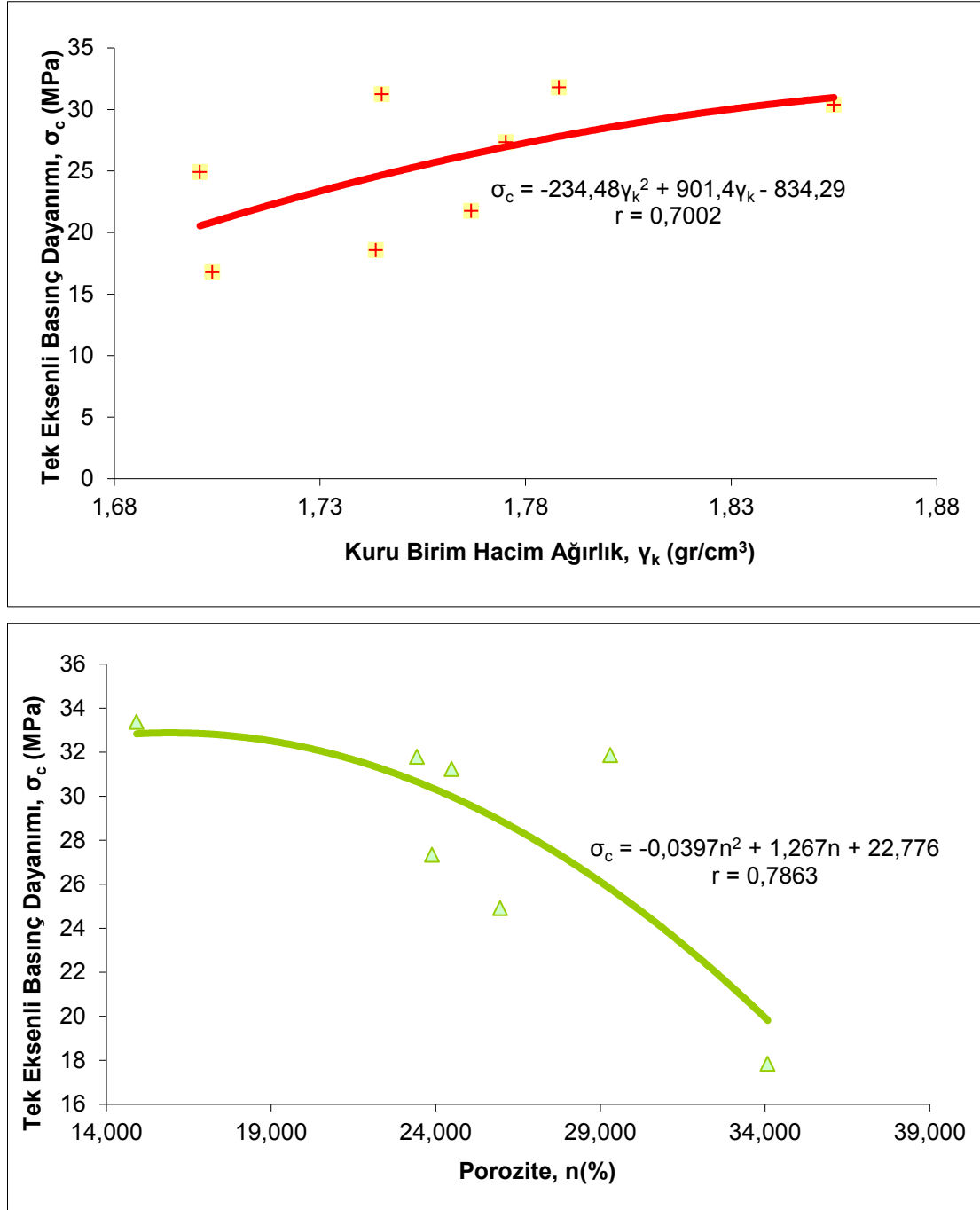
Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde, kuru birim hacim ağırlıklarının artması ile tek eksenli basınç dayanımı değerleri de artmaktadır. Deney yapılan numunelerin

sonuçları kullanılarak oluşturulan grafikte kuru birim hacim ağırlığı-tek eksenli basınç dayanımına ait korelasyon katsayısı $r = 0,824$ iken bu oran, tek eksenli basınç dayanımı-porozitede $r = 0,795$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde tek eksenli basınç dayanımının fiziksel özelliklere göre değişimi.

Riyodasitlerde, tek eksenli basınç dayanımı-kuru birim hacim ağırlıkları arasında belirlenen korelasyon katsayısı $r = 0,70$ iken, bu oran tek eksenli basınç dayanımı-porozitede $r = 0,786$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.43).



Şekil 4.43 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin tek eksenli basınç dayanımının fiziksel özelliklere göre değişimi.

Tek eksenli basınç dayanımının fiziksel özelliklere göre değişiminin belirlenmesi için hazırlanan grafiklerde, genel olarak kuru birim hacim ağırlık değeri arttıkça tek eksenli basınç dayanım değerinin arttığı, porozite oranının artması ile dayanım değerinin azaldığı gözlenmiştir.

4.3.9 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake Durability) Deneyi

Deney sonucunda, kayaçların, iki standart çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, zayıflamaya ve parçalanmaya karşı gösterdiği duraylılık belirlenir (ISRM, 1981). Suda dağılmaya karşı duraylılık değeri, özellikle zayıf veya killi kayalardaki en önemli mühendislik göstergesidir ve bu gösterge, aşınma, oksidasyon, çözünme gibi özellikler sonucunda kayada oluşacak bozulmayı tanımlar (Franklin ve Chandra, 1972).

4.3.9.1 Araç ve Gereçler

- a) Sert tabanlı, sabitleştirilmiş, uçları kapatılmış, 2 mm standart açıklığa sahip, 105 °C'e kadar sıcaklığa dayanıklı, elekli deney tamburu.
- b) Tamburun dakikada 20 devir yapmasını sağlayan motor, 10 dakikalık çevrim süresince dönme hızını $\% \pm 5$ 'lik sınırlar içinde sabit tutabilmelidir. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinin tüm deney düzeneği Şekil 4.44'de verilmiştir.
- c) 105 °C'e kadar dayanıklı fırın
- d) Örneklerin kurutulması sırasında, tamburlarda bekletilmemesi için ağırlığı bilinen kaplar,
- e) Hassas terazi (0,1 g duyarlılıkta) ve kronometre

4.3.9.2 Yöntem ve Deney Aşamaları

Çalışma alanından alınan örnekler, deney standartlarına göre (ISRM, 1981), her bir örnek ortalama 40-60 gr ağırlığında olacak şekilde hazırlanmalıdır. Hazırlanan örneklerin köşelerinin birbirine çarparak mekanik parçalanmaya neden olmaması için, köşelerin yuvarlatılmış ve küresele yakın olması gerekmektedir (Şekil 4.45).



Şekil 4.44 Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney aleti.



Şekil 4.45 Deney için hazırlanan 40-60 gr ağırlığında riyodasit örnekleri.

Deneye başlamadan önce örnekler temiz bir tambura yerleştirilerek 105 °C sıcaklıktaki fırında 24 saat süre ile kurumaya bırakılır (kuruma süresi kayacın

gözenekliliğine bağlı olarak değişebilir). Ancak birden fazla örnek üzerinde deney yapılacağından, fırındaki uzun süreli kuruma işlemi nedeni ile tamburların sürekli kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu yüzden, örneklerin fırında kurutulması işlemi için, ağırlığı bilinen kaplar kullanılmıştır (D) . Kurutma işleminden sonra, fırından çıkarılan örnekler tartılır ve deneye başlamadan önceki ağırlıkları belirlenir (A). Tamburların içine örnekler yerleştirilerek, örnekler tamburlarla birlikte suda dağılmaya karşı duraylılık test aletinin şeffaf haznesine yerleştirilir ve su ile doldurulur. Tamburlar dakikada 20 devir yapacak şekilde 10 dk süre ile döndürülür. Döndürme işleminden sonra tambur, deney aletinin haznesinden çıkarılır ve kaplarla birlikte kuruması için fırına tekrar yerleştirilir. Kuruma işleminden sonra örnek ve ağırlığı bilinen kap tartılır (B). Yapılan bu işlem ilk çevrimi simgelemektedir. Bu çalışmada döngü sayısı 5 olarak belirlenmiş ve deney 5 kez tekrarlanmıştır. Her çevrim sonucunda kurutulan numunelerin ağırlıkları tartılarak not edilmiştir. (C).

Başlangıç ve son durumda kalan numune ağırlıkları ıslak kararlılık (Id) hesaplamasını sağlar. Bu değer, ıslanma kuruma olaylarının ve aşındırma gerilmelerinin etkisiyle meydana gelen parçalanma ve zayıflamaya karşı gösterdiği direnci belirler (Vallejo, 1994). Beşinci çevrim sonunda, örneklerde görünen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$I_{d1} = \frac{B-D}{A-D} \times 100 \quad (4.11)$$

$$I_{d2} = \frac{C-D}{A-D} \times 100 \quad (4.12)$$

A: Tamburla birlikte etüve konan ve etüvden çıkan numune ağırlığı.

B: Birinci çevrim sonunda etüve konan ve etüvden çıkan numune ağırlığı.

C: İkinci çevrim sonunda etüve konan ve etüvden çıkarılan numune ağırlığı.

D: Tamburun ağırlığı.

Taze-az ayrılmış, orta-oldukça ayrılmış andezit ve riyodasitlerin beşinci çevrim sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri Tablo 4.24’de verilmiştir. Buna göre, numuneler, Gamble (1971) tarafından önerilen sınıflandırmaya (Tablo

4.25) göre; taze- az ayrıışmış andezitler ve riyodasitler “çok yüksek duraylılık” sınıfına girerken, orta-oldukça ayrıışmış andezitler “yüksek duraylılık” sınıfındadır. Tablo 4.24’de verilen hesaplama değerlerine bağılı olarak numunelerin çevrimlere göre duraylılık indeks değerleri değıışimi grafiksel olarak Şekil 4.46 ve 4.47’de verilmiştir.

Tablo 4.24 Numunelerin beş çevrim sonunda hesaplanan ıslak duraylılık indeksi değerleri.

İndeks Değerleri Örnek	Id₁	Id₂	Id₃	Id₄	Id₅
A (Orta-oldukça ayrıışmış Andezit)	98,56	97,77	97,38	96,66	96,13
B (Oldukça ayrıışmış riyodasit)	99,38	98,95	98,82	98,51	98,21
D (Taze-az ayrıışmış Andezit)	99,17	98,84	98,74	98,44	98,34

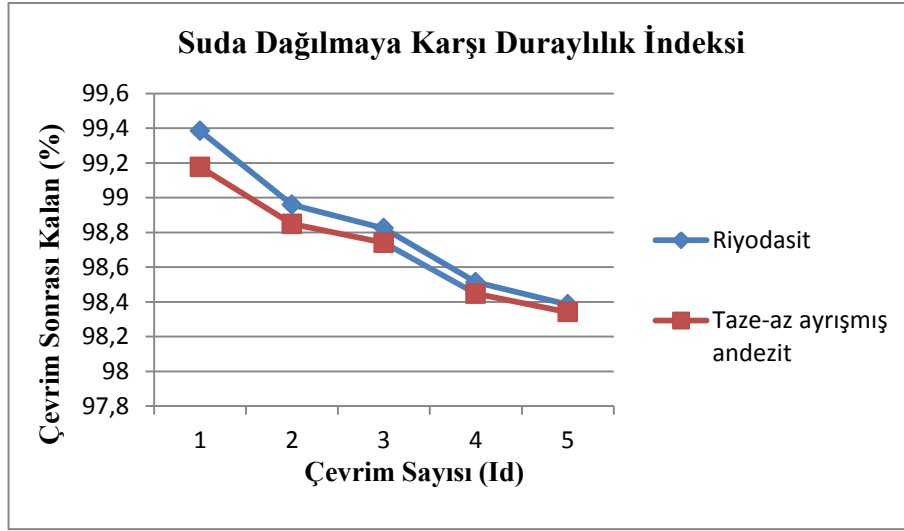
Tablo 4.25 Gamble (1971) tarafından geliştirilen ıslak duraylılıksınıflaması.

<i>On Dakikalık Bir Döngülü Deneyden Sonra % Kalan (Id₁)</i>	<i>On Dakikalık Bir Döngülü Deneyden Sonra %Kalan (Id₂)</i>	<i>Sınıflamalar</i>
>99	>98	Çok yüksek duraylı
98-99	95-98	Yüksek duraylı
95-98	85-95	Orta yüksek duraylı
85-95	60-85	Orta kararlılık
60-85	30-60	Düşük duraylı
<60	<30	Çok düşük duraylı

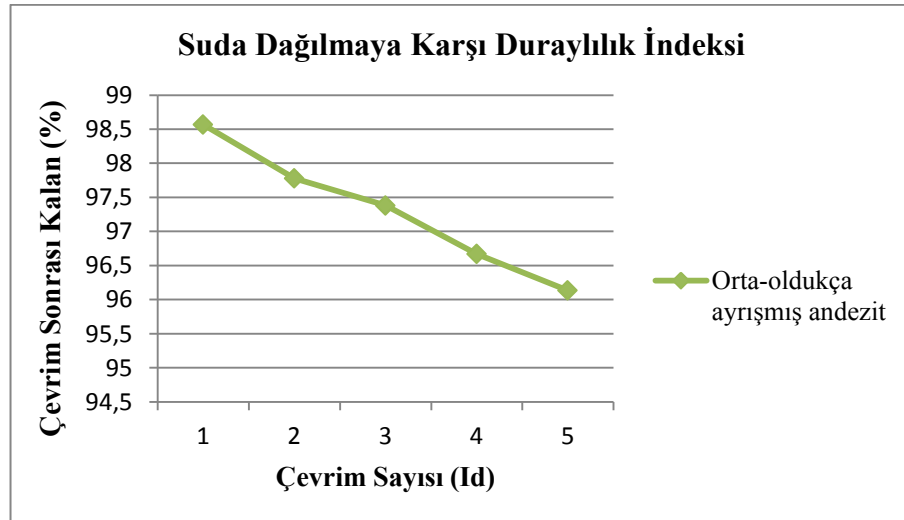
Kayaçların ıslak duraylılık indeksi değerleri şu özelliklere bağılıdır (Franklin ve Chandra,1972);

- Kayaçlardaki gözeneklilik ve geçirgenlik; deneyde kullanılan sıvının kayaç dokusuna etkisini ve kayaçtaki hareketini etkiler.

- Kayaç içerisine nüfuz eden sıvılar; yüzey enerji değişimlerine, kaya matriksinin çözünmesine veya bağların kopmasına, boşluk suyu basıncından dolayı yıkıcı kuvvetlerin oluşmasına neden olur.
- Kayaçların yıkıcı kuvvetlere karşı koyma kuvvetlerinin kapasitesi, kayaçta oluşacak zayıflamaya, şişme veya tamamıyla dağılma olayını belirtir.
- Deney sıvısının özelliği, sıcaklığı, numune sayısı ve boyutu, ıslanmaya maruz kalma süresi gibi değişkenler indeks değerlerini etkilemektedir.



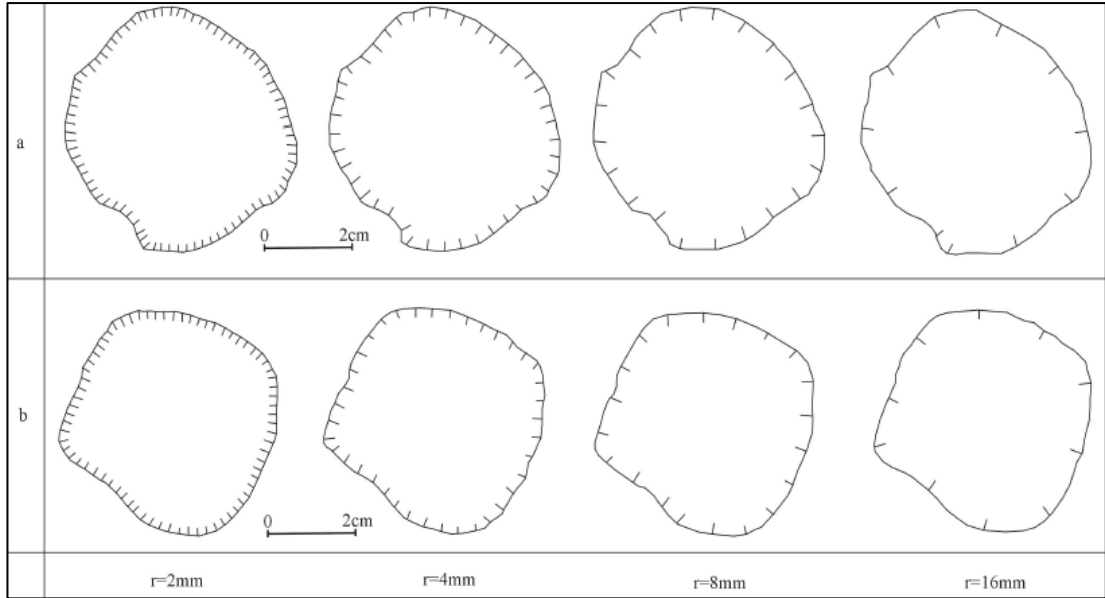
Şekil 4.46 Riyaodasit ve taze-az ayrılmış andezitlerde çevrim sayısı ve çevrim sonrası kalan malzeme.



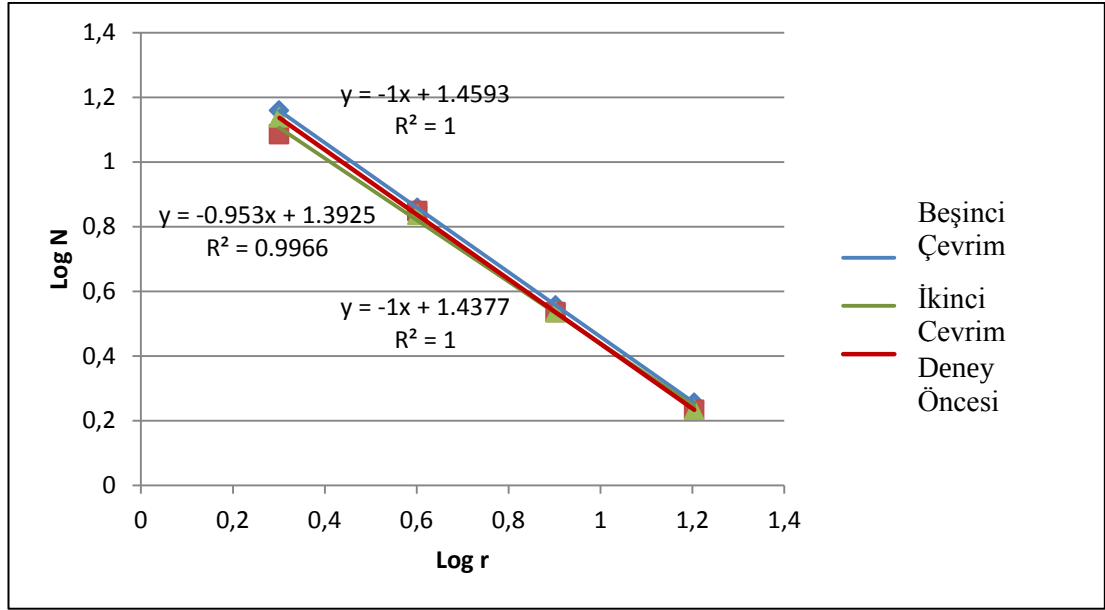
Şekil 4.47 Orta-oldukça ayrılmış andezitte çevrim sayısı ve çevrim sonunda kalan malzeme.

Döngü sayısı arttıkça, deneye tabii tutulan numunelerin tamamında, hesaplanan ıslak kararlılık indeksi değerleri azalmıştır.

Örnekler deneye tabi tutulduğunda, örneklerinin kenarları ıslanma ve kuruma işlemlerinin etkisiyle aşınmıştır. Tamburun dönmesi örnekler üzerinde aşındırma etkisi yaratır ve örneklerin kenarları küreselleşir ve düzgünleşir. Beşinci çevrimden önce ve sonra riyodasit profillerinde meydana gelen değişimler (Şekil 4.48) sonucu fraktal boyutları hesaplanmıştır (Tablo 4.26). Ve segment uzunluğu, segment sayısı arasındaki değişim grafiği Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.48 Oldukça ayrılmış riyodasitlerin suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinden önce (a) ve sonraki (b) profil değişimleri.



Şekil 4.49 Riyodasitlerde segment uzunluğu, segment sayısı ve fraktal boyut arasındaki ilişki grafiği.

Tablo 4.26. Riyodasitlerde segment uzunluğu, segment sayısı ve Fraktal boyut arasındaki ilişki.

<i>Segment uzunluğu r (mm)</i>	<i>Log r</i>	<i>Segment sayısı (N)</i>	<i>Log N</i>	<i>Fraktal Boyutu (D)</i>
<i>Deney Öncesi</i>				
2	0.301	14.3975	1.158287	1
4	0.602	7.198525	0.857244	
8	0.903	3.5992625	0.556214	
16	1.2041	1.79963125	0.255184	
<i>Deney Sonrası</i>				
<i>Id₂</i>				
2	0.301	12.17125	1.085335	1
4	0.602	7.03935	0.847533	
8	0.903	3.428125	0.535057	
16	1.2041	1.7108375	0.233209	
<i>Id₅</i>				
2	0.301	13.699	1.136689	0.953
4	0.602	6.8495	0.835659	
8	0.903	3.42475	0.534629	
16	1.2041	1.712375	0.233599	

4.4 Lazer Tarayıcı Cihaz ile Arazide Ölçülen Verilerin Değerlendirilmesi

Lazer teknolojisi alanındaki araştırmalar, 1960 yılından bu yana 40 yılı geçkin bir tarihe sahiptir. Yersel lazer tarama teknolojisinin ölçüm aracı olarak araştırma alanı haline gelmesi son 10 yılda olmuştur. Tek renklilik, iyi kolimasyon, yüksek güç, kısa atımlar veya lazer ışığının ayarlanmasının muhtemelliği gibi lazer radyasyonunun belirli niteliklerinden dolayı ölçümler için kullanılan bu teknolojinin avantajı fark edildi. Hızlı ve minimum giderle, acilen bütün obje hakkında eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama teknolojileri ile olmaktadır (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Son yıllarda lazer tarama sistemlerinin üç boyutlu modelleme çalışmalarında kullanımı hızla artmaktadır. Bu sistemde karmaşık yapıdaki objelerin modellemesi nokta kümeleri yardımı ile yapılmaktadır. Bütün nokta kümelerindeki noktalar üç boyutlu koordinatlara sahiptir. Obje yüzeylerindeki noktalar çok hızlı bir şekilde elde edilmektedir. Yersel fotogrametri bu amaç için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Yersel lazer tarama üç boyutlu obje modellemede oldukça yeni bir metottur. Yersel lazer tarama teknolojisinin bazı dezavantajları olmasına rağmen önemli avantajları da vardır. Bu avantajlar üç boyutlu noktaların doğrudan elde edilmesi, düzensiz yapıdaki objelerin tanımlanmasında oldukça etkili olması ve sonuçların kısa sürede elde edilmesi olarak sıralanabilir. Mesafe sınırlaması, görüntü maliyetinin yüksek olması ve objeye ait öz nitelik verilerinin elde edilememesi başlıca dezavantajlarıdır (Demir, 2004). Oluşturulan bu modeller üzerinden, mühendislik uygulamaları için gerekli her türlü veriye ulaşılabilmektedir. Üç boyutlu obje geometrisini, doğrudan, hızlı ve detaylı olarak yakalama lazer tarayıcıların en önemli avantajlarından.

Bir lazer tarayıcı, taranacak nesnenin yüzey verisini, üç boyutlu koordinat olarak elde etmektedir. Tarama işlemi otomatik ve sistematik olarak yapılmakta ve saniyede binlerce noktanın X,Y,Z koordinatlarına ulaşılmaktadır. Yersel lazer taramalarından elde edilen yüksek yoğunluklu noktalar kümesi, tarama süresince genellikle nokta bulutu olarak toplanır. Toplanan bu nokta bulutu, taramayla eş zamanlı olarak, tarama programında görülebilmektedir (Mills ve Barber, 2006).

Lazer tarayıcılarının tasarımları, birçok elektriksel ve mekanik parça kullanılması ve her bir parçanın toplam hataya olan etkileri nedeniyle oldukça karışıktır. Ek olarak, farklı ölçüm metotlarının kullanılması, çevreden kaynaklan sebepler, taranan obje veya nesnenin yansıma yüzeylerinin etkileri, operatörden kaynaklanan hatalar, tarama parametrelerinin yanlış belirlenmesi, doğrudan ve dolaylı jeoreferanslamadan kaynaklanan durumlar gibi vb. etkiler hata kaynaklarına yol açmaktadır (Gümüş, 2008).

Yapılan arazi çalışmaları boyunca, lazer tarayıcı ile alınan ölçümlerden bir kısmı cihazdan kaynaklanan sorunlardan dolayı sağlıklı sonuçlar verememiştir. Alınan bu ölçümlerden hatalı olanlar göz ardı edilerek, doğru sonuç verebilecek veriler üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.

4.4.1 Arazide Alınan Ölçümler Yardımıyla Deformasyonların Belirlenmesi

Belirlenen kayması muhtemel yol şevlerinde, Şubat, Mart, Haziran, Ağustos ve Kasım 2013 aylarında lazer tarayıcı cihaz yardımıyla ölçümler alınmıştır. Cihazın kurulum noktası ve referans olarak kullanılan nokta aynı olmak üzere cihaz üzerinde yapılan ayarlamalar yardımıyla 0,25 cm yatay ve düşey hassasiyetle taramalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada MDL marka Quarryman Pro tipi lazer tarayıcı cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.50).

FaceModel yazılımı yardımıyla açılan görüntüler; nokta bulutları şeklinde “.dxf” formatında kaydedilerek üç boyutlu görüntüler elde etmek amacıyla farklı yazılımlardan yararlanılmıştır.

Elde edilen görüntüler üzerinden arazi gözlemleri sonucunda kayması muhtemel bölgelerden kesitler alınmış ve bu kesitler yardımıyla yer değiştirme (kayma) olup-olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Oluşturulan üç boyutlu görüntüler üzerinden, arazi gözlemlerinde, kama tipi ve düzlemsel kayma belirlenen şev kesimlerinden kesitler alınmıştır. Şev 1, Şev 3 ve Şev 4’de gözlenen dönemsel farklılıklar sayısal olarak belirlenmiştir. Diğer şev yüzeylerinden alınan dönemsel

verilerin değerlendirilmesinde yaşanan sıkıntılardan dolayı sadece üç şev yüzeyindeki değişimler ele alınmıştır.

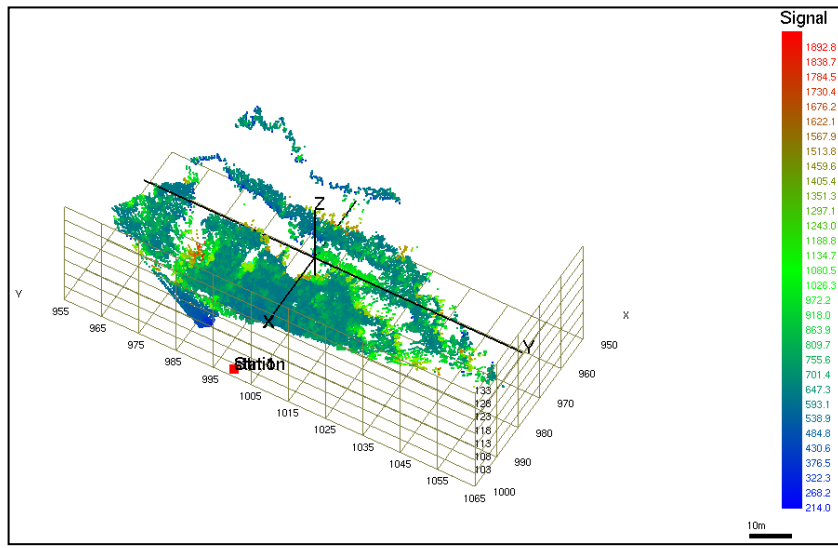


şekil 4.50 çalışmada kullanılan tarayıcı cihaz.

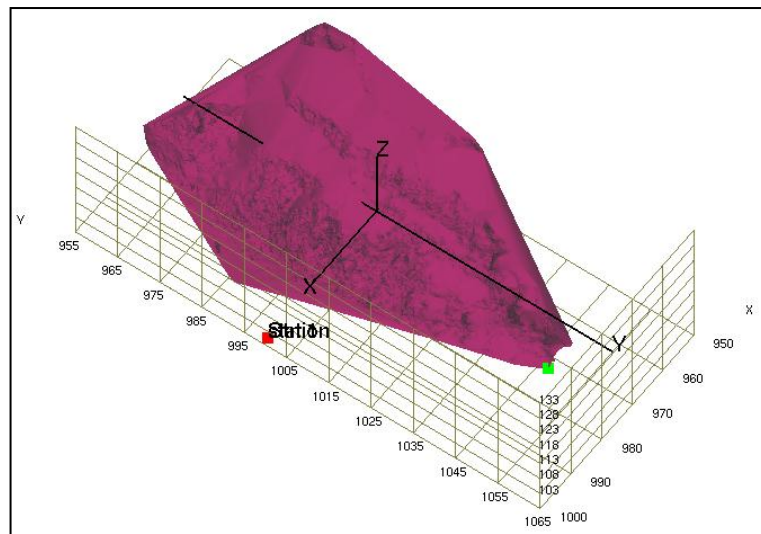
şev 1’de gözlenen düşmelerin olduğu alanlardan (şekil 4.51) alınan kesitler yardımıyla deformasyonların sayısal olarak belirlenmesi sağlanmıştır. Bunun için; nokta bulutu şeklinde taranan tüm veriler (şekil 4.52) FaceModel yazılımı ile ekrana getirilmiş ve bu noktalardan plan görünüm yardımıyla üçgenlemeler yapılarak üç boyutlu üçgenlenmiş görüntüler oluşturulmuştur (şekil 4.53). oluşturulan üçgenlemeden sonra ekranda gözlenen tüm noktaların birleştirilmiş verileri (Loops) olarak ekrana getirilmiş ve bunlar “.dxf” formatında kaydedilmiştir. Tarayıcı cihaz ile alınan veriler üzerinde, her dönem için aynı işlemler yapılmış ve tüm “.dxf” formatındaki veriler Mapinfo (v. 8.0) yazılımıyla ekrana getirilmiş ve her şev için farklı dönem verileri üst üste getirilerek çakıştırılmıştır (şekil 4.54).



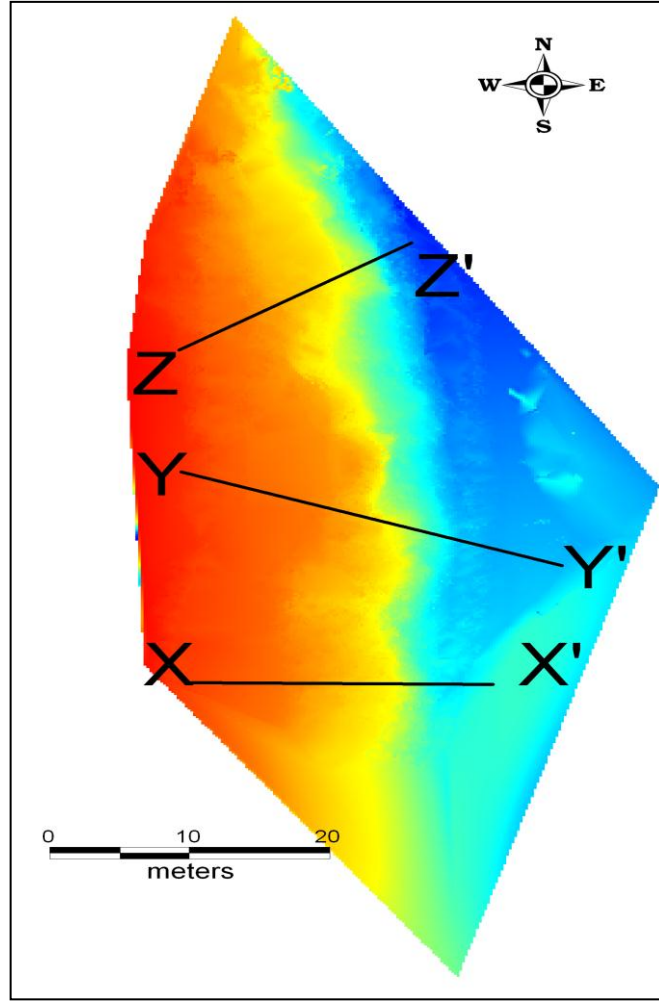
Şekil 4.51 Şev 1 yüzeyinin arazi görünümü (Koordinat: 489535/4309169).



Şekil 4.52 Lazer tarayıcı cihaz ile Şev 1 yüzeyinden Ağustos 2013’de alınan ölçümlerin 3 boyutlu ham tarama noktaları.

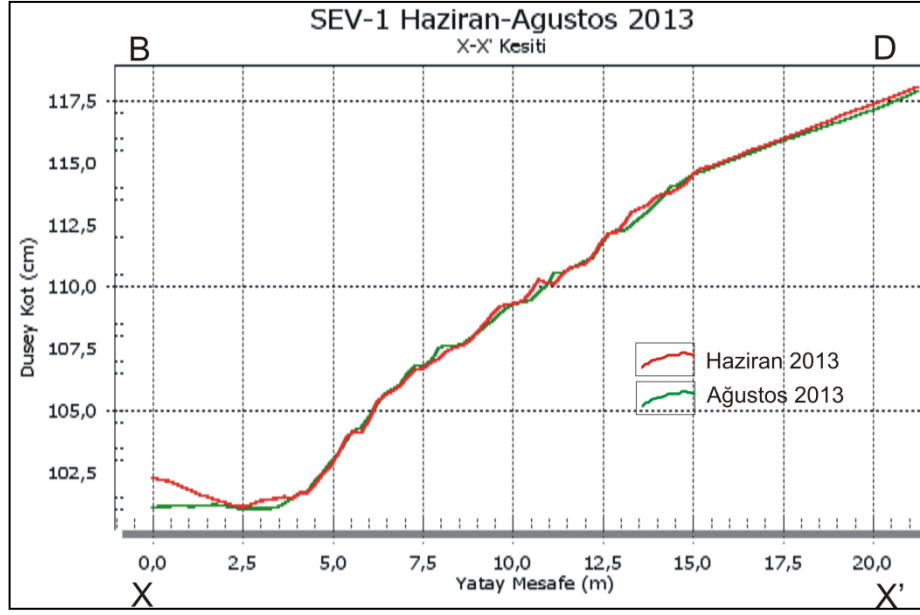


Şekil 4.53 Şev 1 yüzeyinin Ağustos ayına ait üç boyutlu üçgenlenmiş görünümü (Görünüm nokta bulutları şeklinde taranan veriler sonucu oluşturulmuştur).

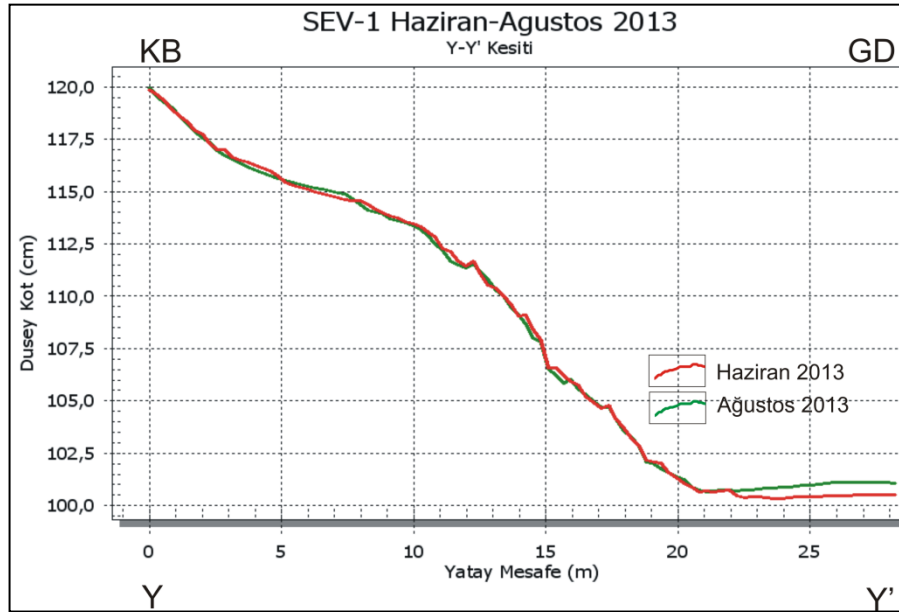


Şekil 4.54 Mapinfo (v. 8.0) yazılımıyla oluşturulan Şev 1'in sayısal arazi modeli ve yüzeyden alınan kesit hatları.

Kayma gözlenen bölgelerin yanı sıra tüm şev yüzeyi boyunca hassas kesitler (cm bazında) alınarak analizler yapılmıştır. Alınan her kesitte, varsa meydana gelen değişimler, kaymalar sayısal olarak belirlenmiştir ve elde edilen kesit grafikleri Şekil 4.55 ve 4.56'da sunulmuştur. Elde edilen tarama verilerinden Haziran ve Ağustos 2013 tarihindeki görüntüler kullanılmıştır. GD-KB uzanımlı Şev 1'in KB yamacından alınan X-X' kesiti 2 cm'lik bir kayma belirlenmiştir. Aynı şekilde Y-Y' kesitinde yine 2 cm'e yakın bir değişim gözlenmiştir. Gözlenen değişimler haziran ayı ile ağustos ayları arasındaki farklılıkları belirtmektedir. Şev üst yüzeyinde herhangi bir farklılık gözlenmemekle birlikte, oluşan yer değiştirmelerin şev alt yüzeyinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.55 Şev 1 yüzeyinden alınan X-X' kesiti.



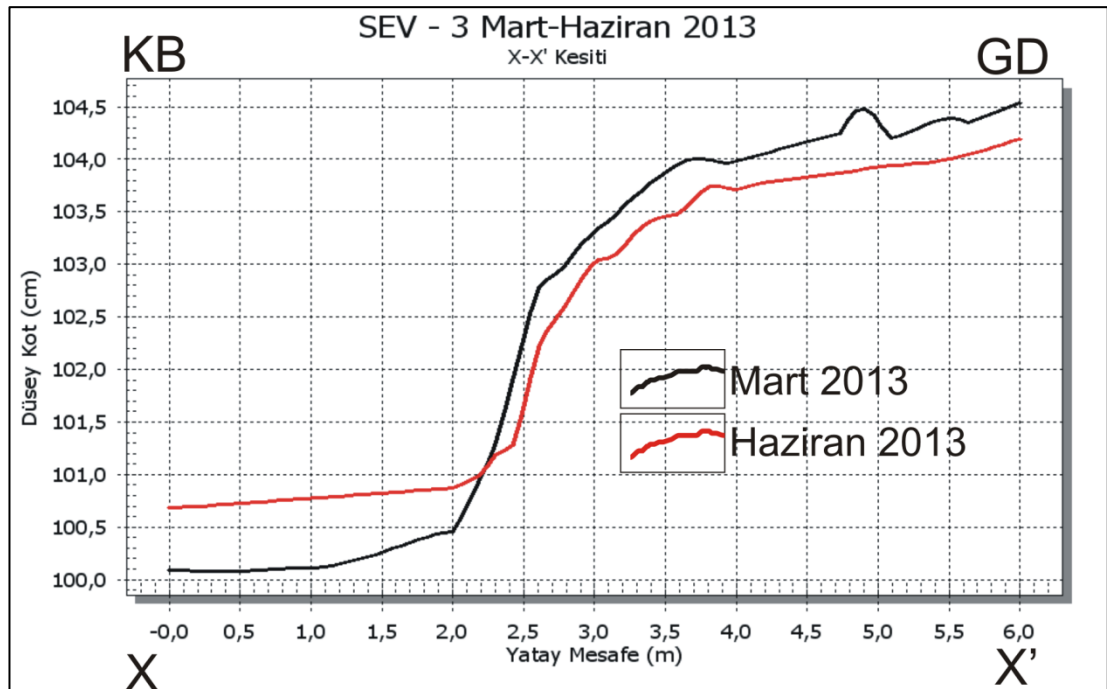
Şekil 4.56 Şev 1 yüzeyinden alınan Y-Y' kesiti.

Şev 3'de gözlenen kayma bölgelerinden (Şekil 4.57) alınan kesitler yardımıyla deformasyonlar belirlenmiştir. Nokta bulutu şeklinde alınan tüm veriler kaydedildikten sonra Mart ve Haziran 2013 dönemlerine ait deformasyon farklılıklarını ortaya koymak amacı ile kesitler alınmıştır. Şekil 4.58 ve 4.59'da verilen grafiklerin yanı sıra, tüm şev yüzeyinde Mapinfo (v. 8.0) programı ile

santimetre hassasiyette kesit hatları alınmış ve buralarda değişim olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

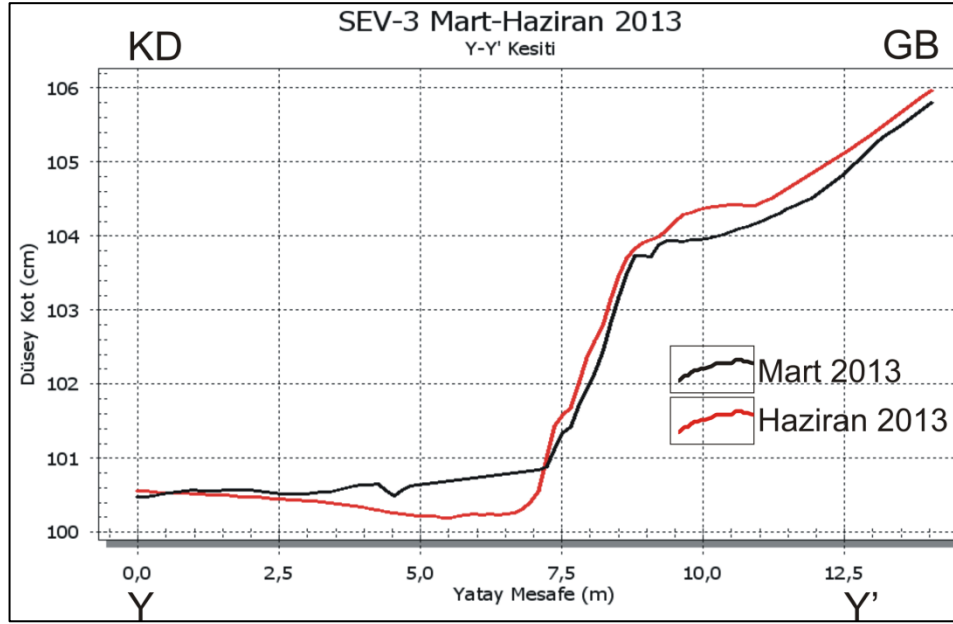


Şekil 4.57 Şev 3'te kayma gözlenen GD yamacının görünümü (Koordinat: 487926/4309765).



Şekil 4.58 Şev 3 yüzeyinden alınan X-X' kesiti.

KB-GD uzanımlı Şev 3'ün, KB yamacından alınan X-X' ve GD yamacından alınan Y-Y' kesitleri incelendiğinde, mart ayından haziran ayına kadar şevin, KB yamacında yaklaşık 4 cm'lik bir kayma olduğu belirlenmektedir. Aynı şekilde GD yamacında ise 1 cm'e yakın bir değişiklik gözlenmiştir. Kaymalar, yola doğru gerçekleşmiştir.



Şekil 4.59 Şev 3 yüzeyinden alınan Y-Y' kesiti.

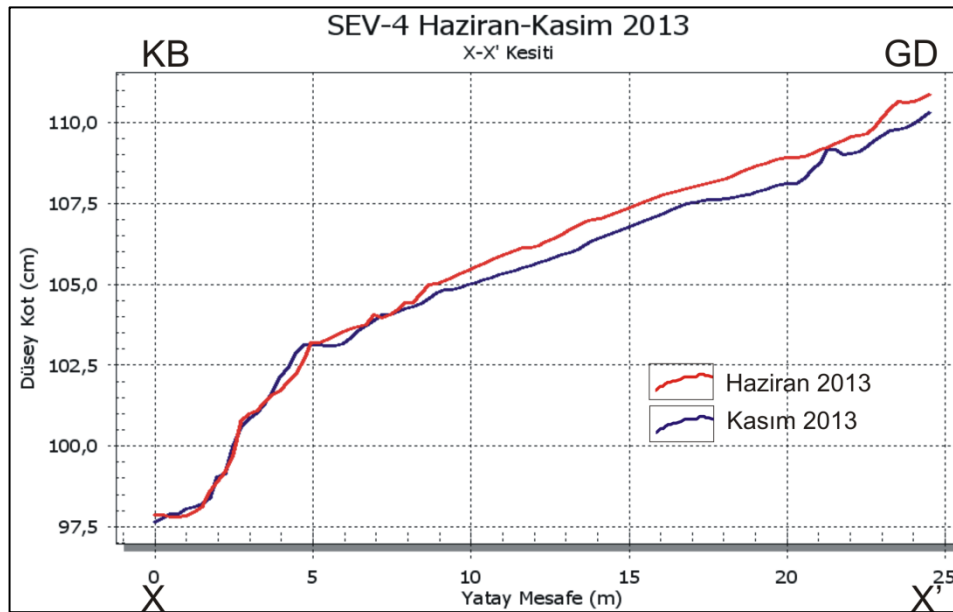
Şev 4'de kayma gözlenen alanlardan (Şekil 4.60) kesitler alınarak deformasyonlar sayısal olarak belirlenmiştir. Diğer dönemlerde olduğu gibi nokta bulutu şeklinde alınan veriler kaydedildikten sonra Haziran ve Kasım 2013 dönemlerinde birbirlerine göre deformasyonlar belirlenmesi amacıyla kesitler alınmıştır (Şekil 4.63). Alınan kesitlerin haricinde yine bu şev yüzeyinde de santimetre hassasiyetinde kesitler alınarak tüm şevde değişim olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.61 ve 4.62).

KB-GD uzanımlı Şev 4'ün, GD yamacından alınan Y-Y' ve KB yamacından alınan X-X' kesitleri incelendiğinde, haziran ayından kasım ayına kadar şevin KB yamacında 2 cm e yakın kayma gözlenirken, GD yamacında 3 cm'lik bir kayma gözlenmiştir.

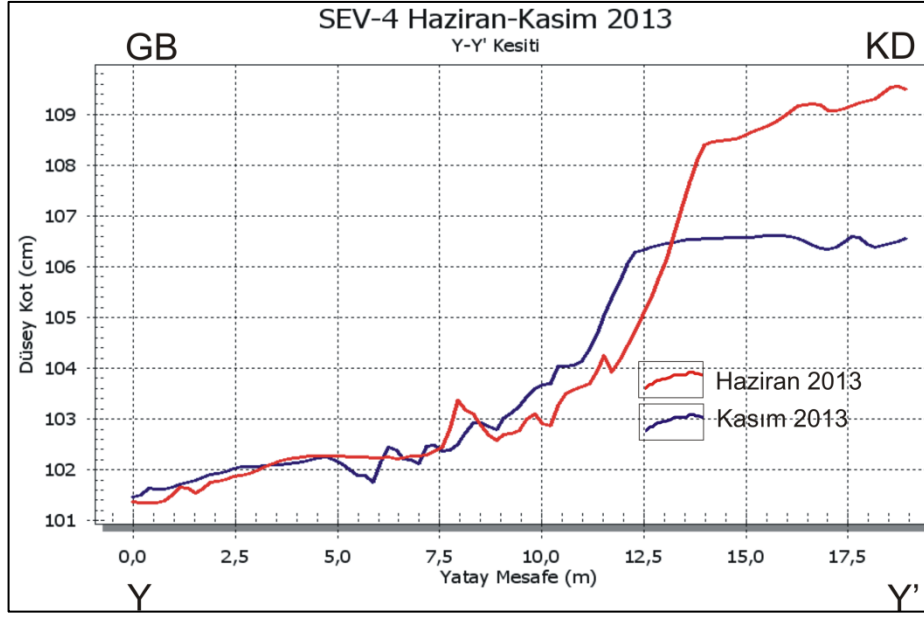
Diğer şevlerden alınan tarama verileri dönemler arasında karşılaştırma olanağı sunmadığından, çalışma kapsamında bu veriler değerlendirilememiştir.



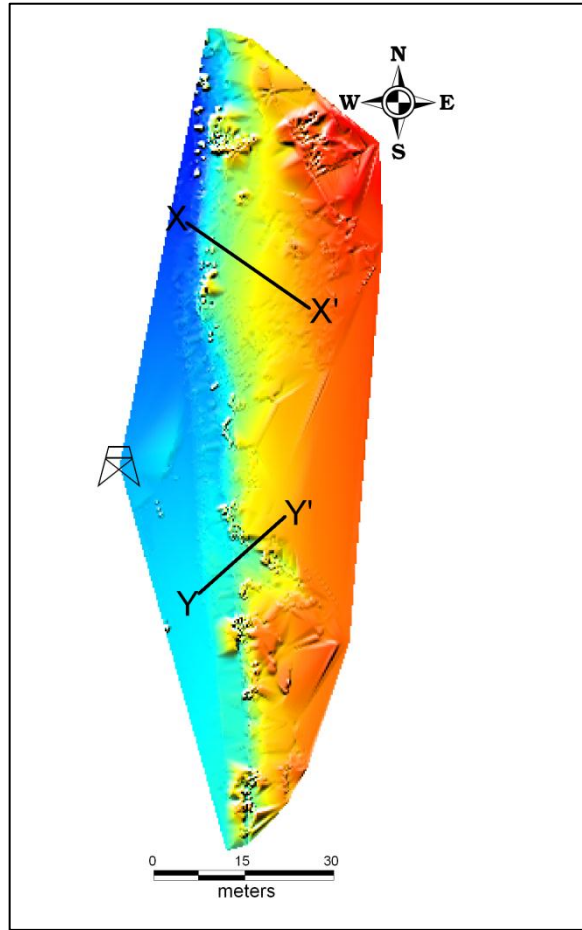
Şekil 4.60 Şev 4’de kayma gözlenen GD yamacının görünümü (Koordinat: 487322/4310102).



Şekil 4.61 Şev 4 yüzeyinden alınan X-X' kesiti.



Şekil 4.62 Şev 4 yüzeyinden alınan Y-Y' kesiti.



Şekil 4.63 Mapinfo (v. 8.0) yazılımıyla oluşturulan Şev 4'ün sayısal arazi modeli ve yüzeyden alınan kesit hatları.

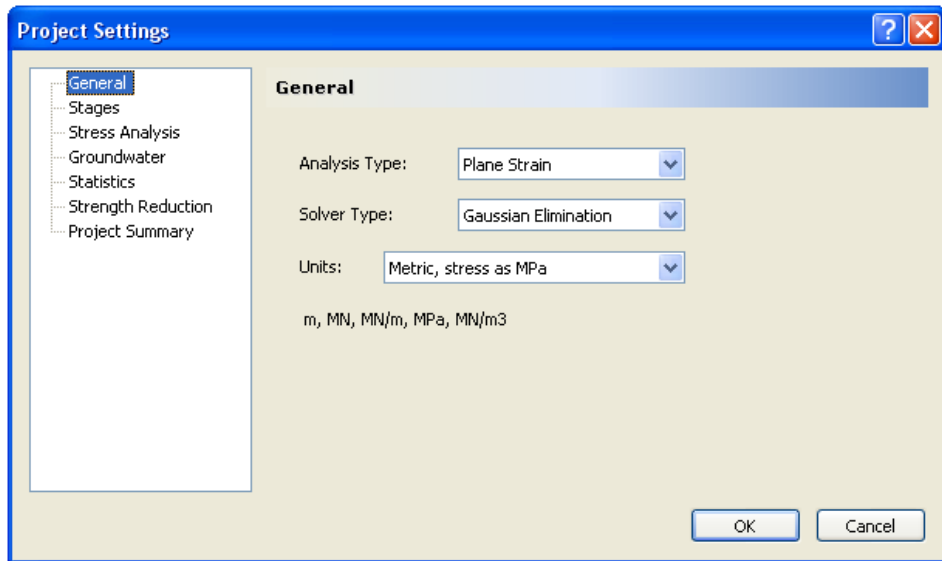
4.5 Şev Stabilitesi Analiz Çalışmaları

Çalışma kapsamında, şev stabilite analiz çalışmalarında sıkça kullanılan programlardan biri olan Phase² (v. 8.0) yazılımı kullanılmıştır. Program, yüzeydeki kaya kazılarının (şev, temel vb.) ve toprak yeraltı açıklıklarının (galeri, tünel vb.) gerilme, deformasyon ve duraylılık çözümlerinde kullanılan analiz programıdır.

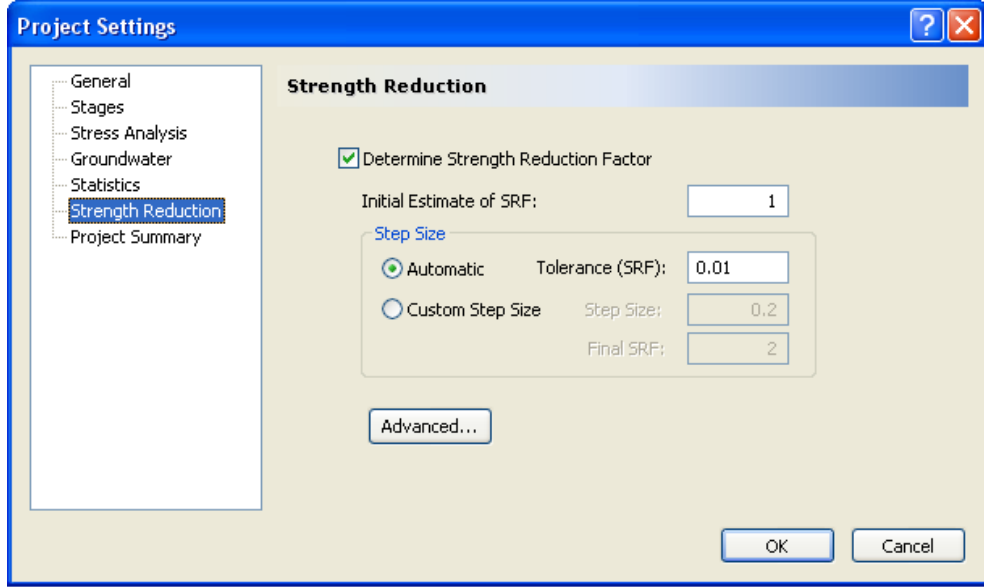
Orta-oldukça ve oldukça-tamamen ayrılmış andezit ve andezit lavından oluşan Şev 1; Şev 3'ün az–orta derecede ayrılmış ve oldukça ayrılmış bölümlerinden; Şev 6'dan ise orta-oldukça ayrılmış bölgelerinden kesitler alınarak şevlere ait güvenlik katsayıları belirlenmiştir.

Milimetrik kağıt üzerine belirli ölçeklerle alınan ve şev geometrilerini yansıtan kesitler, Phase² yazılımına aktarılmıştır. Belirli geometrilere sahip her şev, içerdiği süreksizliklerin ortalama konumlarına göre kendi içinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Rockscience paket programı içinde yer alan Phase² çalıştırılır. Program çalıştıktan sonra araç çubuğunda yer alan “Analysis; Project Setings” seçilir ve açılan pencerede yer alan proje ortamı ile ilgili veriler burada tanımlanır. Burada ortam ile ilgili seçilen tüm komutlar modelin tamamında ortam olarak kullanılır (Şekil 4.64 ve 4.65).

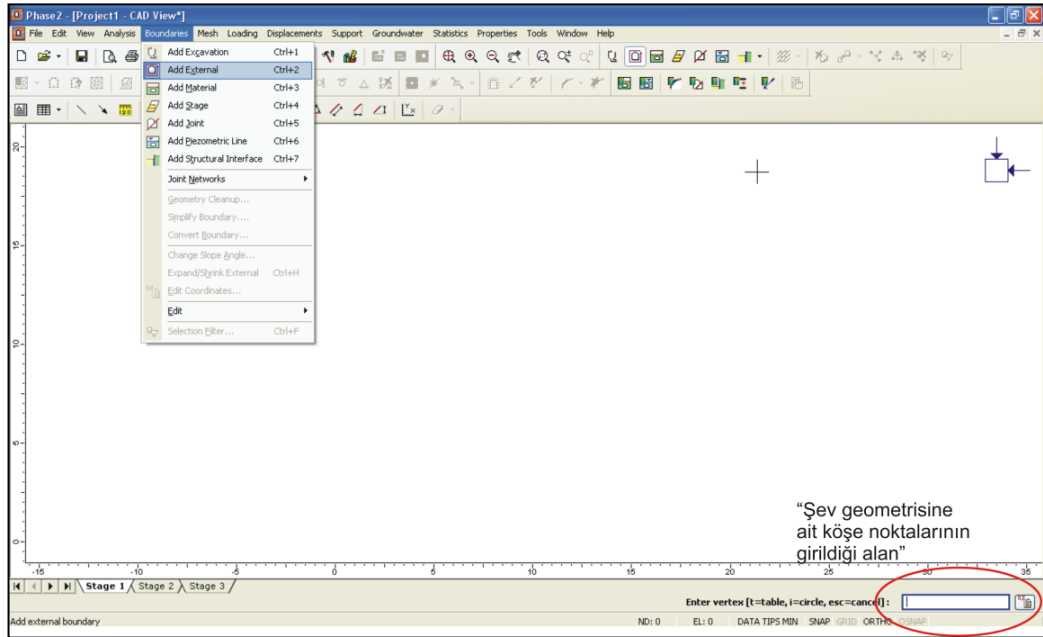


Şekil 4.64 Programda proje ortamına ait verilerin belirlenmesi



Şekil 4.65 Analiz sonunda hesaplanacak SRF değeri için yaklaşma katsayısı belirleme.

Proje ortamı tanımlandıktan sonra alınan kesitlerle oluşturulan şev geometrileri ölçülü olarak programa aktarılır. Bunun için; araç çubuğundaki “Boundaries; Add External” komutları seçilerek şev geometrisi belirlenir. Şev geometrisine ait koordinatlar, ekranın sağ alt köşesinde yer alan “Enter Vertex” kısmına tek tek girilmelidir. Her köşeye ait koordinat bilgisi girildikten sonra klavyeden enter tuşuna basarak bir sonraki köşe koordinatı girilebilir (Şekil 4.66).



Şekil 4.66 Şev geometri sınırlarının (x ve y koordinatlarının) programa girilmesi.

Her bir model için girilen köşe koordinatları (dış sınırlar) tanımlanır. Oldukça ayrılmış andezit ve andezit lavından oluşan Şev1'den alınan kesitin oluşturduğu geometri sağ alttaki kutuya girilerek oluşturulur. Girilen köşe koordinatları;

Enter vertex: 0,0

Enter vertex: 150,0

Enter vertex: 130,10

Enter vertex: 115,10

Enter vertex: 90,26

Enter vertex: 80,26.4

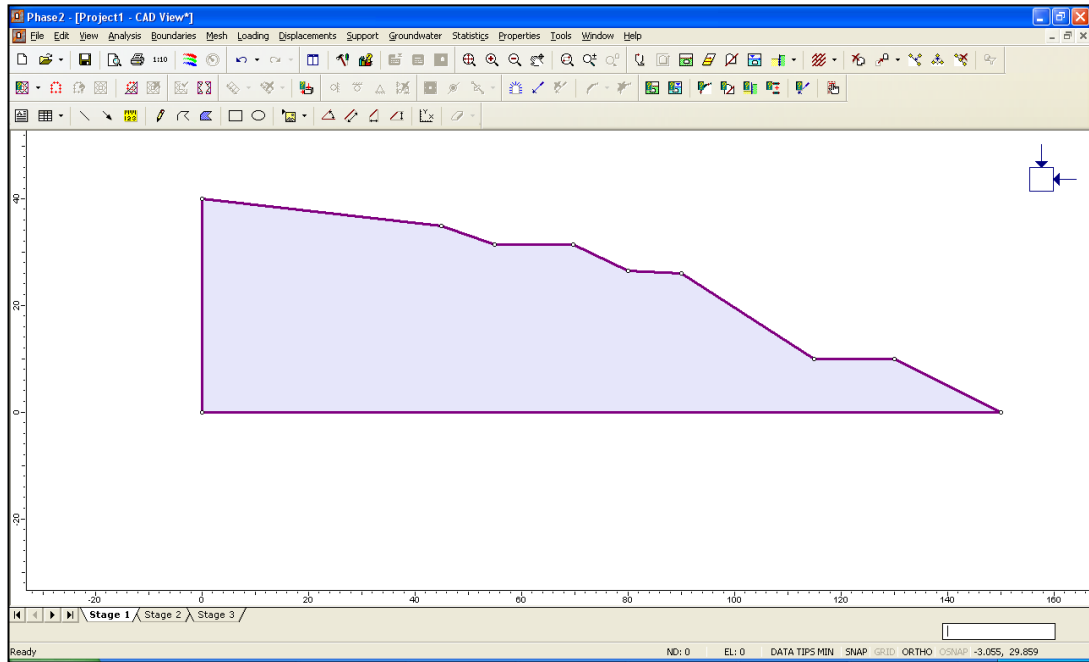
Enter vertex: 69.8,31.4

Enter vertex: 55,31.4

Enter vertex: 45,34.8

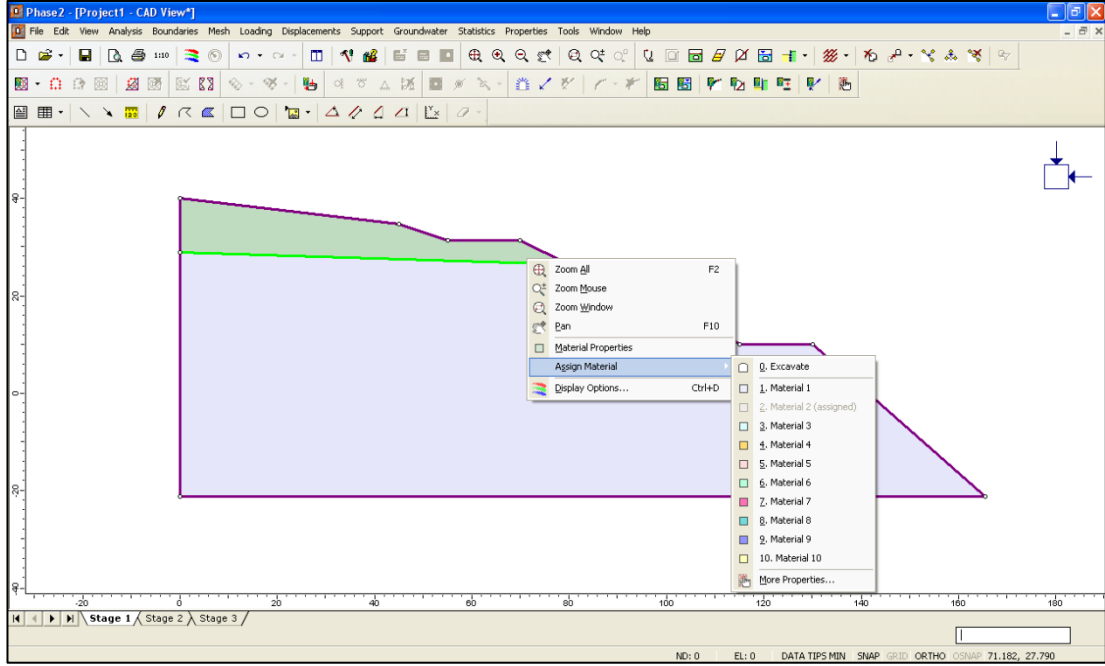
Enter vertex: 0,40

Enter vertex: 0,0 köşe koordinatları girilerek şeve ait basamaklı yapı da ortaya çıkarılır (Şekil 4.67).



Şekil 4.67 Şev 1'e ait oluşturulan model görünümü.

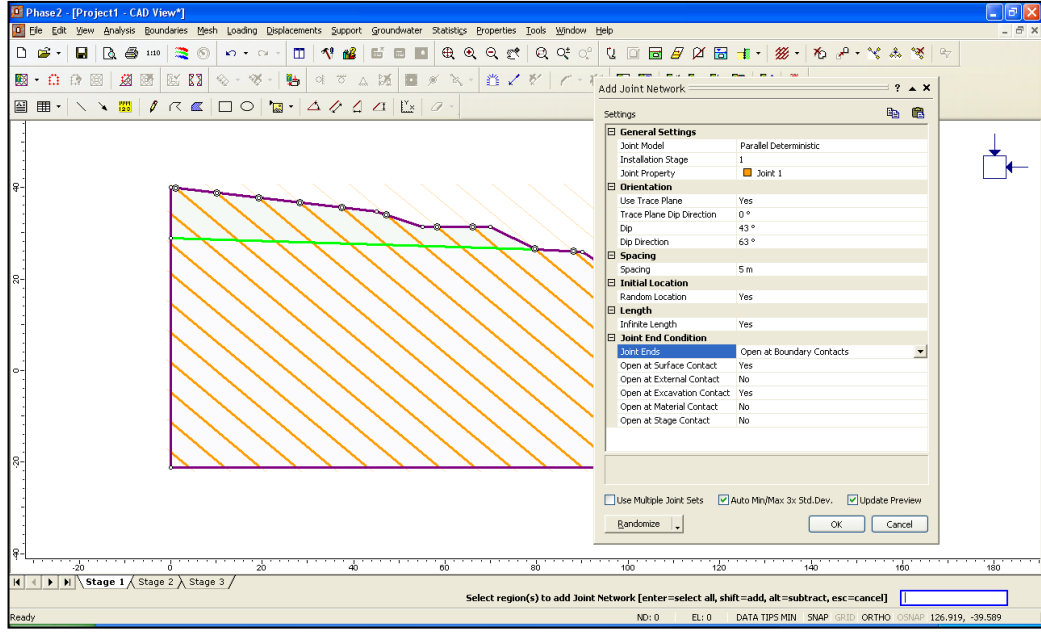
Daha sonra şevin üst kısmında yer alan ikinci birim olan andezit lavı için dış sınırlar; “Boundaries; Add Material” sekmesinden dış sınırları kapalı bir alan oluşturulur. Oluşturulan kapalı alanın tanımlanması ve işlemi bitirmek için mouse’un sağ tuşu ile tıklanır ve “Assign Material” denir (Şekil 4.68).



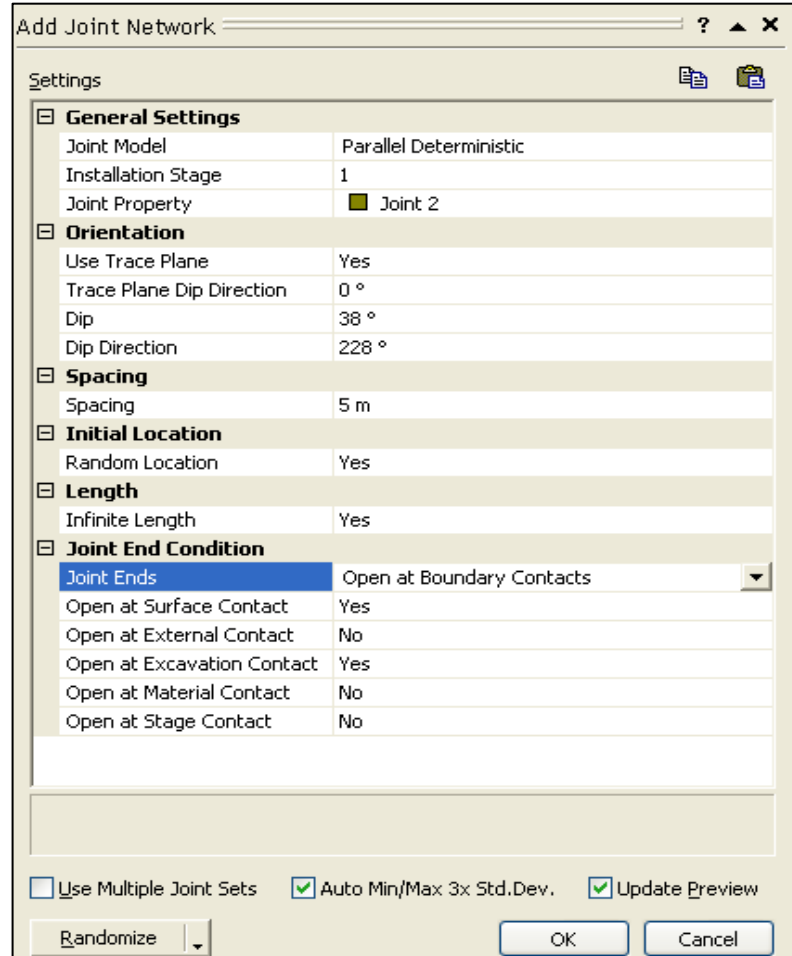
Şekil 4.68 Belirlenen ikinci birimin tanımlanması.

Arazi çalışmaları sırasında birimlerin içerdiği süreksizlik konumları ölçülmüş ve bu süreksizliklerin ortalama konumları alınarak kesit üzerine aktarılmıştır. Bu işlem, araç çubuğundan, Boundaries; Joint Networks; Add Joint Network” diyerek tanımlanır. Bu komut seçildikten sonra açılan, oluşturulan şev geometrisinin içine tıklanır ve “Done” komutu seçilir.

Açılan pencereye çalışma da kullanılacak süreksizlik konumları ve aralıkları girilebilir. Pencerede “orientation; use trace plane” diyerek süreksizlik konumları eğimyünü/eğim açısı şeklinde girilir. Alanda şevin üst yüzeyinde süreksizlik uçları açık olacağından; “Joint end condition” seçeneğinden “Open at Boundary Contact” seçeneği seçilir (Şekil 4.69 ve 4.70).



Şekil 4.69 Kullanılan birinci süreksizlik takımının konumlarının girilmesi.

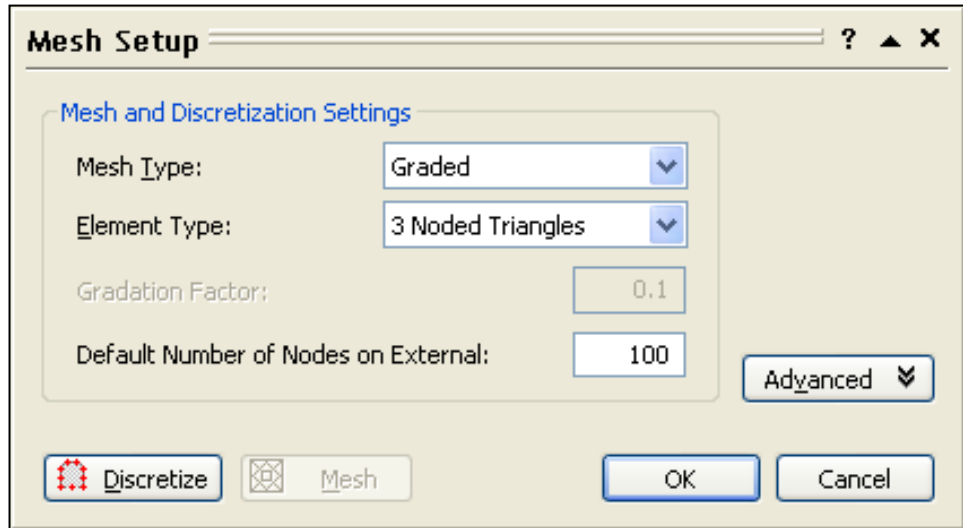


Şekil 4.70 Süreksizlik takımlarının konumlarının girilmesi için açılan pencere.

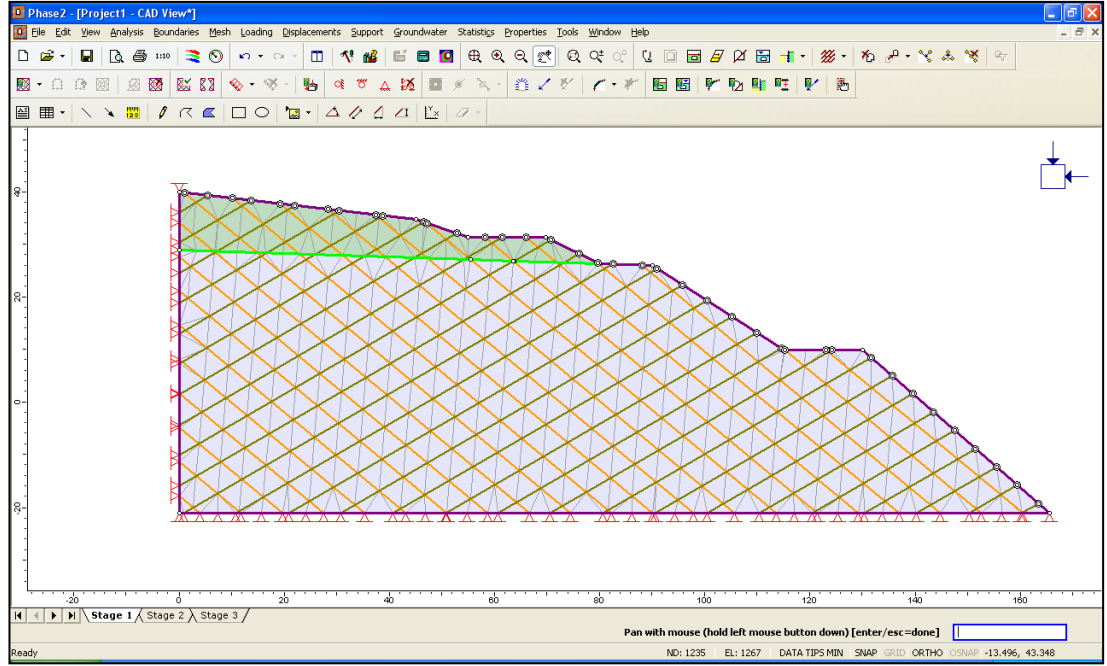
Modeli oluşturulan ve süreksizlik konumları girilen şev geometrisi üzerinde sonlu eleman ağları oluşturulur. Bu işlem yapıldığında, program önce sınırları ayrıştırarak ağların örüleceği noktalar belirler ve sınırlar ayrıştırılır. Noktalar belirlendikten sonra bu noktalardan ağ kurumu yapılır.

Yapılacak işlem için araç çubuğundan “Mesh; Mesh Setup” komutu seçilir. Bu komuttan ağın şekli ve büyüklüğü tanımlanır. Tanımlama işleminden sonra “Discretize (ayrıştır) ve Mesh (ağ ör)” butonları tıklanarak sonlu eleman ağı oluşturulmuş olur (Şekil 4.71).

Ağ oluşturulduktan sonra, model üzerinde deformasyon gözlenmek istenen yüzeylerin üzerinden ağlar kaldırılır. Böylelikle hangi kısımlarda harekete izin verileceği saptanır. Kaldırılmak istenen yüzey üzerindeki ağa sağ tıklayıp “Free Restaint (düğüm noktalarının hareketine izin verme” seçeneği seçilir. Ve yüzeyde oluşturulan ağlar belirlenir (Şekil 4.72). Oluşturulan tüm şev geometrilerinin üst kısımları serbest bırakılarak bu bölgelerde harekete izin verilmiştir.



Şekil 4.71 Sonlu eleman ağı oluşturma penceresi.

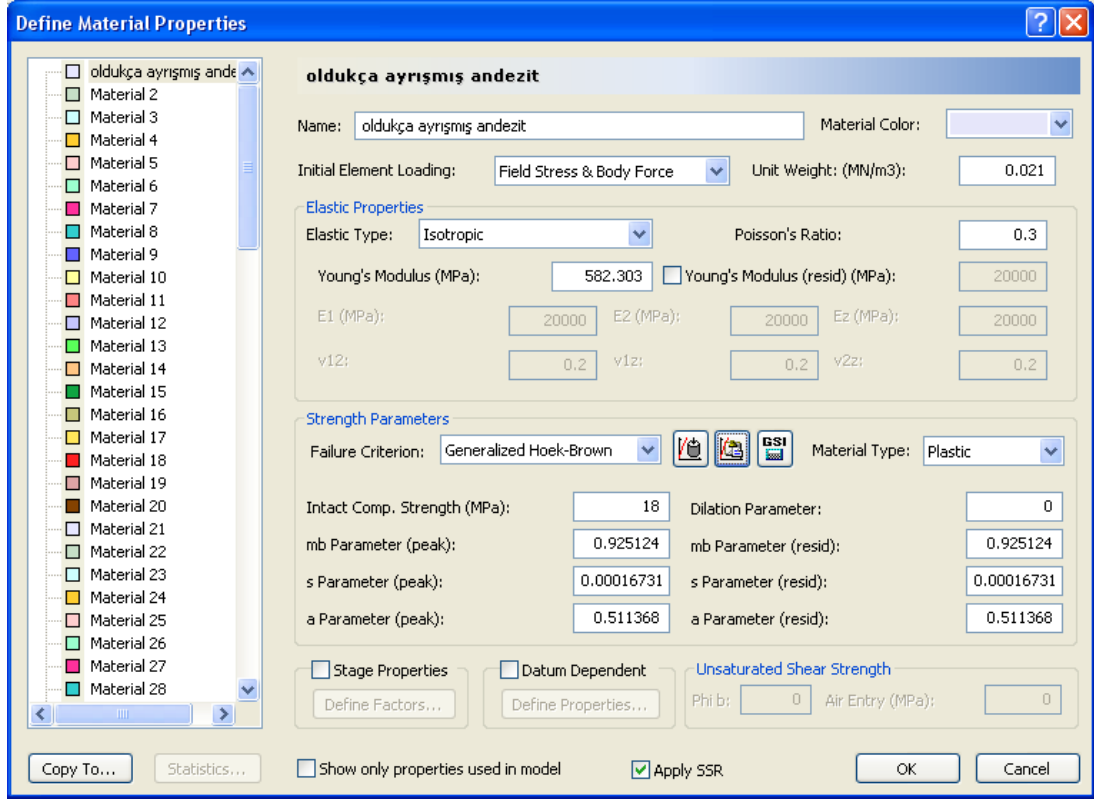


Şekil 4.72 Şev yüzeyinde oluşturulan ağların görünümü.

Yapılan bu işlemlerden sonra kütle/materyal özelliklerinin programa tanıtılması gerekmektedir. Araç çubuğundan “Properties; Define Materials” komutu seçilir ve açılan pencereye materyal şevde yer alan oldukça ayrıışmış andezitin özellikleri girilir.

Birim hacim ağırlık ve tek eksenli basınç direnci değerleri için laboratuarda yapılan deney sonuçları dikkate alınırken, diğer değerlerin belirlenmesi için Rockdata/Rocklab paket programından yararlanılmıştır (Şekil 4.73).

Çalışma kapsamında laboratuarda yapılan kesme kutusu deneyi sonucunda elde edilen kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (Φ) değerleri kullanılmamış, bu değerler Genelleştirilmiş Hoek-Brown Yenilme kriterine göre program aracılığı ile hesaplatılmıştır.



Şekil 4.73 Oldukça ayrışmış andezit biriminin materyal özelliklerinin tanıtıldığı pencere.

Şev 1’de kullanılan materyal özellikleri (oldukça ayrışmış andezit) (laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler);

TEBD 18 MPa

Doygun birim hacim ağırlık (γ_d) 0,021 MN/m³

Çalışmada kütle tipi kalıcı deformasyon beklendiğinden “plastik” olarak seçilmiştir. Analizde, Genelleştirilmiş Hoek-Brown Yenilme Ölçütünden yararlanılmıştır. Bu ölçüte göre kayanın, Tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}), Jeolojik dayanım indeksi (GSI), boyutsuz malzeme sabiti m_i ve örselenme faktörü (D) özellikleri belirlenmelidir. Çalışma boyunca değerlendirilecek tüm şevlerde, kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özellikleri Genelleştirilmiş Hoek –Brown Yenilme Ölçütü esasına dayalı olarak yapılmıştır ve bu özelliklere ait sayısal değerler RocData yardımıyla belirlenmiştir. Marinos ve Hoek (2001) tarafından tanımlanan kristal yapısı ve tanesellik durumuna bağlı olarak GSI değeri değişmektedir. Kayacın

özellikleri dikkate alınarak GSI puanlamasına 40 değeri verilmiştir (Şekil 4.74). GSI değeri belirlendiğinde, kaya kütle dayanım karakteristiklerini tanımlayan parametreler de (kaya kütle sabitleri, m_b ve s) RocData programı ile hesaplanmıştır (Şekil 4.75). “m” sabiti; kaya türüne, kayayı oluşturan tanelerin büyüklüğüne, geometrisine ve kenetlenme derecesine bağlı olarak değişir (Ulusay ve Sönmez, 2007) .

Pick GSI Value

Rock Type:

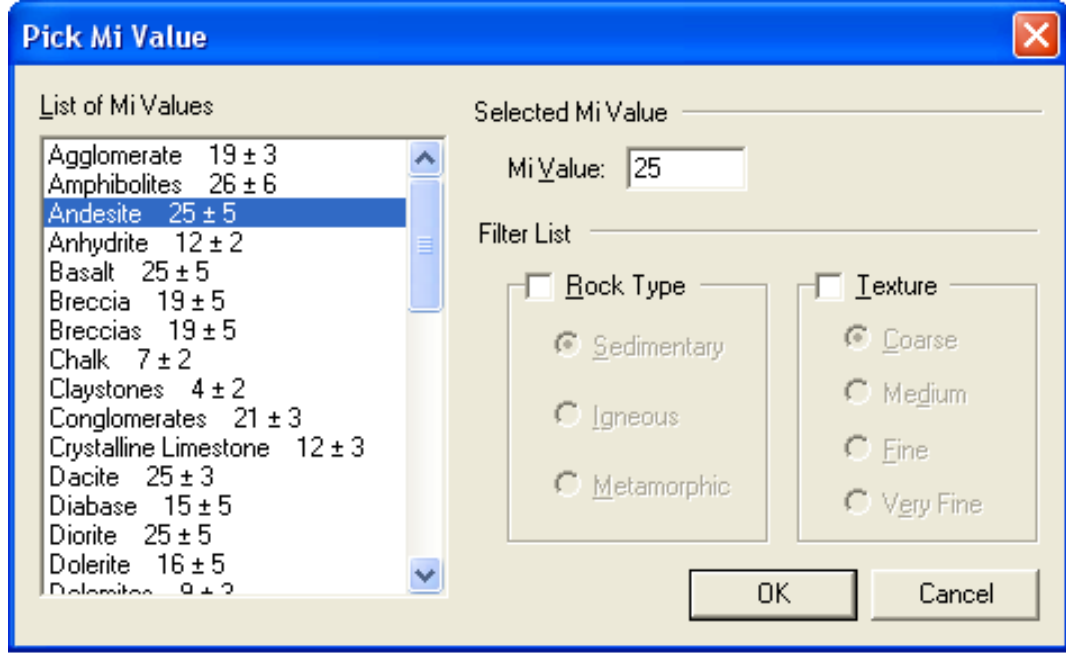
GSI Selection:

		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80		N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		70	60		
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets			50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					10
		N/A	N/A			

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓

Şekil 4.74 Sağlam ve masif kaya kütlesi ile foliasyonlu-laminalı-makaslanmış kayaları da içerecek şekilde düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi (Hoek, 1999)

“D” faktörü patlatma hasarı ve kazı sırasında gelişen gerilme boşalmasına maruz kalan kaya kütlelerinin örselenme derecesine bağlı faktördür (Ulusay ve Sönmez, 2007). Çalışmada şevler mekanik olarak (dozerlerle) açılmıştır bu nedenle şevin maruz kalacağı örselenme derecesi daha düşük olduğundan $D=0,7$ olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.76).

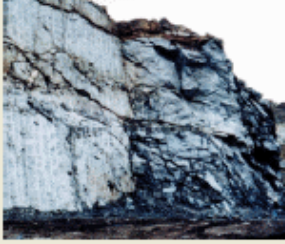


Şekil 4.75 Kaya kütle parametresinin belirlenmesi için açılan pencere görünümü.

Belirlenen kütle özelliklerine bağlı olarak Erm (kütlenin elastisite modülü) hesaplanır. Ayrıca tüm seçilen özelliklere bağlı olarak birime ait içsel sürtünme açısı (Φ) ve kohezyon (c) değerleri program yardımıyla hesaplanılmıştır. RocData ile belirlenen tüm faktörler “Copy Data” butonuna tıklanarak kaydedilir (Şekil 4.77).

Disturbance Factor D

Application: ☐ Tunnels ☒ Slopes




Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.

Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal.

In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.

D=0.7
Good Blasting

D=1.0
Poor Blasting

D=1.0
Production Blasting

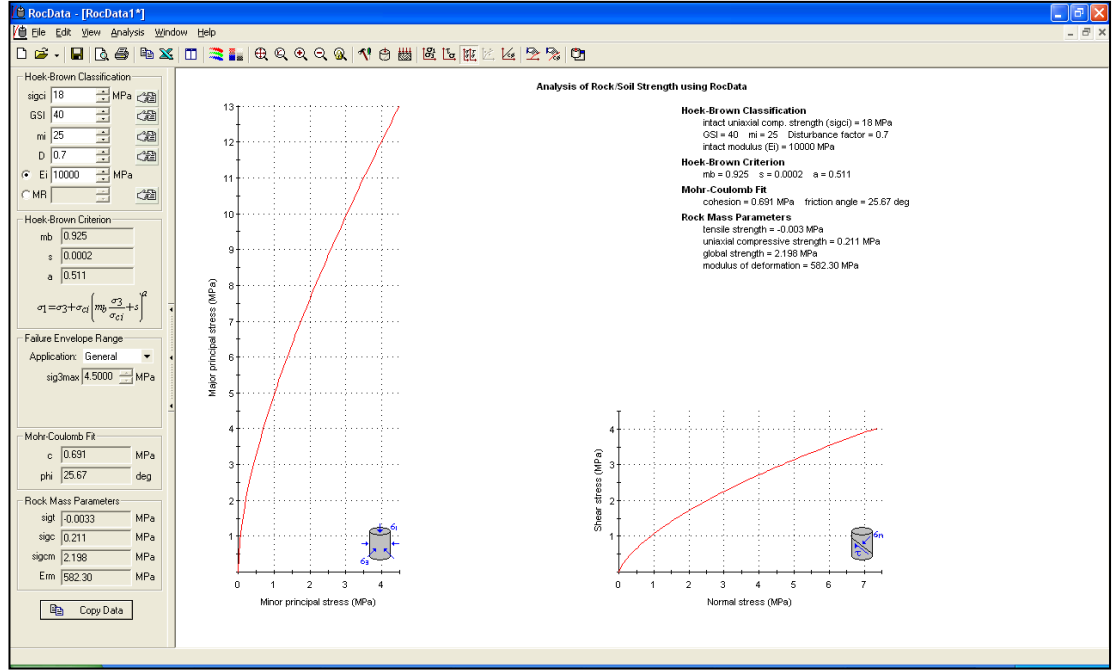
D=0.7
Mechanical Excavation

NOTE: The Disturbance Factor D should NOT be applied to the entire rock mass. In civil engineering slopes, blast damage is typically restricted to the first few meters of rock. In mining slopes, the damage may extend further depending upon the size of the production blast.

Disturbance Factor:

Şekil 4.76 “D” örselenme faktörünün belirlenmesi.

Kaydedilen bu verilerin Phase² ya aktarılması için “verileri RocData’dan taşı butonuna tıklanmalıdır. Böylelikle şev yüzeyindeki kütleye ait veriler programa aktarılmış olur. Şevi oluşturan oldukça ayrışmış andezit için yapılan kütle özelliği belirleme işlemleri, diğer kütle olan andezit lavı için de yapılmıştır. Böylece şev yüzeyindeki tüm birimlerin özellikleri tanımlanmış olur.



Şekil 4.77 RocData programı ile verilerin belirlenmesi ve kaydedilmesi.

Çalışmada tüm şevler suya doygun olarak kabul edilmiş (en kötü durum olarak düşünülmüş) ve buna bağlı olarak ortamdaki yer altı su durumu modele işlenir. Araç çubuğundan “Boundaries; Add Piezometric Line” diyerek şeve yer altı suyu konumu aktarılır. Ayrıca şevlerin kuru ortam koşulları altında da şev duraylılıkları incelenmiştir.

Şevin gerilme özellikleri için “Loading; Field stress” komutu seçilir. Çıkan pencereye alan gerilme tipi ve doğal bileşenlerinin büyüklükleri programa girilir (Şekil 4.78).

Field Stress Properties

Field Stress Type: Gravity

☒ Use actual ground surface ☐ Use effective stress ratio ☐ Use variable stress ratio

Ground Surface Elevation (m): 0

Unit Weight of Overburden (MN/m³): 0.027

Total Stress Ratio (horiz/vert in plane): 1

Total Stress Ratio (horiz/vert out-of-plane): 1

Locked-in horizontal stress (in plane) (MPa, Comp. +): 0

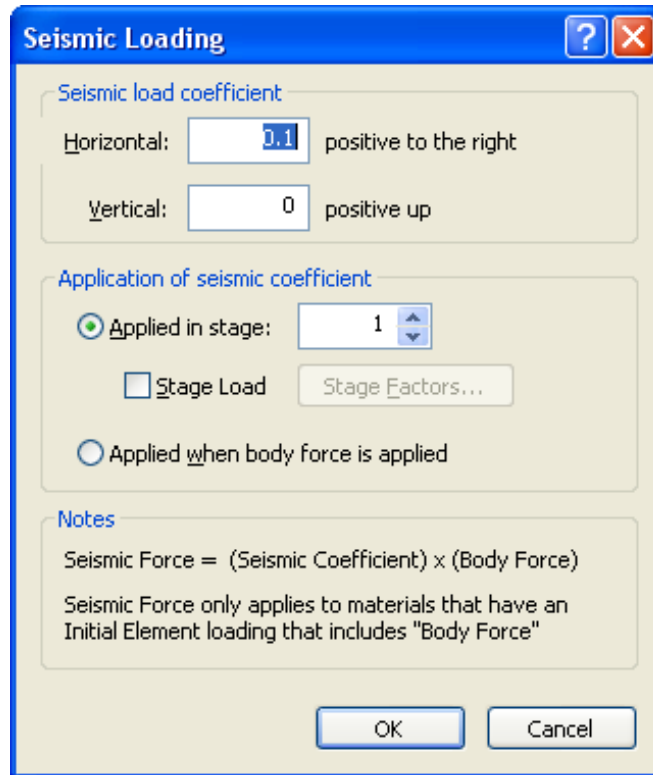
Locked-in horizontal stress (out-of-plane) (MPa, Comp. +): 0

OK Cancel Statistics... Advanced >>

Şekil 4.78 Şeve ait alan gerilme özelliklerinin belirlenmesi.

Programa sismik yük değerinin girilmesi için; araç çubuğundan “Loading; Seismic Loading” komutu ile istenilen yük miktarı ve yönü programa girilir (Şekil 4.79).

Çalışmada incelen şevlerin bulunduğu alanlar 0,1g ve 0,15g ve 0,20g sismik yük altında incelenmiştir.



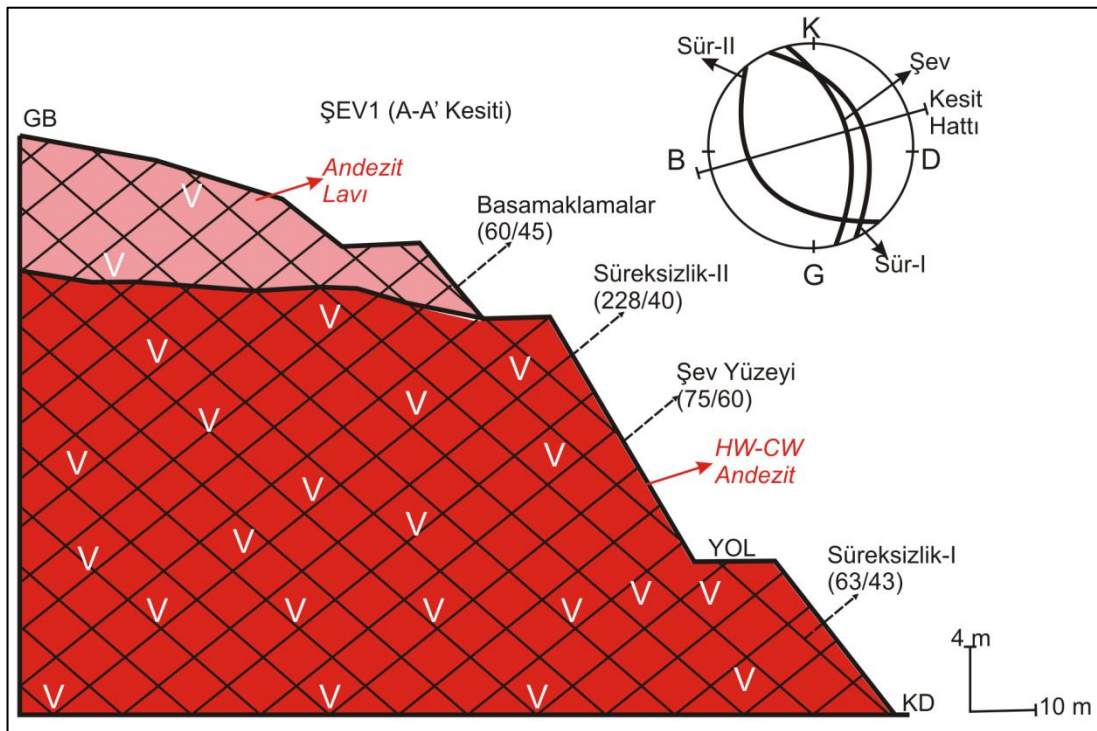
Şekil 4.79 Şeve verilen sismik yük ve yönü.

Şeve ait tüm özellikler ve veriler girildikten şev modeli kaydedilir. Sonra araç çubuğundan “Analysis” sekmesi seçilerek Compute komutu tıklanır ve hesaplama devreye girerek, program oluşturulan tüm verilerin analizini yapmaya başlar. Hesaplama tamamlandığında “Analysis; Interpret” seçilir. Bu aşamada, program gerilme dağılımları, güvenlik katsayısı, deformasyon durumu ve oluşturulacak yer değiştirme gibi parametreler belirlenir.

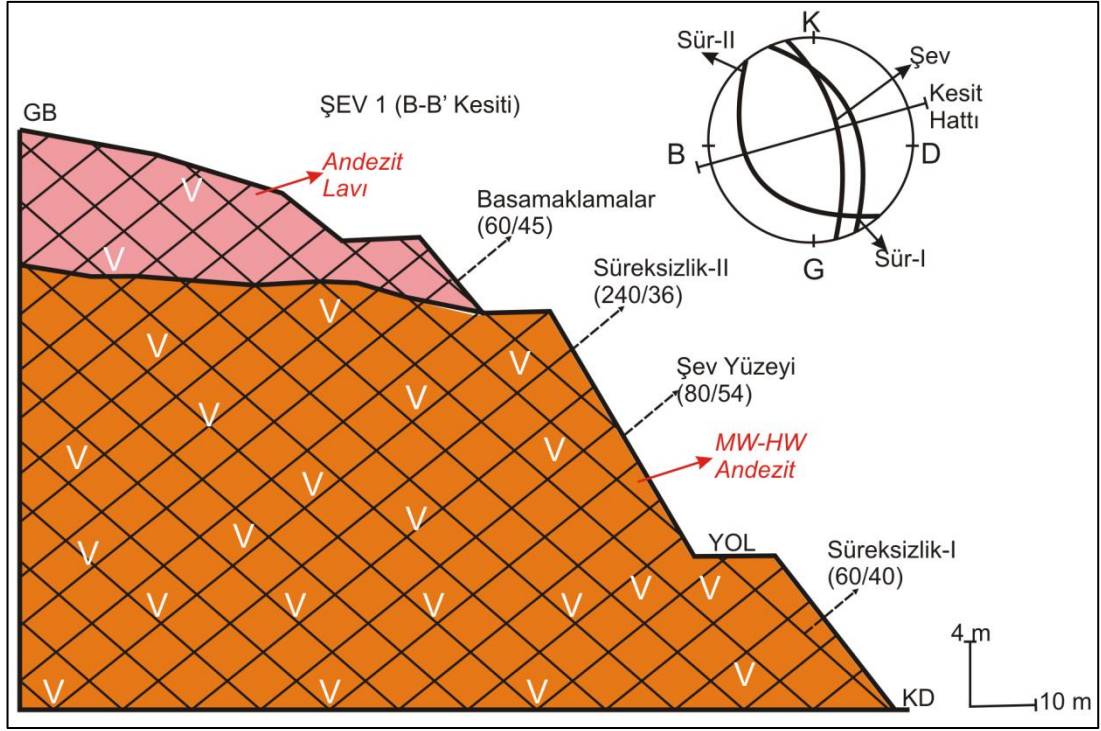
Andezit lavı ve oldukça-tamamen ayrıışmış andezit ve orta-oldukça ayrıışmış biriminden oluşan şev 1'den alınan kesitler (şekil 4.80 ve 4.81) ve oluşturulan geometride programa girilen veriler aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 4.27).

şev 1'den alınan A-A' ve B-B ' kesitlerinin yerleri şekil 4.7'de belirtilmiştir. şev 1'in KB yamacı yüksekliğı 25 m ve konumu, 75/60 ve ierdiğı süreksizliklerin ortalama konumları 63/43; 228/40 olarak ölçölmüş ve bu veriler şev geometrisinin oluşturulmasında kullanılmıştır (şekil 4.82, 4.83, 4.84, 4.85, 4.86, 4.87).

B-B ' kesitinin alındığı GD yamacında şev yüksekliğı 24 m iken konumu 80/54 ve ierdiğı süreksizliklerin ortalama konumları ise 60/45 ve 240/36 olarak belirlenmiştir.



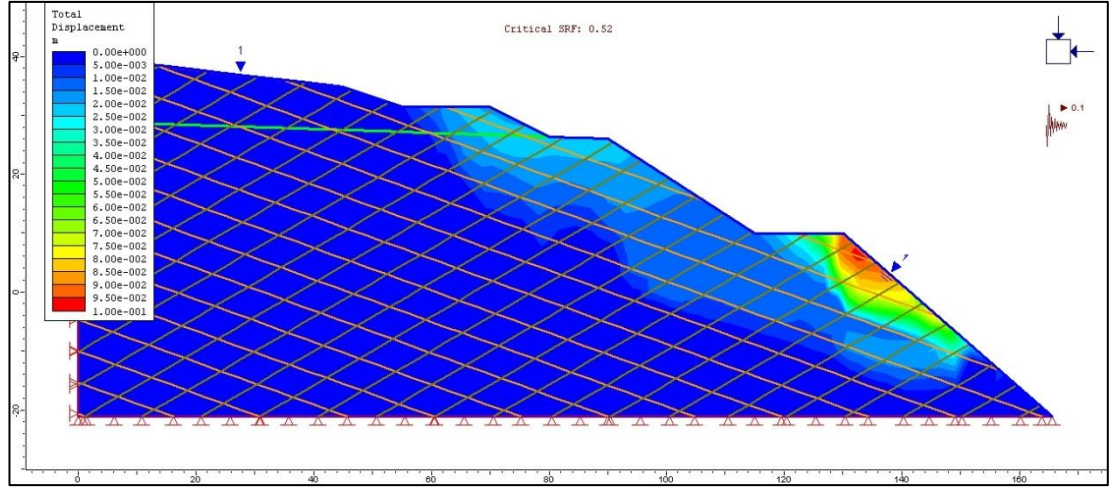
şekil 4.80 şev 1'den alınan A-A' kesiti.



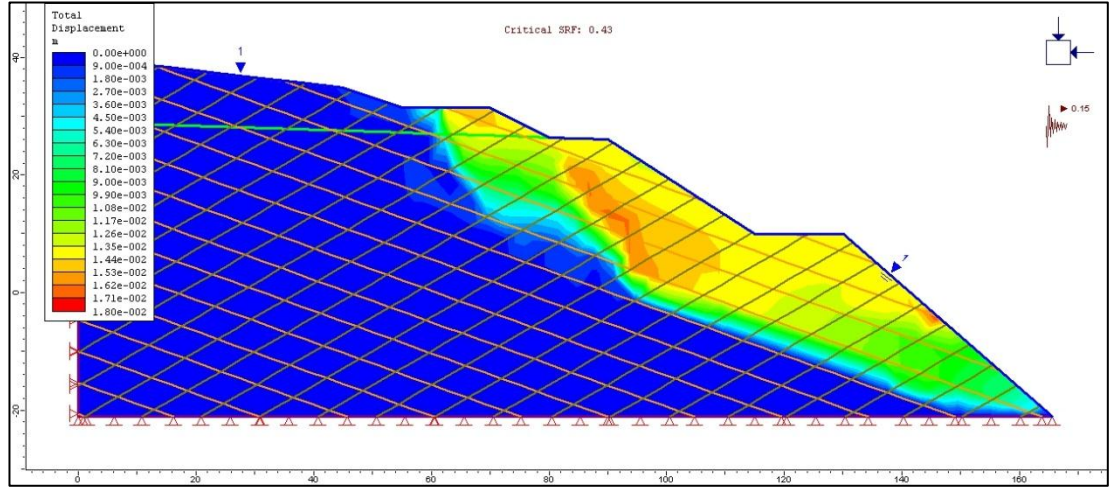
Şekil 4.81 Şev 1'den alınan B-B ' kesiti.

Tablo 4.27 Şev 1'e ait Phase² programında kullanılan parametre değerleri.

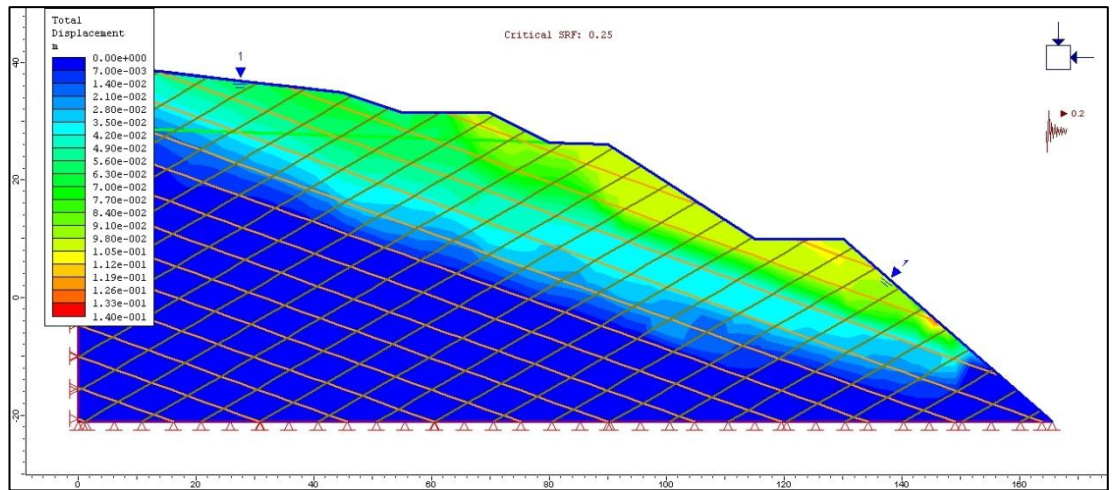
ŞEV 1	Parametre	Orta- Oldukça ayrıışmış Andezit Lavı	Az-orta Ayrıışmış Andezit
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	18	93
	Doygun Birim Hacim Ağırlık (MN/m ³)	0,021	0,023
	Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	40	45
	Örselenme Faktörü, D	0,7	0,7
	Hoek-Brown Boyutsuz Malzeme Sabit (m _i)	17	25



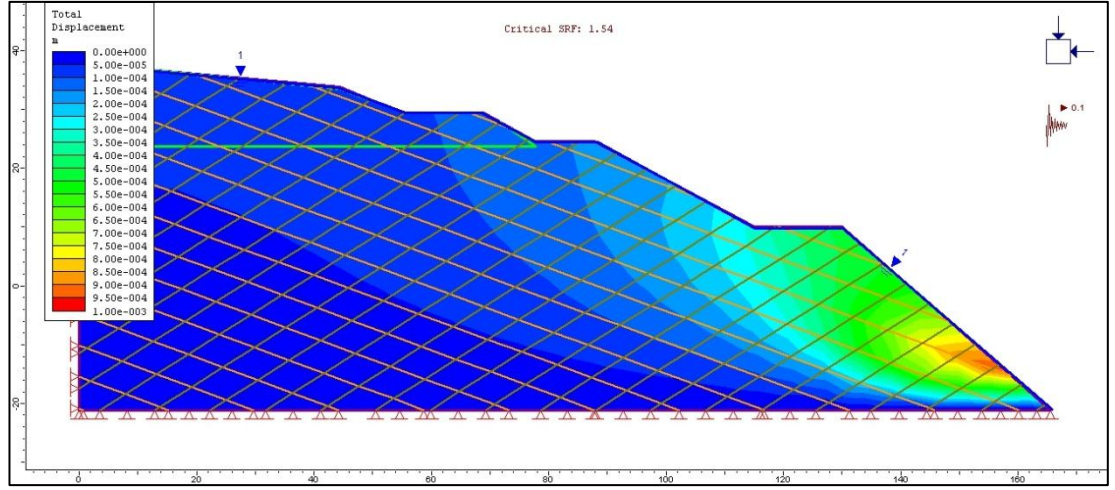
Şekil 4.82 Şev 1 A-A' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,1g) (Kritik SRF: 0,52) (suya doymun ortam).



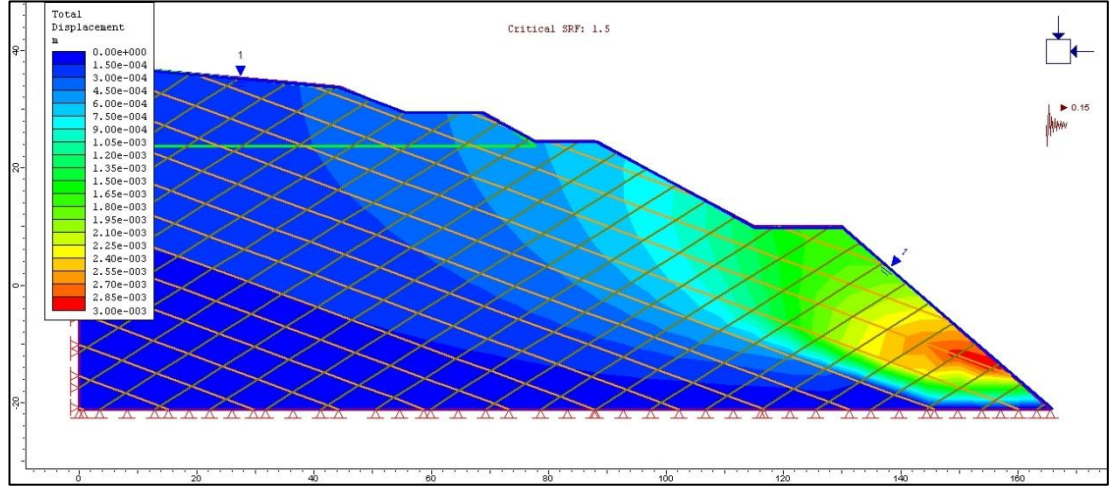
Şekil 4.83 Şev 1 A-A' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,15g) (Kritik SRF: 0,43) (suya doymun ortam).



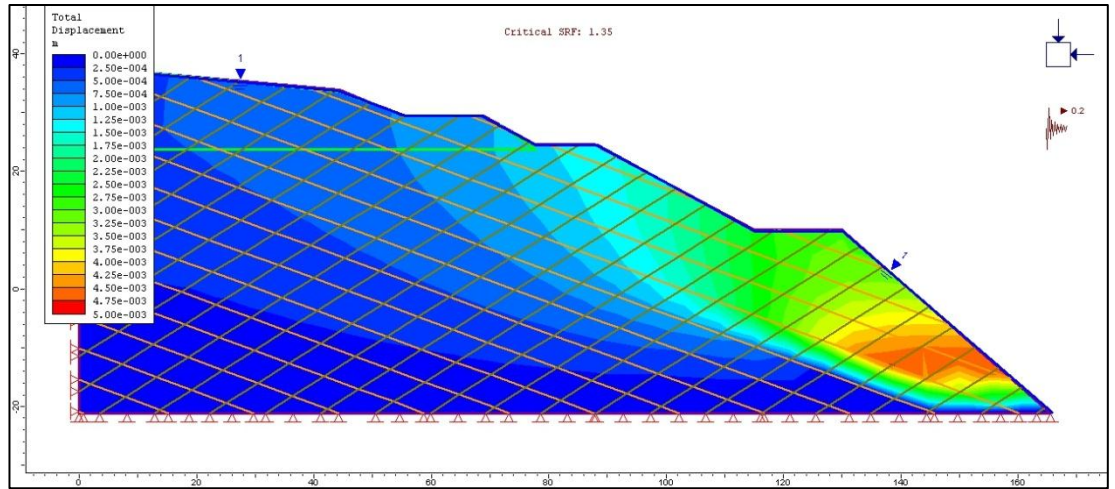
Şekil 4.84 Şev 1 A-A' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,2g) (Kritik SRF: 0,25) (suya doymun ortam).



Şekil 4.85 Şev 1 B-B' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,1g) (Kritik SRF: 1,54) (suya doymun ortam).



Şekil 4.86 Şev 1 B-B' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,15g) (Kritik SRF: 1,5) (suya doymun ortam).



Şekil 4.87 Şev 1 B-B' kesitinde gözlenen yer değiştirme (0,2g) (Kritik SRF: 1,35) (suya doymun ortam).

Farklı sismik yükler altında yapılan analiz sonuçları ve elde edilen güvenlik katsayısı faktörü tabloda sunulmuştur. Buna göre Şevin KB (A-A' kesitinin alındığı) yamaç suya doymun durumda güvensiz iken ($F_s = 0,25 < 1,20$ olduğundan); şevin GD yamacı (B-B' kesitinin alındığı) yamaç suya doymun ortamda güvenlidir (Tablo 4.28). Elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin ortam koşullarına ve sismik ivme etkilerine göre değişimleri Şekil 4.88'de verilmiştir.

Aynı şev kuru ortam koşulları için değerlendirildiğinde şevin güvenli olduğu gözlenmektedir (Tablo 4.29). Her iki ortam koşulunda da sismik ivme değeri arttıkça güvenlik faktörü değeri azalmaktadır. Hesaplanan güvenlik katsayısı değerlerine göre, şevin yamaç eğiminde çok az bir değişiklik olmasına rağmen şevi oluşturan malzemenin kütle özellikleri şevin duraylılığını önemli ölçüde etkilemektedir.

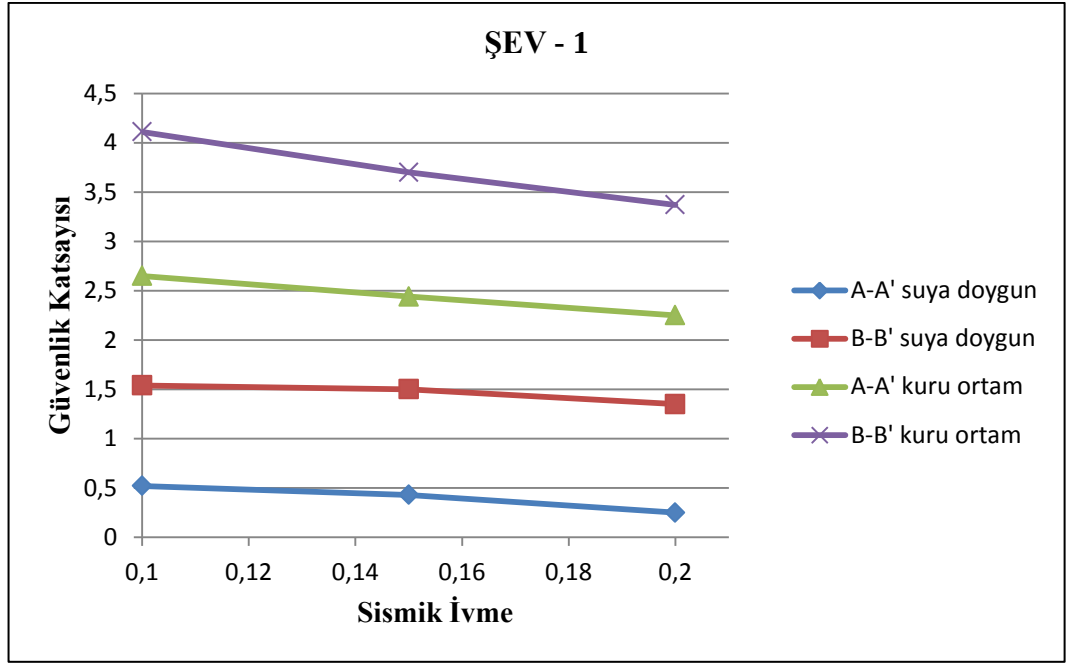
Tablo 4.28 Şev 1'e ait farklı sismik yüklere göre F_s değerleri (suya doymun ortam).

ŞEV 1		F_s (A-A' Kesiti)	F_s (B-B' Kesiti)
	$\alpha_{sis}=0,1$ g	0,52	1,54
	$\alpha_{sis}=0,15$ g	0,43	1,50
	$\alpha_{sis}=0,2$ g	0,25	1,35

α_{sis} =maksimum yer ivmesi, F_s : Güvenlik katsayısı

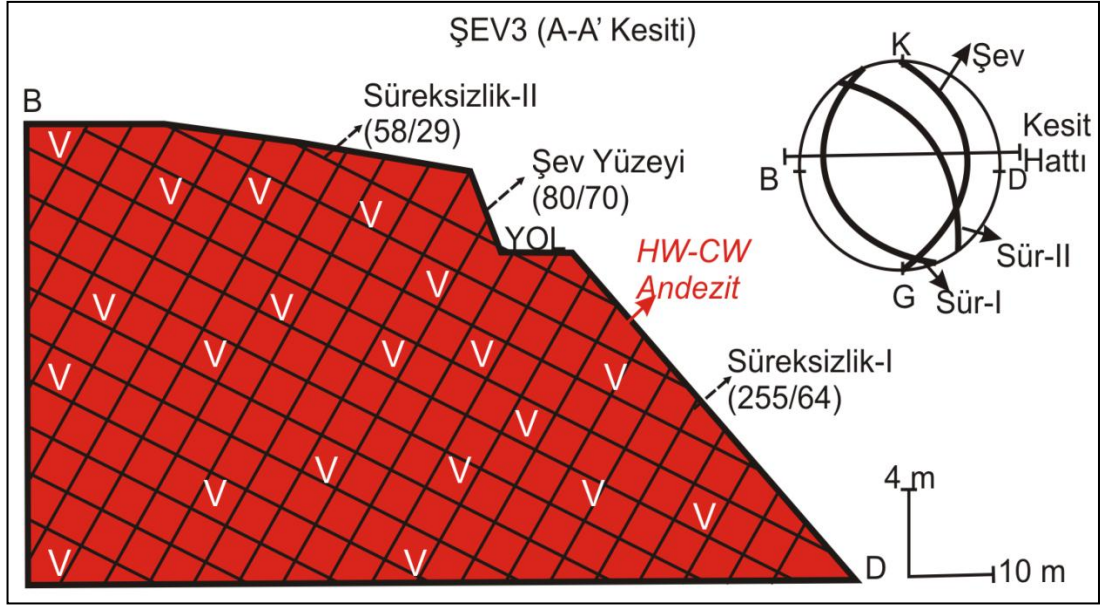
Tablo 4.29 Şev 1'e ait farklı sismik yüklere göre F_s değerleri (kuru ortam).

ŞEV 1		F_s (A-A' Kesiti)	F_s (B-B' Kesiti)
	$\alpha_{sis}=0,1$ g	2,65	4,11
	$\alpha_{sis}=0,15$ g	2,44	3,70
	$\alpha_{sis}=0,2$ g	2,25	3,37

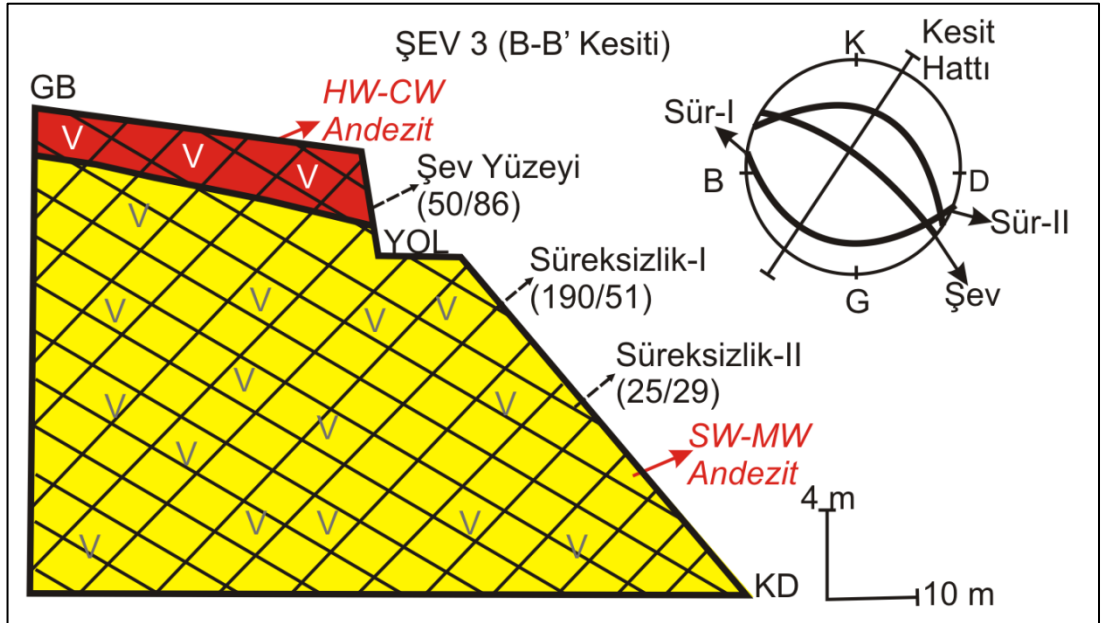


Şekil 4.88 Şev 1’de sismik ivme etkisi altında değişim gösteren güvenlik katsayısı değerleri grafiği.

Farklı ayrışma derecelerine sahip andezit biriminden oluşan Şev 3’den alınan kesitler (Şekil 4.89 ve 4.90) (şev yüzeyinden alınan kesit hatlarının yerleri Şekil 4.9’da belirtilmiştir) ve oluşturulan geometride programa girilen kütle özellikleri Tablo 4.30’da yer almaktadır. Şev 3’ün KB yamacı yüksekliği 4m ve konumu, 270/70 ve içerdiği süreksizliklerin ortalama konumları 255/64; 58/29 olarak ölçülmüştür. Şevin GD yamacı yüksekliği 5m ve konumu, 50/86, içerdiği süreksizliklerin ortalama konumları 190/51; 25/29 olarak belirlenmiş ve bu veriler şev geometrisinin oluşturulmasında kullanılmıştır (Şekil 4.91, 4.92, 4.93, 4.94, 4.95 ve 4.96).



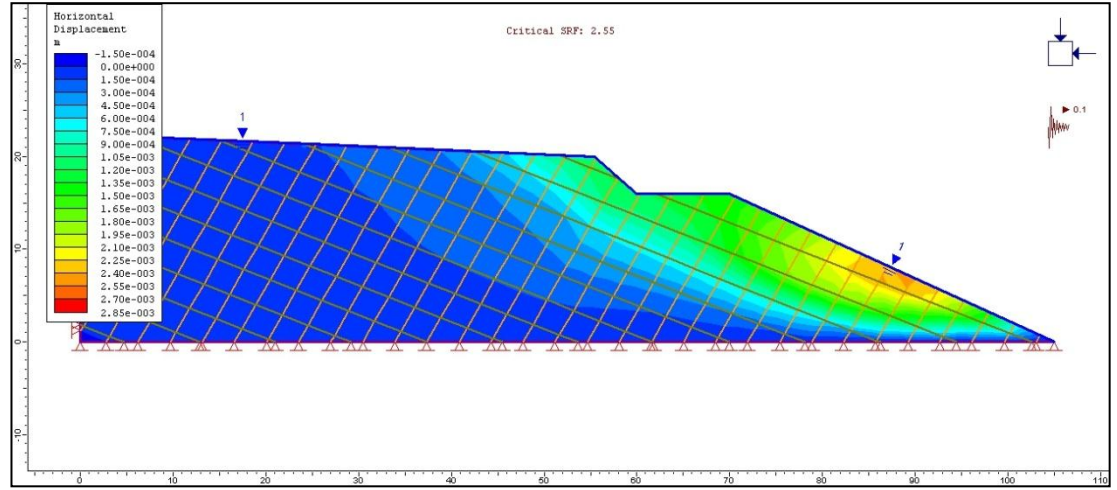
Şekil 4.89 Şev 3 KB yamacından alınan A-A' kesiti.



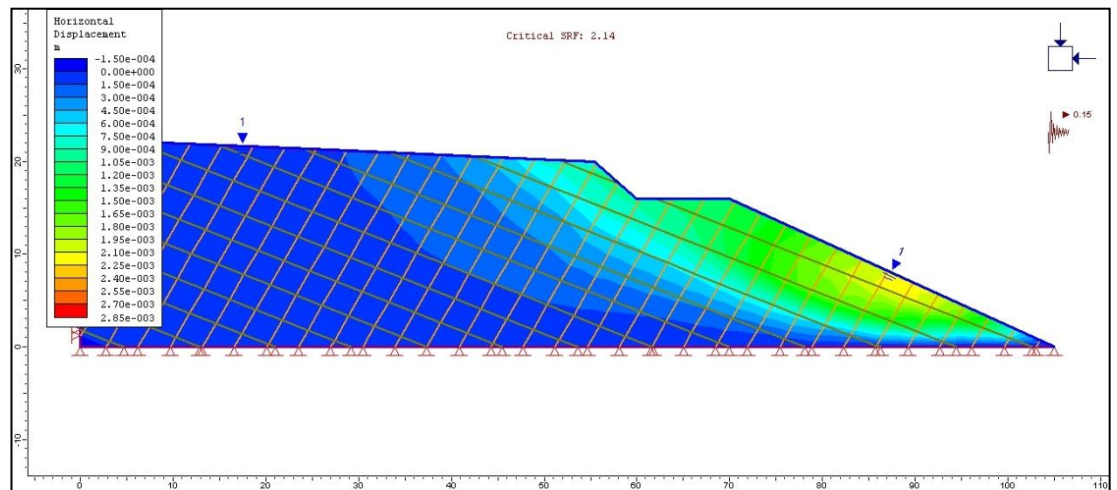
Şekil 4.90 Şev 3 GD yamacından alınan B-B' kesiti.

Tablo 4.30 Şev 3'e ait Phase² programında kullanılan parametre değerleri.

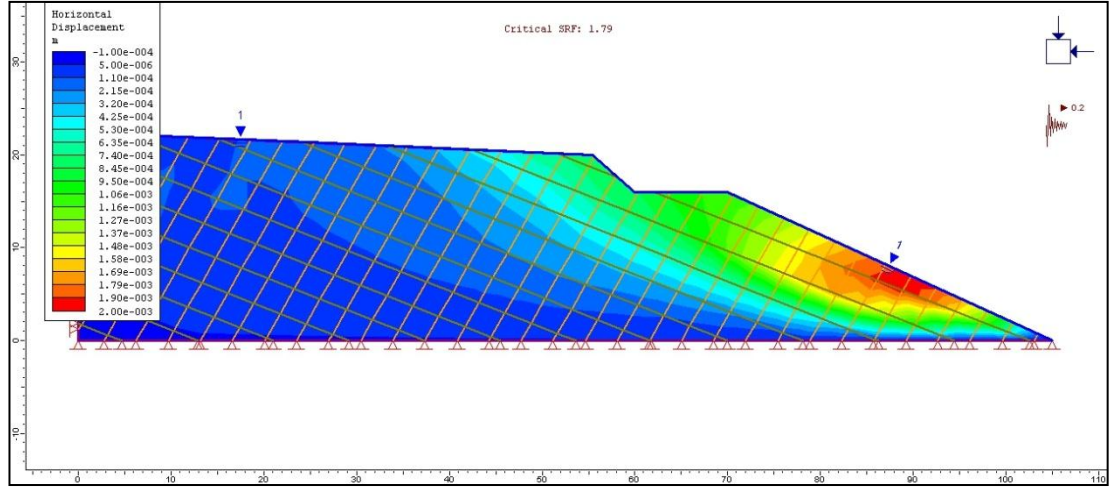
ŞEV 3	Parametre	Az-Orta Ayrışmış	Oldukça-Tamamen Ayrışmış
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	93	18
	Doygun Birim Hacim Ağırlık (MN/m ³)	0,026	0,021
	Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	55	40
	Örselenme Faktörü, D	0,7	0,7
	Hoek-Brown Boyutsuz Malzeme Sabiti (m _i)	25	17



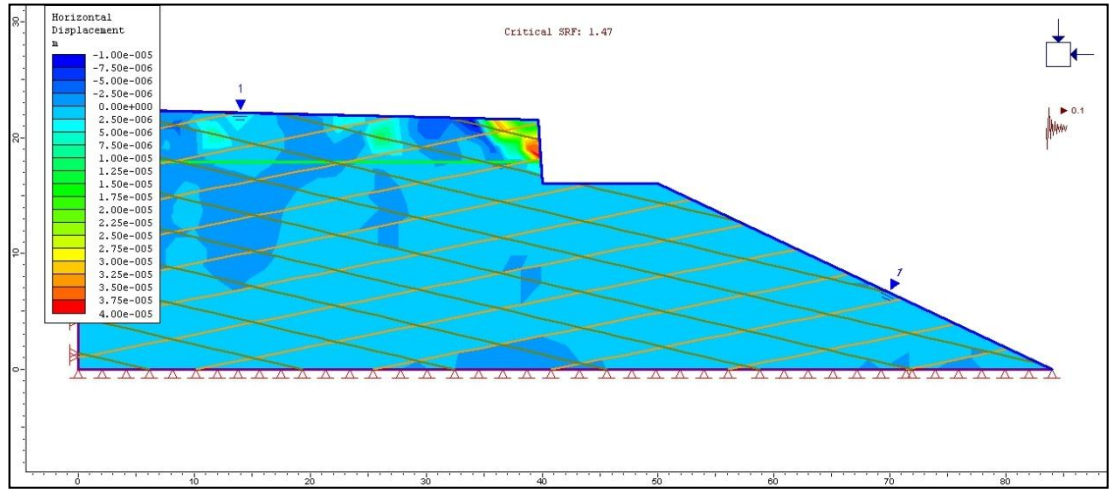
Şekil 4.91 Şev3 A-A' kesitinde gözlenen değişme (0,1g) (Kritik SRF: 2,55) (suya doymun ortam).



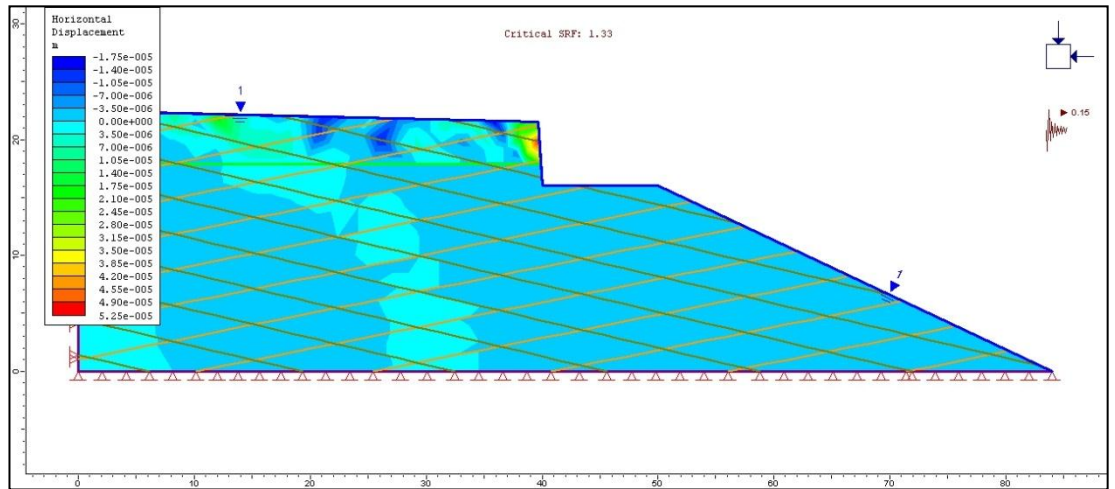
Şekil 4.92 Şev 3 A-A' kesitinde gözlenen değişme (0,15g) (Kritik SRF: 2,14) (suya doymun ortam).



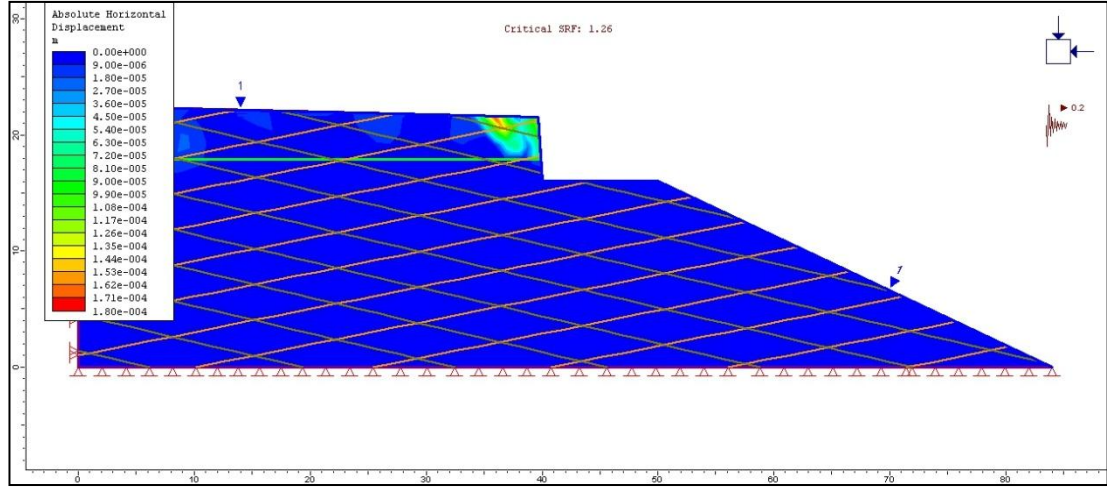
Şekil 4.93 Şev 3 A-A' kesitinde gözlenen değişme (0,2g) (Kritik SRF: 1,79) suya doymun ortam).



Şekil 4.94 Şev 3 B-B' kesitinde gözlenen değişme (0,1g) (Kritik SRF: 1,47) (suya doymun ortam).



Şekil 4.95 Şev 3 B-B' kesitinde gözlenen değişme (0,15g) (Kritik SRF: 1,33) (suya doymun ortam).



Şekil 4.96 Şev 3 B-B' kesitinde gözlenen değişme (0,2g) (Kritik SRF: 1,26) (suya doymun ortam).

Şev 3'e ait farklı sismik yükler altında yapılan analiz sonuçları ve elde edilen güvenlik katsayısı faktörü Tablo 4.31 ve 4.32'de sunulmuştur. Buna göre Şevin KB ve GD yamacı suya doymun ve kuru ortam durumlarında güvenlidir ($F_s > 1,20$ olduğundan). Bu şev yüzeyinin herhangi bir durumda desteğe gereksiniminin olmadığı belirlenmiştir. Kuru ve suya doymun ortam koşulları ile farklı sismik ivme etkileri altında şevlere ait hesaplanan güvenlik katsayısı değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.97'de verilmiştir.

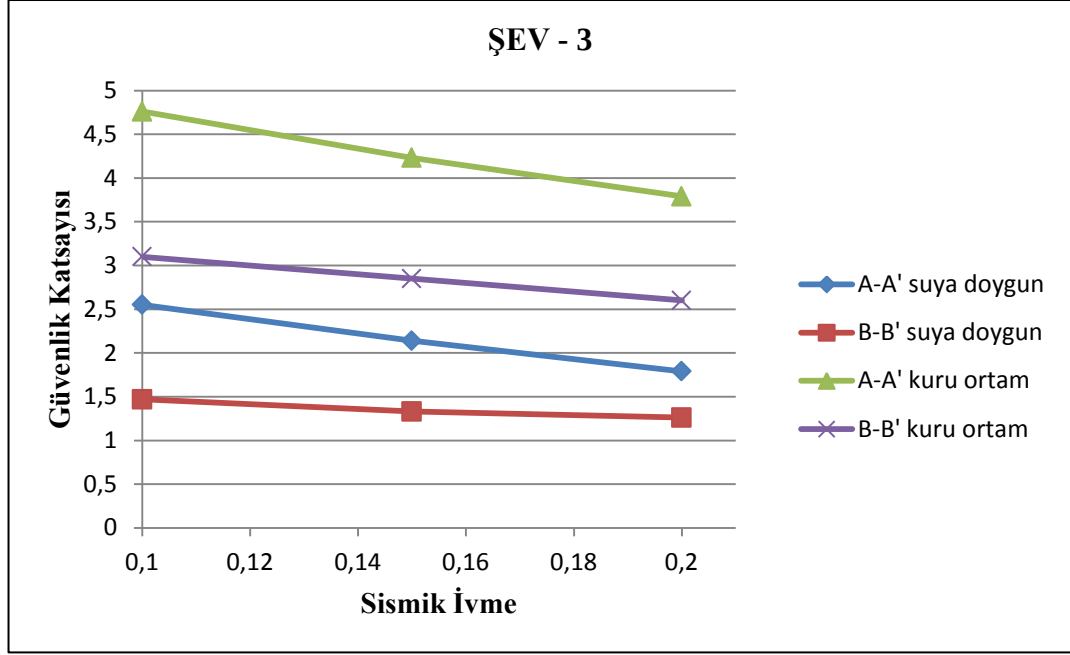
Şevin duraylılığını, şev açısındaki artış ve ayrışma derecesi değişen birimler etkilememiştir. Bu durum şevin daha düşük şev yüksekliğinde olmasından kaynaklanmaktadır. Şev yüksekliğinde herhangi bir değişiklik olmadığı sürece (bu şev için $H=4m$), şevin eğim açısı ve etki eden sismik ivme artsa bile güvenlik sayısında önemli değişimler gözlenmemiştir.

Tablo 4.31 Şev 3'ten alınan kesitlerde farklı sismik yüklerle göre hesaplanan F_s değerleri (suya doymun ortam).

ŞEV 3		F_s (A-A' Kesiti)	F_s (B-B' Kesiti)
	$\alpha_{sis}=0,1 \text{ g}$	2,55	1,47
	$\alpha_{sis}=0,15 \text{ g}$	2,14	1,33
	$\alpha_{sis}=0,2 \text{ g}$	1,79	1,26

Tablo 4.32 Şev 3'ten alınan kesitlerde farklı sismik yüklere göre hesaplanan Fs değerleri (kuru ortam).

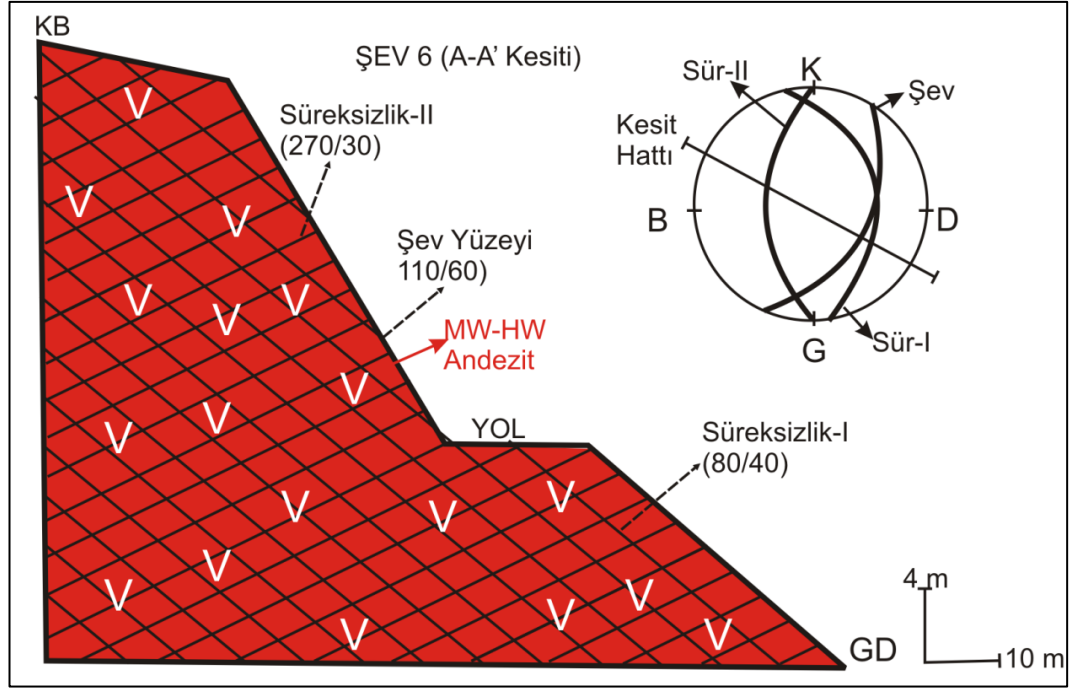
ŞEV 3		<i>F_s (A-A' Kesiti)</i>	<i>F_s (B-B' Kesiti)</i>
	$\alpha_{sis}=0,1 \text{ g}$	4,76	3,1
	$\alpha_{sis}=0,15 \text{ g}$	4,23	2,85
	$\alpha_{sis}=0,2 \text{ g}$	3,79	2,6



Şekil 4.97 Şev 3'te sismik ivme etkisi altında değişim gösteren güvenlik katsayısı değerleri grafiği.

Şev 6'da oldukça-tamamen ayrılmış andezit biriminden alınan kesit (Şekil 4.98) (Şev 6'dan alınan kesit hattı yeri Şekil 4.10'da belirtilmiştir) ve oluşturulan geometride programa girilen veriler Tablo 4.33'de verilmiştir.

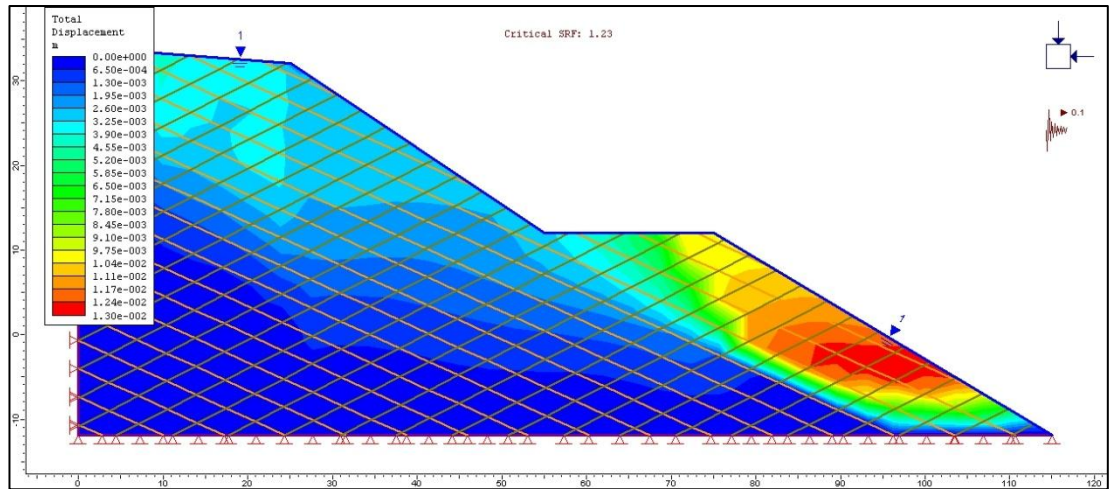
Şevin GD yamacı 20 metre yükseklikte olup; 110/60 konumundadır. İçerdiği süreksizliklerin ortalama konumları 80/40; 270/30 olarak ölçülmüş ve bu veriler şev geometrisinin oluşturulmasında kullanılmıştır (Şekil 4.99, 4.100 ve 4.101).



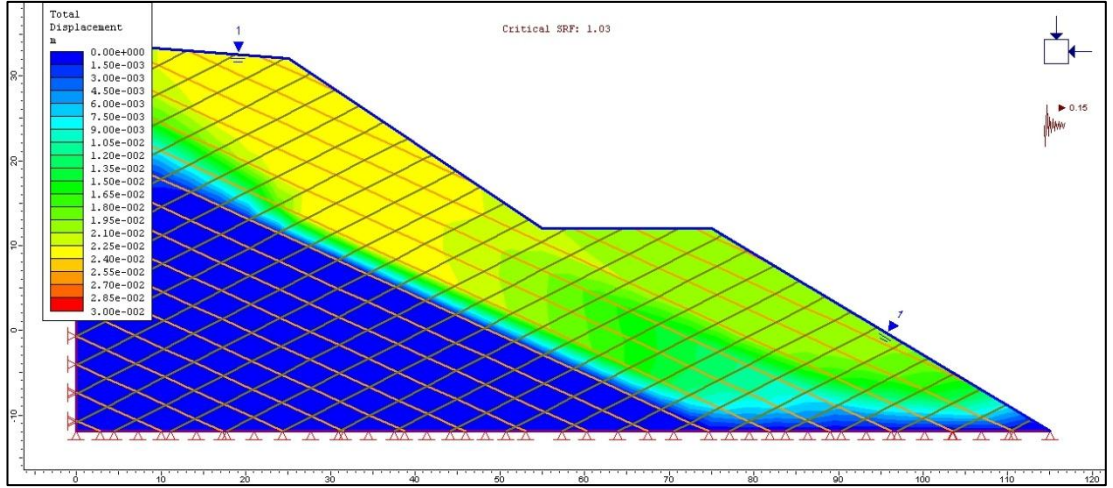
Şekil 4.98 Şev 6 GD yamacından alınan A-A' kesiti.

Tablo 4.33 Şev 6'ya ait Phase² programında kullanılan parametre değerleri.

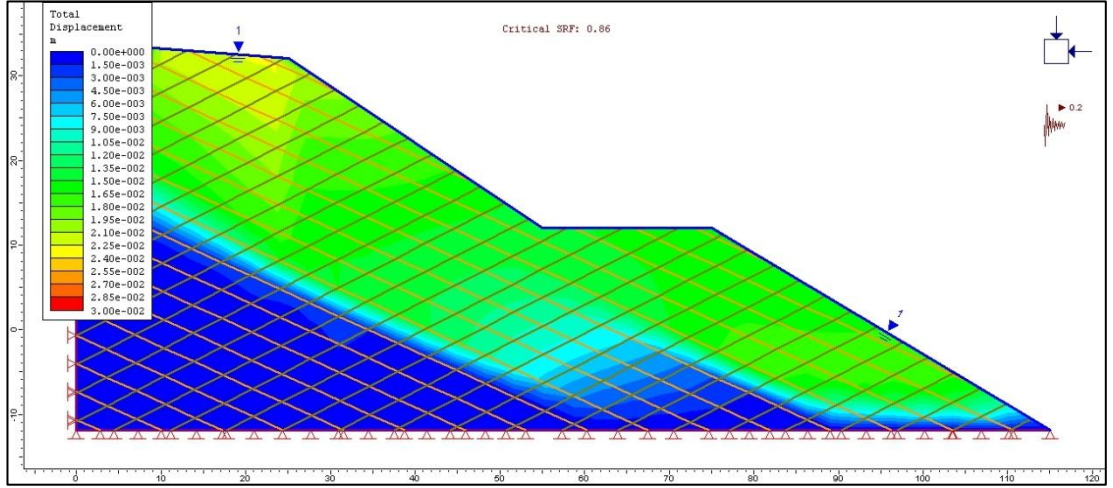
ŞEV 6	Parametre	
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	18
	Doygun Birim Hacim Ağırlık (MN/m ³)	0,021
	Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	35
	Örselenme Faktörü, D	0.7
	Hoek-Brown Boyutsuz Malzeme Sabiti (m _i)	17



Şekil 4.99 Şev 6 A-A' kesitinde gözlenen yatay yerdeğiştirme (0,1g) (Kritik SRF: 1,23) (suya doymuş ortam).



Şekil 4.100 Şev 6 A-A' kesitinde gözlenen yatay yer değiştirme (0,15g) (Kritik SRF: 1,03) (suya doymun ortam).



Şekil 4.101 Şev 6 A-A' kesitinde gözlenen yatay yerdeğiştirme (0,2 g) (Kritik SRF: 0,86) (suya doymun ortam).

Şev 6'ya ait farklı sismik yükler altında yapılan analiz sonuçları ve elde edilen güvenlik katsayısı faktörü Tablo 4.34 ve 4.35'de sunulmuştur. Buna göre Şevin GD yamacı kuru ortam koşullarında güvenli iken; suya doymun ortam koşullarında 0,1 sismik ivme altında duraylıdır. Suya doymun ortamda, 0,1 ve 0,2 sismik ivmeler etkisi altında şev duraysızdır ($F = 0,86 < 1,20$). Hesaplanan güvenlik katsayısı değerlerinin sismik ivme etkisi ve kuru, suya doymun ortam koşulları altındaki değişimleri Şekil 4.102'de verilmiştir.

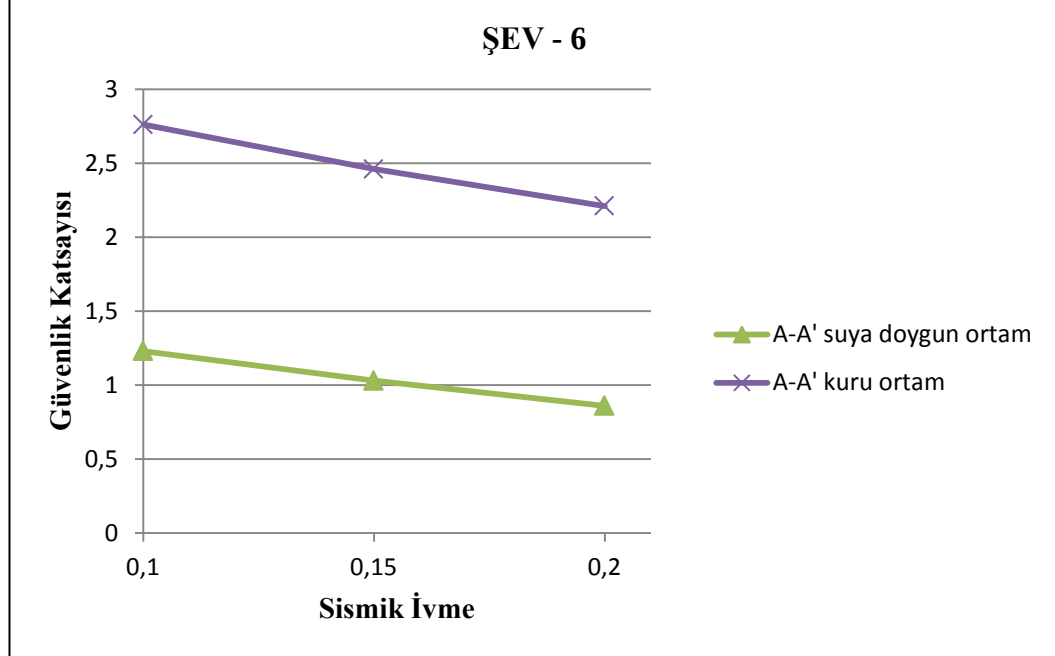
Tablo 4.34 Şev 6 ya ait farklı sismik yüklere göre F_s değerleri (suya doymun ortam).

ŞEV 6		F_s
	$\alpha_{sis}=0,1 \text{ g}$	1,23
	$\alpha_{sis}=0,15 \text{ g}$	1,03
	$\alpha_{sis}=0,2 \text{ g}$	0,86

Tablo 4.35 Şev 6 ya ait farklı sismik yüklere göre F_s değerleri (kuru ortam).

ŞEV 6		F_s
	$\alpha_{sis}=0,1 \text{ g}$	2,76
	$\alpha_{sis}=0,15 \text{ g}$	2,46
	$\alpha_{sis}=0,2 \text{ g}$	2,21

Şev 6 için alınan kesitler sonucunda hesaplanan güvenlik sayısı değerlerine göre şev sadece suya doymun ortamda 0,2 sismik ivme altında hareketlenme gösterecektir. Ve bu durumda şev yüzeyinde desteğe gereksinim olacaktır.



Şekil 4.102 Şev 6'da sismik ivme etkisi altında değişim gösteren güvenlik katsayısı değerleri grafiği.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Çalışmada Çandarlı-Dikili (İzmir) bölgesinde oldukça yaygın bir yayılım gösteren andezitlerde, düzensiz yapılaşma ve denetimsiz kazılar sonucu açılan yol şevlerinde gözlenen kayma hareketleri ve şevlerin duraylılıkları incelenmiştir.

Çalışma alanında gözlenen andezit birimi, Yuntdağ Volkanitleri (Akyürek ve Soysal, 1983) olarak adlandırılan formasyon içinde yer almaktadır. Andezitler genellikle gri, sarı, yeşil, bordo ayrışma renginde ve gri-pembe taze yüzey renginde gözlenirken yer yer otobreşik andezit seviyeleri de izlenmektedir. Arazi gözlemlerine göre, andezitlerde açılan şev yüzeylerinde 1-2 cm kalınlığında kil dolgulu süreksizlikler gelişmiştir. Bu bölgelerde, yaklaşık 15/50 konumlu akma bantları ve akma yüzeylerine yaklaşık dik 160/38 konumlu soğuma çatlakları gözlenmiştir. Şevlerde gözlenen andezitler genellikle farklı ayrışma derecelerindedir ve oldukça fazla süreksizlik yüzeyleri içermektedirler.

Arazide göreceli olarak (ISRM, 1981) belirlenen, andezitlerde gözlenen ayrışma derecelerine göre blok numuneler alınarak bunların mühendislik davranışlarını belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Alınan farklı ayrışma derecelerindeki andezitlerden ince kesitler hazırlanmış ve minerolojik incelemeleri yapılmıştır. İnce kesitlerde biyotit, hornblend, piroksen ve plajioklas, mika fenokristallerinin yanı sıra opak mineraller de gözlenirken, kayaç porfiri-hipokristalen doku sunmaktadır. Taze-az ayrılmış andezitlerde gözlenen fenokristaller, orta- oldukça ayrılmış andezitlerde gözlenen fenokristal oranından daha fazladır ve fenokristaller genel olarak özşekilli durumdadır. Yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre; ayrışma derecesi arttıkça kayaçlarda gözlenen kızdırma kaybı (1000 C'de yakıldığında ortama verilen uçucu gazlar) oranının arttığı gözlenmiştir. Örneklerde, ayrışma arttıkça SiO₂, K₂O oranları azalmakla birlikte, Al₂O₃ oranlarında artış gözlenmiştir. MnO, MgO, toplam Fe oksit (+2 ve +3 değerlikli oksitler), TiO₂ oranlarında önemsenecek bir değişiklik olmamıştır.

Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde (A ve 1-1 örnekleri) Kimyasal Ayrışma İndeksi değeri (KAI); 69,77 ve 70,04 olarak belirlenirken, Taze-az ayrıışmış andezitlerde (D, 6, 3 örnekleri) bu değeri 67,72; 65,24 ve 66,65 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda, çalışma alanındaki şevleri oluşturan farklı ayrışma derecelerindeki andezitlerin ve riyodasitlerin birim hacim ağırlıkları, ağırlıkça ve hacimce su emme oranları, görünür gözeneklilik (porozite) ve boşluk oranı gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Taze az ayrıışmış andezitlerin; kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_{kuru} , gr/cm³) = $2,528 \pm 0,010$; doygun birim hacim ağırlık değeri (γ_{doygun} , gr/cm³) = $2,562 \pm 0,010$ olarak belirlenmiştir. Orta – oldukça ayrıışmış andezitlerde (γ_{kuru} , gr/cm³) = $1,899 \pm 0,091$; doygun birim hacim ağırlık değeri (γ_{doygun} , gr/cm³) = $2,146 \pm 0,055$ 'dir. Riyodasitler ise $\gamma_{kuru} = 1,783 \pm 0,161$ ve $\gamma_{doygun} = 2,023 \pm 0,174$ gr/cm³'tür. Anon, (1979)'a göre kayaçlar kuru birim hacim ağırlıkları değerlerine göre sınıflandırıldığında; taze-az ayrıışmış andezitler **“orta birim hacim ağırlığı”**, oldukça-tamamen ayrıışmış andezitler **“düşük birim hacim ağırlığı”** ve riyodasit ise **“düşük birim hacim ağırlığına sahip”** kaya sınıfına girmektedir. Ayrışma derecelerinde gözlenen artışla birlikte numunelerin birim hacim ağırlık değerleri azalmaktadır. Porozite oranlarına bakıldığında; Taze-az ayrıışmış andezitlerde, porozite % $3,39 \pm 0,410$ olup **“orta boşluklu kaya”**, orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde % $24,698 \pm 0,122$ le **“çok fazla boşluklu kaya”** ve riyodasitlerde porozite % $24,052 \pm 5,233$ olarak hesaplanmış ve **“çok fazla boşluklu kaya”** sınıfında yer almaktadırlar. Ayrışma derecesindeki artışa göre % porozite oranı artmaktadır.

Yapılan sonik hız deneyi sonuçlarına göre; taze-az ayrıışmış andezitlerin P dalga hızı iletkenliği kuru numunelerde $4,515 \pm 0,12$ km/sn, suya doygun numunelerde ise $4,795 \pm 0,11$ km/sn'dir. Orta-oldukça ayrıışmış andezitlerde $2,809 \pm 0,21$ km/sn, suya doygun numuneler de $3,211 \pm 0,28$ km/sn olarak hesaplanmıştır. Genel olarak, suya doygun kayaçlarda belirlenen Vp dalga hızı değeri kuru numunelere göre daha yüksektir. Porozitenin artmasıyla dalga hızının düştüğü gözlenmiştir.

Taze-az ayrıışmış andezitlerde tek eksenli basınç deneyi ortalamaları 939,10 kg/cm², orta-oldukça ayrıışmış andezitler 174,89 kg/cm² ve oldukça ayrıışmış riyodasitler ise 256,58 kg/cm² tek eksenli basınç direnci değerleri vermişlerdir. Uygulanan tek eksenli basınç direnci deneyi sonucunda elde edilen direnç değerleri, Deere ve Miller (1966) sınıflamasına göre taze-az ayrıışmış andezitler “**orta dayanımlı kaya**”, orta-oldukça ayrıışmış andezitler “**çok düşük dayanımlı kaya**” ve riyodasitler “**düşük dayanımlı kaya**” sınıflamasında yer almaktadır. Numunelerde ayrıışma arttıkça tek eksenli basınç direnci değerleri azalmaktadır. Dayanım düşmektedir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi numuneler üzerinde beş döngü olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Gamble (1971) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre değerlendirildiğinde; taze- az ayrıışmış andezitler ve riyodasitler “**çok yüksek kararlılık**” sınıfına girerken, orta-oldukça ayrıışmış andezitler “**yüksek kararlılık**” sınıfındadır.

Laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar toplu olarak Tablo 4.36’da verilmiştir.

Çalışma kapsamında, belirlenen yol şevlerinden farklı dönemlerde yapılan taramalar sonucu, nokta bulutu şeklinde elde edilen veriler değerlendirilerek şevlerde meydana gelen deformasyonlar sayısal olarak belirlenmiştir. Belirli dönemlerde 0,25 santimetre yatay ve düşey hassasiyetle yapılan bu taramalar sonucu; Şev 1, Şev 3 ve Şev 4’te deformasyonlar alınan kesitler yardımıyla ortaya konulmuştur. Ancak, lazer tarayıcının şev yüzeyinden uzaklığı, taranan yüzeylerdeki oluşacak yansıma açı farklılıkları, tarayıcı cihazdaki kalibrasyon vb. hatalardan dolayı lazer cihaz ile alınan veriler değerlendirildiğinde sağlıklı sonuçlar olmadığı belirlenmiştir. Cihazın ölçüm alırken ortamdaki değişiklikler, sıcaklık, hareketlilik gibi değişkenler cihazın ölçüm alırken hassasiyetini etkilemektedir.

Tablo 4.36 Laboratuvar deney sonuçlarının toplu sunumu.

Deney	Taze-az ayrıışmış andezit	Orta-oldukça ayrıışmış andezit	Oldukça ayrıışmış riydosit
Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_{kuru})	2,528 $\pm$ 0,01	1,899 $\pm$ 0,091	1,783 $\pm$ 0,161
Doygun Birim Hacim Ağırlık (γ_{doygun})	2,562 $\pm$ 0,01	2,146 $\pm$ 0,055	2,023 $\pm$ 0,174
Ağırlıkça Su Emme (%) (Sa)	1,345 $\pm$ 0,164	13,15 $\pm$ 3,45	13,576 $\pm$ 3,045
Hacimce Su Emme (%) (Sh)	3,4 $\pm$ 0,41	24,698 $\pm$ 5,12	24,052 $\pm$ 5,233
Porozite (%) (n)	3,399 $\pm$ 0,41	24,698 $\pm$ 0,122	24,052 $\pm$ 5,233
Boşluk Oranı (%e)	3,52 $\pm$ 0,44	33,571 $\pm$ 0,455	32,248 $\pm$ 8,897
Donma Çözünme Deneyi (25 periyot)	Kütle Kaybı % 0,32	Kütle Kaybı % 11,63	Kütle Kaybı % 14,49
Dalga Hızı (Vp; km/sn)	Kuru Numune: 4,515 $\pm$ 0,112 Doygun Numune: 4,795 $\pm$ 0,11	Kuru Numune: 2,809 $\pm$ 0,21 Doygun Numune: 3,21 $\pm$ 0,28	Kuru Numune: 2,76 $\pm$ 0,11 Doygun Numune: 2,86 $\pm$ 0,21
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (σ_c; kg/cm²)	939,1 $\pm$ 9,29 n=8	174,89 $\pm$ 10,77 n=14	256,58 $\pm$ 7,34 n=14
Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (I_{d5})	98,34 Çok Yüksek Kararlılık	96,13 Yüksek Kararlılık	98,21 Çok Yüksek Kararlılık

Yapılan şev stabilite analiz çalışmalarında, Şev 1, Şev 3 ve Şev 6'dan alınan kesitlerle şevlerin farklı koşullar altında duraylılıkları Phase² (v.8.0) programı yardımıyla incelenmiştir. Orta-oldukça ve oldukça-tamamen ayrıışmış andezit ve andezit lavından oluşan Şev 1; Şev 3'ün az–orta derecede ayrıışmış ve oldukça ayrıışmış bölümlerinden; Şev 6'dan ise orta-oldukça ayrıışmış bölgelerinden kesitler alınarak şevlere ait güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Şev duraylılıklarının belirlenmesi için tek bir değişkenin değil, şeve ait birden fazla değişkenin önemi vardır. Farklı koşullar altında (sismik ivmedeki değişim, kuru veya suya doymun

ortam) bulunan şevlerde stabilite açısından sorunlar çıkabilmektedir. Şevde gözlenen birimin kütle parametreleri, dayanımı, ayrışma derecesi gibi özellikler, stabiliteyi etkileyici yöndedir. Farklı sismik ivmeler altında güvenlik faktörü değerleri hesaplanmış ve şeve etkileyen sismik ivme değeri arttıkça şeve ait güvenlik faktörü değerinin azaldığı gözlenmiştir. Şev 1' den alınan A-A' kesitinde suya doymun ortam koşullarında sismik ivme değerinin 0,2 g olduğu durumda güvenlik katsayısı değeri 0,25 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda şevde desteğe gereksinim vardır ($F_s=0,25<1,20$). Şev kuru ortam koşulları için incelendiğinde güvenli konumdadır ($F_s=2,25>1,20$). Şev 3'ten alınan kesitlerde ise kuru ve suya doymun ortam koşullarında sismik ivme değeri arttıkça şevin güvenlik katsayısı değerlerinde azalma gözlenirse bile şevin duraylı olduğu belirlenmiştir. Suya doymun ortamda 0,2 g sismik ivme etkisi altında $F_s=1,79$; kuru ortam da ise $F_s=3,79$ 'dur. Şev 6 ise şevin GD yamacı kuru ortam koşullarında güvenli iken; suya doymun ortam koşullarında 0,1 sismik ivme altında duraylıdır. Suya doymun ortamda, 0,15 ve 0,2 sismik ivmeler etkisi altında şev duraysızdır ($F = 0,86 < 1,20$).

Belirlenen güvenlik katsayısı faktörlerine göre; kaya direnci fazla, ayrışma derecesi az olan yol şevlerine, kaya direnci düşük ayrışma derecesi fazla olan yerlere göre daha yüksek şev açıları verilebilir. Bu şev açıları seçilirken şevlerin mevcut konumları da dikkate alınmalıdır. Duraysız konumda olan Şev 1'in 54-60° olan şev açısı 35-40° civarına düşürülebilir.

KAYNAKLAR

- Anon, (1979). Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1. Rock and soil materials. *Bullettin Assocation Engineering Geology*, 19, 364-371.
- Akyürek, B. ve Soysal, Y. (1983). Biga yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) temel jeoloji özellikleri, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Raporu*, 6432.
- Akbulut, İ. (2012). *Şev duraylılığı*. Ankara: Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Eğitim Serisi, 42, 160.
- Atalay, İ. (2011). *Toprak oluşumu, sınıflandırılması ve coğrafyası*, (4.baskı). İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, 512.
- Benda, L., Innocenti, F., Mazzuoli, R., Radicati, F. ve Steffens, P. (1974). Stratigraphic and radiometric data of the Neogene in Northwest Turkey. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 125, 183-193.
- Binal, A., Kasapoğlu, E. ve Gökçeoğlu, C. (1997). Eskişehir-Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkano sedimanter kayaların donma-çözülme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerinin değişimi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 19, Ankara.
- Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F. ve Mazzuoli, R. (1972), Geochronology and petrology of recent Volcanics in the Eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Island), *Bulletin Volcanologique*, 86/1, 478-496.
- Davis, W.R. ve Brough, R. (1972). *Ultrasonic techniques in ceramic research and testin*. Ultrasonics, May.

- Deere, D. U. ve Miller, R. P. (1966). *Engineering classification and index properties for intact rock: Report AFWL-TR-65-116*, Air Force Weapons Laboratory (WLDC) Kirtland Air Force Base, New Mexico.
- Demir, N., Bayram, B., Alkış, Z., Helvacı, C., Çetin, I., Vögtl, T., ve diğer. (2004). Laser scanning for terrestrial photogrammetry, alternative system or combined with traditional system, *Commission V*, İstanbul.
- Dirik, K. (2006). *Fiziksel jeoloji 1 ders notları, ayrışma*, 19 Ağustos 2013, <http://www.yunus.hacettepe.edu.tr/fiziksel-jeoloji>.
- Emre, Ö. ve Barka, A. (2000). Gediz grabeni-Ege Denizi arasının (İzmir Yöresi) aktif fayları. *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000), Bildiriler Kitabı*, 131-132, İzmir.
- Ercan, T. (1979). Batı Anadolu, Trakya ve Ege Adalarındaki senozoyik volkanizması, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 09, 117-137.
- Ercan, T. ve Günay, E. (1984). Kuzeybatı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki Oligo-Miyosen yaşlı volkaniklerin gözden geçirilişi, *Geological Society of Turkey Bulletin*, 5, 119-139.
- Ercan, T., Türkecan, A., Akyürek, B., Günay, E., Ateş, M., Can, B., ve diğer. (1984). Dikili-Bergama, Çandarlı (Batı Anadolu) yöresinin jeolojisi ve magmatik kayaların petrolojisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 20, 47-60.
- Ercan, T., Satır, M., Türkecan, A., Akyürek, B., Çevikbaş, A., Günay, E., ve diğer. (1986). Ayvalık çevresinin jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27, 19-30.
- Erdoğan, B. ve Yavuz, A.B. (2004). Kayaçların yapı taşı olarak kullanılabilirliğini belirlemede fiziko mekanik özelliklerin önemi, *Natural Stone Dergisi*, 6, 22-229.

- Erguvanlı, K. (1973). *Mühendislik jeolojisi* (2. Baskı). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 966, 552.
- Fookes, P.G., Dearman, W.R. ve Franklin, J.A. (1971). Some engineering aspects of rock wethering with field examples from Dartmoor and Elsewhere, *Engineering Geology*, 4, 139-185.
- Franklin, J.A. ve Chandra, A.(1972). The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 325–341.
- Fukushima, Y., ve Tanaka, T. (1990). A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80, 757-783.
- Gamble, J.C. (1971). *Durability - plasticity classification of shales and other argillaceous rocks*. Doktora Tezi, University of Illinois, Urbana.
- Genç, Ş.C. ve Yılmaz, Y. (2000). Aliğa dolaylarının jeolojisi ve genç tektoniği. *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000), Bildiriler Kitabı*, 152-159, İzmir.
- Gümüş, K, ve Erkaya, H. (2007). Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Gümüş, K. (2008). *Yersel lazer tarayıcılar ve konum doğruluklarının araştırılması*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Harnois, I. (1988). The chemical weathering index. *Sediment Geology*, 55, 319-322.
- Hoek, E. (1999). Putting numbers to geology-an engineer's viewport. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 32, 1-19.

- International Society for Rock Mechanics, ISRM. (1981). Rock characterization, testing and monitoring: International Society of Rock Mechanics Suggested Methods. E.T. Brown (Ed.), *Pergamon Press*, 211.
- Karacık, Z. ve Yılmaz, Y. (2000). Dikili-Çandarlı bölgesinin jeolojik ve genç tektonik özellikleri, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000) Bildiriler Kitabı*, 153-169, İzmir.
- Karacık, Z., Yılmaz, Y. ve Pearce, J.A. (2007). The Dikili-Çandarlı volcanics, Western Turkey: Magmatic Interactions as Recorded by Petrographic and Geochemical Features, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 493-522.
- Kıncal, C. (2005). *İzmir iç körfezi çevresinde yer alan birimlerin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Küçükkkaya, A. G. (1995). *Taşların bozunma nedenleri koruma yöntemleri*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Le Maitre, R.W. (1984). A proposal by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali Silica (TAS) diagram, *Australian Journal of Earth Science*, 31, 243-255.
- Maden Tetkik Arama-Japan International Cooperation Agency, MTA-JICA. (1987). The pre-feasibility study on the Dikili-Bergama geothermal development project in the republic of Turkey, *Maden Tetkik Arama*, 135.
- Marinos, P. ve Hoek, E. (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch: *Bulletin Engineering Geology Environment*, 60, 85–92.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü, (2013). *2012 yılı yağış değerlendirilmesi*, 21 Aralık 2013, <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yagis-raporu.aspx>.

Mills, J. ve Barber, D. (2006). *An Addendum to the metric survey specifications for English Heritage – the collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods*, English Herigate, 34.

Nesbitt, H.W. ve Young, G.M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature*, 229, 715-717.

Özen, T. (2002). *Dikili sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeolojik incelemesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Parker, A. (1970). An index of weathering for silicate rocks. *Geology Magazine*, 10, 501-504.

Rossi-Doria, P. R. (1985). Laboratory tests on artistic stonework, the deterioration on conservation of stone. *Studies and Documents on the Cultural Heritage*, 21, 36.

Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.

Türk Standartları Enstitüsü, TSE. (1978). *Doğal yapı taşlarının muayene ve deney metodları*. 16.

TS 699 (1987). *Tabii yapı taşları-muayene ve deney metotları*, 84.

TS EN 12371 (2003). *Doğal taşlar-deney metodları-dona dayanım tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türkelli, N., Kalafat, D. ve İnce, Ş. (1990). 6 Kasım 1992 İzmir depremi ve artçı şokları, *Deprem Araştırma Bülteni*, 68, 58-95.

Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı - AFAD (2012). *Deprem bölgeleri haritası*, 9 Mayıs 2012, <http://deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx>.

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A. (2005). *Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri* (2. Baskı). Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 58.

Ulusay, R. ve Sönmez, H. (2007). *Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri (2.baskı)*. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 60.

Vallejo, L.E. (1994). Fractal analysis of the slake durability test. *Canada Geotechnical Journal*, 31.

Vogt, T. (1972). Sulitjelmefeltets geology of petrography. *Norges Geologiske Undersokelse*, 121, 1-560.

Wincester, J.A. ve Floyd, P.A. (1977). Geochemical classification of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325–343.